

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Evaluación del riesgo para la salud humana asociado a la
exposición a BTEX en las gasolineras de Quito

Jacob Acevedo García

Becario del Ministerio de Asuntos Exteriores y Cooperación (MAEC)
y la Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI)

Quito

Mayo de 2006

Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del
Título de Maestría en Gestión Ambiental

Universidad San Francisco de Quito

Colegio de Graduados

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

Evaluación del riesgo para la salud humana asociado a la exposición a BTEX en las
gasolineras de Quito

Jacob Acevedo García

Rodny Peñafiel. Dr.-Ing.
Director de Tesis

.....
Firma

Carlos Fabara. MSc. Dr. Químico.
Miembro del Comité de Tesis

.....
Firma

Carlos Páez. MSc. Ing.
Miembro del Comité de Tesis

.....
Firma

Valeria Díaz. MSc. Ing.
Miembro del Comité de Tesis

.....
Firma

Hugo Valdebenito. PhD.
Decano del Colegio de Ciencias
Biológicas y Ambientales

.....
Firma

Víctor Viteri. PhD.
Decano del Colegio de Graduados

.....
Firma

Quito, mayo de 2006

© Derechos de autor

Jacob Acevedo García

2006

AGRADECIMIENTOS

Mi más profundo agradecimiento a Rodny Peñafiel, por su apoyo en las diferentes etapas del proyecto y la calidad de sus correcciones; a Carlos Fabara, por su entusiasmo y esfuerzo para resolver los problemas técnicos en el laboratorio; a Carlos Páez, por confiar en el proyecto y conseguir los recursos necesarios para hacerlo realidad; y a Valeria Díaz, por su ayuda y permanente motivación.

También quiero reconocer el aporte voluntario de Gonzalo Banda, que además de proporcionar su vehículo para la toma de muestras dentro de ciudad, contribuyó con numerosas ideas para mejorar esta Tesis.

Por último, un agradecimiento muy especial para Jade Rivera, que en todo momento me ha animado a seguir adelante y superar cualquier dificultad.

RESUMEN

Los combustibles de origen fósil contienen compuestos orgánicos volátiles (COVs). Algunos de estos compuestos pueden tener efectos graves sobre la salud humana, tanto cancerígenos como no cancerígenos. Dentro de los COVs se destacan los BTEX (benceno, etilbenceno, tolueno y xilenos) por su relativa abundancia en los carburantes.

Este estudio tiene como finalidad la evaluación del riesgo para la salud asociado a la exposición a BTEXs en las gasolineras de Quito. La hipótesis de partida es que las concentraciones ambientales de BTEX presentes en la atmósfera de las gasolineras son superiores a las permisibles desde el punto de vista de la salud.

La metodología que se ha seguido es la propuesta por la U.S. EPA para la evaluación del riesgo, que consta de las siguientes etapas: (1) identificación de peligros, (2) determinación de la relación dosis-respuesta, (3) evaluación de exposición y (4) caracterización del riesgo.

Para evaluar la exposición se ha caracterizado el escenario medioambiental donde se produce la exposición, para lo cual se ha realizado un muestreo en 17 gasolineras del total de 80 gasolineras que existen en el área urbana de Quito (21% del total).

Se ha determinado que existen diferencias significativas entre las concentraciones registradas en las estaciones de servicio industriales y las comerciales, así como entre las diferentes estaciones comerciales. En cuanto al riesgo cancerígeno, se ha determinado que existe un incremento del riesgo cancerígeno superior al admisible. El riesgo no cancerígeno es admisible en todas las estaciones de muestreo.

ABSTRACT

Fossil fuels contain volatile organic compounds (VOCs). Some VOCs can have serious human health effects, both carcinogenic and non-carcinogenic. An important group of VOCs are BTX (benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes) because they are relatively abundant in fuel. The purpose of this research is to evaluate the health risk associated to BTX exposition in gas stations located in Quito. The main hypothesis is that the environmental BTX concentration in gas stations atmosphere is higher than permissible levels.

The research methodology we have chosen was proposed by U.S. EPA for health risk assessment. The main methodological steps are the following: (1) risk identification, (2) dose-response relation, (3) exposure assessment and (4) risk characterization.

Exposition assessment has been developed by characterizing the environmental scenario where exposition takes place. It was necessary to sample in 17 gas stations of a total of 80 urban gas stations in Quito (21% of the total).

It has been determined that significant differences exist among industrial gas stations and commercial ones, as well as differences exist among commercial stations. In regard to carcinogenic risk, it was determined that there is a mean carcinogenic risk increase higher than permissible. Non carcinogenic risk was admissible in all gas stations.

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Descripción del Problema	1
1.2.	Justificación	1
1.3.	Resumen ejecutivo	2
2.	MARCO TEÓRICO	6
2.1.	Toxicología	6
2.1.1.	Clasificación de los agentes tóxicos	6
2.1.2.	Tipos de exposición	7
2.1.3.	Interacción de compuestos tóxicos	8
2.1.4.	Curva dosis-respuesta	8
2.1.5.	Variabilidad de los efectos tóxicos	9
2.2.	Transporte de los agentes tóxicos	10
2.2.1.	Transporte en las membranas celulares	11
2.2.2.	Absorción	11
2.2.2.1.	Piel	12
2.2.2.2.	Sistema digestivo	12
2.2.2.3.	Sistema respiratorio	12
2.2.2.4.	Gases y vapores	13
2.2.2.5.	Partículas y aerosoles	13
2.2.3.	Distribución	14
2.2.4.	Excreción	14
2.3.	Metabolismo	15
2.4.	Toxicocinética	16
2.5.	Caracterización de la respuesta tóxica	16
2.5.1.	Daño celular	17
2.5.2.	Muerte celular	17
2.5.2.1.	Apoptosis	17
2.5.2.2.	Necrosis	17
2.5.3.	Genotoxicidad	18
2.5.3.1.	Mecanismos de carcinogénesis	18
2.5.3.2.	Clasificación de los compuestos cancerígenos	19
2.6.	Compuestos orgánicos volátiles	20
2.7.	Evaluación del riesgo toxicológico	21
2.7.1.	Identificación de peligros	21
2.7.1.1.	Estudios epidemiológicos	21
2.7.1.2.	Ensayos en animales	22
2.7.1.3.	Propiedades físico-químicas	22
2.7.1.4.	Relaciones estructura-actividad	22
2.7.1.5.	Metabolismo comparado y toxicocinética	23
2.7.2.	Relación dosis-respuesta	23
2.7.2.1.	Datos toxicológicos utilizados	23
2.7.2.2.	Efectos no cancerígenos	23
2.7.2.3.	Efectos cancerígenos	25
2.7.2.4.	Caracterización de la relación dosis-respuesta	26
2.7.3.	Evaluación de la exposición	26
2.7.3.1.	Introducción	26
2.7.3.2.	Transporte, distribución y transformación de contaminantes	27

2.7.3.3.	Caracterización del escenario de exposición	27
2.7.3.4.	Identificación de la ruta de exposición.....	28
2.7.3.5.	Cálculo de la concentración en el punto de contacto.....	28
2.7.3.6.	Cálculo de la dosis externa	28
2.7.4.	Caracterización del riesgo	29
2.7.4.1.	Introducción	29
2.7.4.2.	Cuantificación de los riesgos.....	31
2.7.4.2.1.	Efectos cancerígenos.....	31
2.7.4.2.2.	Efectos no cancerígenos.....	32
2.7.4.2.3.	Cálculo del riesgo asociado a varias sustancias	33
2.7.4.2.4.	Valoración de los resultados	34
2.7.4.2.5.	Incertidumbre de la evaluación del riesgo	35
2.7.5.	Datos actualizados sobre BTEX	36
2.7.5.1.	Gasolina.....	36
2.7.5.2.	Hidrocarburos aromáticos	38
2.7.5.2.1.	Propiedades físicas y químicas.....	38
2.7.5.2.2.	Benceno	40
2.7.5.2.3.	Tolueno	41
2.7.5.2.4.	Xilenos.....	42
2.7.5.2.5.	Etilbenceno.....	42
2.7.5.3.	Contaminación atmosférica provocada por los COVs.....	43
2.7.5.4.	Propiedades toxicológicas	43
2.7.5.5.	Límites de exposición	45
3.	HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	47
3.1.	Hipótesis	47
3.2.	Objetivos	47
4.	METODOLOGÍA	48
4.1.	Descripción general	48
4.2.	Toma de muestras	51
4.2.1.	Instalación de los tubos de muestreo pasivo.....	51
4.2.2.	Recolección de los tubos de muestreo pasivo	55
4.2.3.	Conservación	55
4.3.	Análisis químico	55
4.3.1.	Principio del método.	55
4.3.2.	Reactivos	56
4.3.3.	Equipo analítico	56
4.3.4.	Preparación de la muestra.....	57
4.3.5.	Preparación del eluyente	57
4.3.6.	Calibración	57
4.3.7.	Cálculo de la concentración.....	58
4.4.	Caracterización del riesgo	59
5.	RESULTADOS	63
5.1.	Muestreo ambiental	63
5.1.1.	Concentración de BTEXs en los puntos de muestreo.....	63
5.1.2.	Análisis de varianza	65
5.1.2.1.	Comparación entre laboratorios	65
5.1.2.2.	Comparación entre estaciones de servicio comerciales e industriales.....	68
5.1.2.3.	Comparación entre estaciones de servicio comerciales	68
5.1.3.	Concentración promedio de BTEXs en los lugares de muestreo.....	68
5.2.	Evaluación de la exposición	70

5.2.1.	Caracterización del escenario de exposición	70
5.2.1.1.	Clima.....	70
5.2.1.2.	Geología	71
5.2.1.3.	Hidrología	73
5.2.1.4.	Geomorfología	74
5.2.1.5.	Suelos	74
5.2.2.	Rutas y vías probables de exposición	74
5.3.	Caracterización del riesgo	75
5.3.1.	Efectos cancerígenos	75
5.3.2.	Efectos no cancerígenos	77
6.	DISCUSIÓN.....	80
6.1.	Riesgos para la salud	80
6.2.	Recomendaciones	81
7.	REFERENCIAS	85
8.	ANEXOS.....	87
8.1.	Análisis de varianza de las concentraciones de BTEX obtenidas en el laboratorio de Quito (UIO) y en Suiza (PAS).....	87
8.2.	Análisis de varianza de las concentraciones de BTEX obtenidas en las estaciones de servicio industriales y comerciales	93
8.3.	Análisis de varianza de las concentraciones de BTEX obtenidas en las estaciones de servicio comerciales.....	99
8.4.	Rectas de calibración	105
8.5.	Áreas de pico obtenidas por cromatografía y cálculos para obtener la concentración de BTEXs en aire.....	109
8.6.	Ejemplo de cromatogramas obtenidos en el análisis de BTEX	119
8.7.	Ejemplo de cromatograma obtenido para la calibración (Muestra D20).....	122
8.8.	Ejemplo de cálculo de la concentración de BTEX corregida	126

TABLA DE FIGURAS

Lista de gráficos

Gráfico 1. Correlación para el cálculo del Riesgo Cancerígeno en Aire (Air Unit Risk). U.S.EPA, 2006.	62
Gráfico 2. Concentración de benceno en las estaciones de servicio. Elaboración propia.	63
Gráfico 3. Concentraciones de etilbenceno por estación de servicio. Elaboración propia.	64
Gráfico 4. Concentraciones de tolueno por estación de servicio. Elaboración propia.	64
Gráfico 5. Concentraciones de xilenos por estación de servicio. Elaboración propia.....	65
Gráfico 6. Correlación lineal entre las concentraciones de benceno determinadas en el laboratorio de Quito (UIO) y el laboratorio de Suiza (PAS). Elaboración propia.	67
Gráfico 7. Correlación lineal entre las concentraciones de tolueno determinadas en el laboratorio de Quito (UIO) y el laboratorio de Suiza (PAS). Elaboración propia	67
Gráfico 8. Correlación lineal entre las concentraciones de xilenos determinadas en el laboratorio de Quito (UIO) y el laboratorio de Suiza (PAS). Elaboración propia	68
Gráfico 9. Temperatura promedio mensual en el Distrito Metropolitano de Quito. Fuente: Gobierno de Pichincha, 2002.	72
Gráfico 10. Velocidad del viento promedio en el Distrito Metropolitano de Quito. Fuente: Gobierno de Pichincha, 2002.	72
Gráfico 11. Heliofanía (horas de sol al mes) en el Distrito Metropolitano de Quito. Fuente: Gobierno de Pichincha, 2002.	73
Gráfico 12. Precipitaciones promedio mensuales en el Distrito metropolitano de Quito. Fuente: Gobierno de Pichincha, 2002.	73
Gráfico 13. Cociente entre el incremento del riesgo de padecer cáncer en cada sitio de muestreo y el riesgo máximo admisible (valores mínimos y máximos). Elaboración propia.....	76
Gráfico 14. Coeficiente de peligrosidad total en cada estación de servicio. Elaboración propia.....	77

Gráfico 15. Coeficiente de peligrosidad para cada BTEXs. Elaboración propia.	78
Gráfico 16. Proporción del riesgo no cancerígeno asociada a cada BTEXs (Estaciones de Servicio Industriales). Elaboración propia.	79
Gráfico 17. Proporción del riesgo no cancerígeno asociada a cada BTEXs (Estaciones de Servicio Comerciales). Elaboración propia.	79
Gráfico 18. Recta de calibración del benceno. Elaboración propia.	105
Gráfico 19. Recta de calibración de tolueno. Elaboración propia.	106
Gráfico 20. Recta de calibración de m-xileno y p-xileno.	107
Gráfico 21. Recta de calibración de o-xileno. Elaboración propia.	108

Lista de tablas

Tabla 1. Criterios de la IARC para la clasificación de compuestos cancerígenos. Fuente: OIT, 2001; Moreno Grau, 2003. Elaboración propia.	19
Tabla 2. Análisis químico de gasolina extra procedente de las Refinerías de Esmeraldas, Amazonas y Libertad. Fuente: OPS, 2003.	37
Tabla 3. Análisis químico de la gasolina super en la Refinería de Esmeraldas. Fuente: OPS, 2003.	38
Tabla 4. Identificación química de los BTEX. Adaptado de OIT, 2001.	39
Tabla 5. Propiedades químicas de los BTEX. Fuente: OIT, 2001. Elaboración propia. ..	40
Tabla 6. Datos toxicológicos de los BTEXs. Fuente: EPA, 2006. Elaboración propia.	44
Tabla 7. Límites de exposición permisibles por inhalación. NIOSH, 2003.	45
Tabla 8, Distribución de tubos de muestreo pasivo en cada estación de servicio.	52
Tabla 9. Preparación de disoluciones estándar de calibración. Elaboración propia.	58
Tabla 10. Cálculo de los parámetros necesarios para determinar el riesgo cancerígeno y no cancerígeno asociado a la exposición de BTEXs.	61
Tabla 11. Concentraciones promedio de BTEXs utilizadas en la caracterización del riesgo para la salud. Elaboración propia.	69
Tabla 12. Clima del Distrito Metropolitano de Quito. Fuente: Gobierno de Pichincha, 2002.	71

Tabla 13. Rutas y vías probables de exposición a BTEXs para distintos tipos de población potencialmente expuesta. Adaptado de U.S. EPA, 1989.....	75
Tabla 14. Valor de riesgo cancerígeno y no cancerígeno asociado a la exposición a BTEX. Elaboración propia.	76
Tabla 15. Cálculos para la elaboración de la recta de calibración de benceno. Elaboración propia.....	105
Tabla 16. Cálculos para la elaboración de la recta de calibración de tolueno. Elaboración propia.....	106
Tabla 17. Cálculos para la elaboración de la recta de calibración de m-xileno y p-xileno.	107
Tabla 18. Cálculos para la elaboración de recta de calibración de o-xileno.	108

Lista de ecuaciones

Ecuación 1. Cálculo de la dosis de referencia.	24
Ecuación 2. Cálculo de dosis externa o ingesta.	29
Ecuación 3. Nivel de riesgo.....	32
Ecuación 4. Coeficiente de peligrosidad	32
Ecuación 5. Cálculo del riesgo producido por la exposición simultánea a varios contaminantes	33
Ecuación 6. Cálculo del Coeficiente de Peligrosidad.....	34
Ecuación 7. Cálculo de la concentración de BTEXs en aire a partir de la cantidad retenida en los tubos de muestreo pasivo.....	58
Ecuación 8. Cálculo del riesgo cancerígeno a partir de la concentración crónica promedio del tóxico.	60
Ecuación 9. Cálculo de la concentración crónica promediada durante toda la vida.	60
Ecuación 10. Cálculo del factor de exposición.....	60

Lista de figuras

Figura 1. Curva dosis-respuesta, con la respuesta porcentual para cada grupo de animales en ordenadas y el logaritmo de la dosis administrada en abscisas. Fuente: Moreno Grau, 2003. Elaboración propia.	9
Figura 2. Conversión metabólica del benceno en fenol e hidroquinona. Fuente: Moreno Grau, 2003.....	16
Figura 3. Etapas de la evaluación del riesgo. Adaptado de U.S. EPA 1989.....	21
Figura 4. Cálculo de la dosis de referencia a partir del NOAEL. Adaptado de Moreno Grau, 2003.....	25
Figura 5. Ubicación de los tubos de muestreo pasivo en las islas de carga de las gasolineras. Elaboración propia. Distancias en centímetros.....	55

Lista de fotografías

Fotografía 1. Tubos de muestreo pasivo para BTEXs de la marca Passam. Fuente: Passam.....	54
Fotografía 2. Ubicación de los tubos de muestreo pasivo en las islas de carga de las estaciones de servicio. Autor: Gonzalo Banda.....	54
Fotografía 3. Detalle de tupo de muestreo PASSAM ORSA 5. Fuente: elaboración propia.....	57

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción del Problema

Las operaciones desarrolladas en las gasolineras de Quito conllevan la generación de emisiones fugitivas de COVs. La mayor parte de estos compuestos proviene de los depósitos de gasolina y también se genera en los procesos de carga y descarga de combustibles (Radian Internacional, 1996). Algunos de los COVs contenidos en la gasolina, incluso en pequeñas concentraciones, representan un riesgo para la salud. La inexistencia de estudios específicos de evaluación del riesgo asociado a la exposición a COVs en las gasolineras limita la capacidad de los diferentes actores involucrados para proponer e implantar medidas de control del riesgo efectivas.

Los combustibles de origen fósil, como la gasolina de automoción, contienen compuestos orgánicos volátiles (COVs). Algunos de estos compuestos pueden tener efectos graves sobre la salud humana, tanto cancerígenos como no cancerígenos. Dentro de los COVs se destacan los BTEXs (benceno, etilbenceno, tolueno y xilenos) por su relativa abundancia en los carburantes. Muchos estudios demuestran que el benceno provoca cáncer mientras que los cuatro compuestos provocan otros efectos adversos para la salud no cancerígenos.

1.2. Justificación

La contaminación del aire resulta de una compleja mezcla de miles de fuentes, que van desde las chimeneas industriales y los vehículos automotores, hasta el uso individual de productos de limpieza o pinturas; incluso la vida animal y vegetal puede desempeñar un papel importante en el problema. Debido a la compleja naturaleza de la contaminación del aire, se requiere de planes regionales para identificar las fuentes de emisión, así como del desarrollo de métodos para reducir el impacto sobre la salud ocasionado por la exposición a los contaminantes (Radian Internacional, 1996).

En Quito, los compuestos orgánicos volátiles (COVs) provienen mayoritariamente de los procesos de combustión en vehículos e industrias y de las denominadas emisiones evaporativas o fugitivas desde los depósitos de combustible (incluidos los de los vehículos) y solventes orgánicos (CORPAIRE, 2005: 1). En las gasolineras se genera emisiones fugitivas de COVs que contribuyen directamente a la contaminación

atmosférica y que pueden representar un riesgo para la salud de los trabajadores y de los pobladores próximos. Además, los COVs reaccionan fotoquímicamente con los óxidos de nitrógeno presentes en la atmósfera generando ozono.

Un inventario de emisiones puede tener múltiples aplicaciones: desde alimentar un modelo de predicción de la calidad del aire hasta la fijación de tasas de emisión diferenciadas. Los inventarios de emisiones pueden ser desarrollados también con el objetivo de la investigación, como ocurre con los inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero (U.S. EPA, 1997). En la actualidad, la Corporación para la Calidad del Aire en Quito (CORPAIRE) se encuentra trabajando en el inventario de emisiones del Distrito Metropolitano de Quito (CORPAIRE, 2005: 1).

El presente proyecto de investigación pretende generar información relevante sobre el riesgo para la salud asociado a la exposición a BTEX en la red de distribución de combustibles de Quito. Dicha información también será de utilidad como insumo para la elaboración de un inventario de emisiones. Por tanto, este proyecto contribuye a mejorar el conocimiento sobre los problemas de contaminación atmosférica urbana de Quito, etapa fundamental para el diseño e implementación de políticas sobre calidad del aire en la ciudad.

El área de estudio de este proyecto de investigación es el área urbana del Distrito Metropolitano de Quito, que cubre una superficie de 405 km² y que incluye aproximadamente 80 estaciones de servicio.

1.3. Resumen ejecutivo

Este estudio tiene como finalidad la evaluación del riesgo para la salud asociado a la exposición a BTEX en las gasolineras de Quito. La hipótesis de partida es que las concentraciones ambientales de BTEX presentes en la atmósfera de las gasolineras son superiores a las permisibles desde el punto de vista de la salud humana.

La metodología básica que se ha seguido en este estudio es la propuesta por la U.S. EPA para la evaluación del riesgo, que consta de las siguientes etapas: (1) identificación de peligros, (2) determinación de la relación dosis-respuesta, (3) evaluación de exposición y (4) caracterización del riesgo.

Para identificar los peligros se ha revisado detenidamente la bibliografía existente sobre los daños que pueden provocar los BTEX, acción que también ha permitido determinar la relación dosis-respuesta aceptada por la comunidad internacional.

El principal efecto tóxico del benceno es su actividad cancerígena, como agente causal de la leucemia (incluido en el Grupo 1 del IARC –Agencia Internacional de Investigación contra el Cáncer– y considerado “agente cancerígeno”). Los efectos tóxicos del tolueno, etilbenceno y xilenos se producen fundamentalmente por depresión del sistema nervioso central. El etilbenceno se considera “posiblemente cancerígeno para el hombre” (Grupo 2 del IARC), mientras que el tolueno y los xilenos se consideran “no clasificables en cuanto a sus efectos cancerígenos” (Grupo 3 del IARC). Todos estos compuestos, además, pueden provocar insuficiencia renal y hepática como consecuencia de la exposición crónica (7 años o más).

Para evaluar la exposición se caracterizó el escenario medioambiental donde se produce la exposición, para lo cual se ha realizado un muestreo en 17 gasolineras del total de 80 gasolineras que existen en el área urbana de Quito (21% del total). Una de estas estaciones, el Beaterio, es de tipo industrial –es decir, abastece a camiones cisterna que distribuyen el combustible–, y el resto son estaciones de servicio comerciales. En cuanto al muestreo, se utilizó tubos de muestreo pasivo Passam ORSA5; a su vez, el contenido de benceno, etilbenceno, tolueno y xilenos se determinó mediante cromatografía gaseosa FID utilizando una columna capilar Restek MTX-5 de 30 metros con helio como gas de arrastre. El muestreo se realizó entre el 15 de noviembre y el 18 de diciembre de 2005. Los análisis cromatográficos fueron llevados a cabo en los Laboratorios Passam en Suiza entre el 31 de diciembre de 2005 y el 3 de enero de 2006 y en el Laboratorio de la CORPAIRE en Quito entre el 20 y 21 de febrero de 2006.

La caracterización del riesgo se llevó a cabo considerando que existe una única ruta medioambiental completa para que la población considerada (trabajadores de las estaciones de servicio) se exponga a los BTEX: a través del aire y por inhalación de vapores. Esta suposición permitió determinar el riesgo cancerígeno asociado a la exposición a benceno y el riesgo por efectos no cancerígenos asociado a la exposición a todos los BTEX.

La concentración máxima (a 15°C y 0.72 atm) se registró en la estación de servicio industrial (Beaterio) con 117.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de benceno (49 ppb_v), 97.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de tolueno (35 ppb_v), 27.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de etilbenceno (8 ppb_v), 25.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de p-xileno (8 ppb_v), 67.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de m-xileno (21 ppb_v) y 24.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de o-xileno (8 ppb_v). El total de xilenos fue de 118.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (37 ppb_v).

La concentración promedio en las estaciones de servicio comerciales fue de 13.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de benceno (6 ppb_v), 23.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de tolueno (8 ppb_v), 7.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de etilbenceno (2 ppb_v),

8.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de p-xileno (3 ppb_v), 17.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de m-xileno (5 ppb_v) y 6.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de o-xileno (2 ppb_v). La concentración total de xilenos fue de 32.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (10 ppb_v).

Mediante un análisis de la varianza ANOVA se determinó que existen diferencias significativas entre las concentraciones medidas en la estación de servicio industrial y las estaciones de servicio comerciales (con un nivel de confianza del 95%). También se determinó que existen diferencias significativas entre las estaciones comerciales.

En cuanto al riesgo cancerígeno, se determinó que existe un cociente de incremento del riesgo cancerígeno (IRC, número de veces que se supera el riesgo de cáncer admisible) de 28-88 individuos por millón en las estaciones industriales, mientras que en las estaciones de servicio comerciales calculó un IRC de 4-15 individuos por millón. La EPA considera que como inadmisibles un incremento del riesgo de padecer cáncer superior a 1 por millón de individuos (10^{-6}).

El cuanto al riesgo no cancerígeno, que está relacionado con los efectos tóxicos, se obtuvo un coeficiente de peligrosidad (CP) de 0.504 en estaciones de servicio industriales y de 0.077 en estaciones de servicio comerciales. El riesgo no cancerígeno es admisible en todas las estaciones de muestreo (inferior a la unidad).

Los valores de concentración registrados en las estaciones de servicio industriales y comerciales son todos inferiores a los límites de exposición permisibles propuestos por organizaciones como OSHA, NIOSH o ACGIH. Sin embargo, estos límites de exposición están siendo criticados a nivel internacional, en especial en lo que concierne al benceno, porque existen evidencias de un incremento significativo de casos de cáncer a niveles de exposición laboral por debajo de estos límites. En base al análisis de estos estudios, el Colegio Ramazzini ha propuesto un límite de exposición máximo en el ambiente laboral de 40 ppb de benceno (considerando una exposición laboral estándar, es decir, durante 30 años, laborando 8 horas al día, 5 días a la semana y 50 semanas al año). Considerando este nuevo límite, sólo la estación de servicio industrial monitoreada, el Beaterio, supera en un 22,5% esta concentración ambiental de benceno.

Desde el punto de vista de la salud laboral, es necesario que los trabajadores de las estaciones de servicio industriales utilicen una máscara provista de filtros para retener vapores de compuestos orgánicos volátiles. A pesar de que el uso de mascarilla es ya un requisito en este tipo de instalaciones, sería recomendable asegurar que los trabajadores la usen adecuadamente y de forma cotidiana. Esto puede lograrse mediante un programa de capacitación adecuado y a través de vigilancia continua.

Por otra parte, dado que los COVs reaccionan fotoquímicamente en la troposfera y contribuyen a la generación de ozono, es necesario implementar medidas de control de emisiones de COVs que permitan combatir la contaminación por ozono.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Toxicología

La *toxicología* es la ciencia que estudia los efectos adversos de los agentes químicos sobre los organismos, tanto desde un punto de vista cualitativo como cuantitativo. El *estudio cualitativo* de los efectos tóxicos tiene por objetivo establecer la naturaleza de dichos efectos, incluyendo su mecanismo de acción molecular, bioquímico o celular. El *estudio cuantitativo* de los efectos tóxicos tiene la finalidad de determinar la dosis-respuesta permitiendo así establecer las interferencias entre el nivel de exposición y la extensión de los efectos tóxicos en un determinado organismo o en la población (Moreno Grau, 2003).

2.1.1. Clasificación de los agentes tóxicos

Existen distintos criterios de clasificación de los compuestos tóxicos, atendiendo a sus propiedades físico-químicas, su composición química o a su mecanismo de actuación.

Las categorías relacionadas directamente con el comportamiento tóxico son las siguientes (Moreno Grau, 2003):

- (1) Muy tóxicos. Compuestos que, por ingestión, inhalación o penetración cutánea *en muy pequeña cantidad*, pueden provocar efectos agudos o crónicos e incluso la muerte.
- (2) Tóxicos. Compuestos que, por ingestión, inhalación o penetración cutánea *en pequeñas cantidades*, pueden provocar efectos agudos o crónicos e incluso la muerte.
- (3) Nocivos. Compuestos que, por ingestión, inhalación o penetración cutánea puede provocar efectos agudos o incluso la muerte.
- (4) Corrosivos. Compuestos que en contacto con tejidos vivos pueden ejercer una acción destructiva de los mismos.
- (5) Irritantes. Compuestos no corrosivos que, en contacto breve, prolongado o repetido con la piel o las mucosas, pueden provocar una reacción inflamatoria.

- (6) Sensibilizantes. Compuestos que, por inhalación o penetración cutánea, pueden ocasionar una reacción de hipersensibilidad, de forma que una exposición posterior de lugar a efectos negativos característicos.
- (7) Cancerígenos. Compuestos que por ingestión, inhalación, o penetración cutánea, pueden producir cáncer o aumentar su frecuencia.
- (8) Mutagénicos. Compuestos que, por ingestión, inhalación o penetración cutánea, pueden producir alteraciones genéticas hereditarias o aumentar su frecuencia.
- (9) Tóxicos para la reproducción. Compuestos que, por ingestión, inhalación o penetración cutánea, pueden producir efectos negativos no hereditarios en la descendencia, o aumentar la frecuencia de éstos, o afectar de forma negativa a la función o capacidad reproductora.

2.1.2. Tipos de exposición

La exposición ambiental a un contaminante se caracteriza por la ruta de administración y la dosis recibida, que dependen de la concentración del contaminante, la frecuencia y la duración del contacto. Las principales rutas de administración con relevancia medioambiental son vía oral, la inhalación y la penetración cutánea (Moreno Grau, 2003). Las *rutas de administración* pueden influir considerablemente sobre la toxicidad del compuesto, pues de ellas depende la concentración que se alcanza en el órgano diana, es decir, el órgano que recibe los efectos tóxicos. La *vía de administración* más efectiva es la vía intravenosa, muy utilizada en farmacología, pero de poca importancia ambiental.

Otro factor a considerar en la definición de la exposición es el *vehículo de administración*, es decir, el disolvente en el que se encuentra disuelto el contaminante. En el caso del presente estudio el vehículo de administración es el aire. Por lo que respecta a la duración y frecuencia de la exposición, puede distinguirse entre exposición aguda y crónica. La exposición repetida puede ser a su vez subaguda, subcrónica y crónica.

- 1.- Exposición aguda. Con una duración inferior a las 24 horas, consiste por lo general en una única administración del compuesto.
- 2.- Exposición crónica. Cuando se administra más de una vez durante un periodo de tiempo variable, en función del cual puede distinguirse entre las categorías de exposición subaguda, subcrónica y crónica. Se define como una exposición que dura

entre el 10% y el 100% del periodo de vida promedio del hombre, es decir, entre 7 y 70 años (Peña, 2001).

- a.- Subaguda. Corresponde a la repetición de la exposición de una sustancia durante un periodo de tiempo relativamente breve, de un mes o inferior.
- b.- Subcrónica. La exposición dura menos de 7 años.
- c.- Crónica. La exposición dura más de 7 años.

2.1.3. Interacción de compuestos tóxicos

La toxicidad de una sustancia puede aumentar o disminuir como consecuencia de la exposición simultánea con otra sustancia. Los efectos combinados pueden ser aditivos, sinérgicos, potenciadores o antagónicos (Peña, 2001).

La administración simultánea de dos o más compuestos tóxicos puede dar lugar a una *respuesta aditiva*, en la que se suman los efectos tóxicos individuales correspondientes a la dosis recibida de cada uno de ellos, o puede desviarse mucho de esta situación, con efectos tóxicos muy inferiores o superiores a la simple adición de los efectos individuales. Así pues, los efectos son aditivos cuando el efecto combinado de la administración de dos o más agentes químicos es la suma de sus efectos individuales. Esta es la situación más habitual en la administración conjunta de compuestos químicos (Moreno Grau, 2003).

La respuesta puede ser *sinérgica* cuando es mayor que la prevista por adición de las respuestas individuales. Por ejemplo, el tetracloruro de carbono y el etanol son hepatotóxicos, y además producen una lesión hepática mayor cuando son administrados conjuntamente que cuando se administran por separado (Peña, 2001).

El *antagonismo* entre compuestos tóxicos que se administran conjuntamente se produce cuando existe una mitigación final de sus efectos tóxicos, en relación con la suma de los efectos individuales (Moreno Grau, 2003).

2.1.4. Curva dosis-respuesta

La *relación dosis-respuesta* es la medida de la proporción o porcentaje de una población que experimenta efectos adversos como consecuencia de la exposición a un compuesto tóxico. Esta relación se obtiene habitualmente de forma gráfica, representando el

porcentaje de población afectada en ordenadas, frente a la dosis en abscisas (Moreno Grau, 2003).

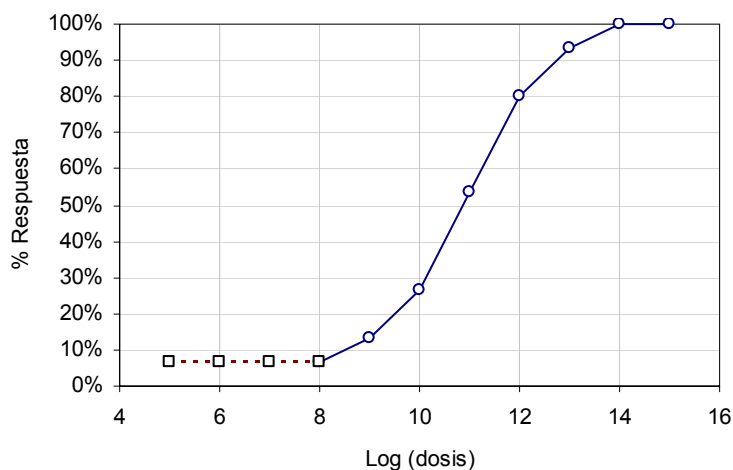


Figura 1. Curva dosis-respuesta, con la respuesta porcentual para cada grupo de animales en ordenadas y el logaritmo de la dosis administrada en abscisas. Fuente: Moreno Grau, 2003. Elaboración propia.

La Figura 1 presenta la relación dosis-respuesta obtenida en un ensayo de letalidad obtenido exponiendo 6 grupos de animales de laboratorio a dosis crecientes de compuesto tóxico. Las ordenadas representan el porcentaje de animales muertos para cada una de las dosis utilizadas, mientras que las abscisas representan el logaritmo de la dosis medida en mg/kg. Como puede observarse, a medida que aumenta la dosis se incrementa el porcentaje de individuos afectados.

Cuando la exposición al agente tiene lugar a través del aire o del agua (como puede ocurrir en especies acuáticas), la dosis recibida se calcula a partir de la concentración del agente en el medio, aire o agua, y el tiempo durante el cual se mantiene la exposición. En estos casos, el parámetro utilizado para construir la curva de dosis-respuesta es la concentración en el medio. A partir de los resultados se obtiene el valor de la *concentración letal media*, CL_{50} , dato que debe ir siempre acompañado de información sobre el tiempo de exposición (Moreno Grau, 2003)

2.1.5. Variabilidad de los efectos tóxicos

Otro de los conceptos importantes en toxicología es la variabilidad de la respuesta biológica en función de la susceptibilidad de cada organismo. Por ejemplo, supongamos que dos compañeros de trabajo desempeñaron funciones idénticas durante 30 años, y que por lo tanto estuvieron expuestos al mismo ambiente; uno de ellos puede desarrollar

una enfermedad inducida por la exposición a agentes tóxicos presentes en el ambiente de trabajo mientras que el otro no. Ningún individuo es idéntico a otro, por lo que la respuesta tóxica puede variar. Existen factores genéticos que definen estas diferencias (Peña, 2001).

Además de la distinta constitución genética, que también explica parcialmente las diferencias entre sexos, existen diferencias asociadas a las diferencias de edad que causan grandes variaciones frente a los agentes tóxicos. Los procedimientos utilizados para la evaluación del riesgo deben hacer un tratamiento adecuado de las diferencias entre especies y la variabilidad individual, con objeto de proteger eficientemente a las subpoblaciones más sensibles (Moreno Grau, 2003).

2.2. Transporte de los agentes tóxicos

El proceso de transporte y transformación que experimenta el tóxico desde la superficie epitelial de contacto hasta llegar a los órganos en los que se almacena y en los que causa lesiones es muy complejo. Por conveniencia, para facilitar su estudio, se considera que consta de cuatro pasos: Absorción, Distribución, Metabolismo y Excreción. El proceso se conoce por sus siglas ADME (Peña, 2001).

Excepto en el caso de los compuestos corrosivos como los ácidos y las bases fuertes, capaces de causar lesiones tópicamente, en el lugar de contacto, los efectos tóxicos de los contaminantes ambientales solo aparecen una vez que dichos compuestos han superado estas barreras de entrada. Salvados estos obstáculos, el contaminante se distribuye en distintas proporciones por todo el organismo, pudiendo alcanzar a los órganos o tejidos donde ejerce sus efectos tóxicos. Estos órganos o tejidos reciben el nombre de *órganos o tejidos diana* (Moreno Grau, 2003).

La desaparición paulatina o eliminación de los contaminantes del organismo se produce gracias a dos grandes grupos de procesos: *metabolismo o transformación*, y *excreción*. Las velocidades relativas de ambos procesos dependen de las propiedades físicas y químicas de los contaminantes. La *transformación* de los contaminantes constituye en el mayor número de casos el paso previo a su excreción. Aunque existen numerosos tejidos con capacidad metabólica, el órgano transformador por excelencia es el *hígado*, donde se ubican múltiples sistemas enzimáticos implicados en la conversión de los contaminantes en metabolitos más solubles, y por tanto, más susceptibles de excreción. Una vez efectuada la transformación del contaminante, los metabolitos resultantes se excretan por distintas vías. Las más importantes son la excreción *renal* y *biliar*, aunque

en ciertos casos pueden ser relevantes otras vías de eliminación, como la *pulmonar*, las *glándulas sudoríparas* o las *glándulas mamarias* (Moreno Grau, 2003).

2.2.1. Transporte en las membranas celulares

La penetración de un contaminante en el cuerpo humano implica el transporte de varias membranas celulares, correspondientes a diferentes tipos de tejidos según la vía de administración: epitelio estratificado de la piel, células alveolares de los pulmones, células del endotelio vascular y revestimiento celular del aparato digestivo. El modelo aceptado universalmente para la membrana celular consiste en la denominada bicapa lipídica, es decir, una estructura a modo de *sandwich* en la que las superficies exteriores están constituidas por cabezas polares de fosfolípidos, mientras que la zona interna entre ambas está ocupada por las cadenas no polares de ácidos grasos (Moreno Grau, 2003).

Los principales mecanismos de transporte son los siguientes:

La *difusión simple* o *transporte pasivo* depende de la existencia de un gradiente positivo de concentración (entre el medio contaminado y la sangre). La difusibilidad de una sustancia a través de las membranas biológicas depende de sus propiedades fisicoquímicas. Las sustancias polares de bajo peso molecular (hasta 600) pasan a través de los poros acuosos de las membranas, mientras que, las moléculas hidrófobas se difunden a través de las zonas lipídicas (Peña, 2001).

El *transporte activo*, la *endocitosis* o la *difusión mediada por un transportador* son los mecanismos por los cuales se difunden los compuestos de peso molecular grande (sean polares o liposolubles). Este mecanismo permite procesos de transporte en contra del gradiente de concentración (Peña, 2001)

2.2.2. Absorción

La absorción de contaminantes es el proceso mediante el cual dichos compuestos atraviesan las membranas celulares para alcanzar el torrente sanguíneo. La absorción de contaminantes se produce por las mismas vías y mecanismos utilizados por las sustancias necesarias para la actividad biológica, preferentemente por las rutas de entrada constituidas por la piel, el sistema digestivo y los pulmones (Moreno Grau, 2003).

2.2.2.1. Piel

La piel, a diferencia del epitelio del intestino y de los alvéolos pulmonares, no está diseñada para la absorción de sustancias útiles al organismo. La permeabilidad a través de la piel es muy baja debido a que está formada por varias capas, algunas de ellas muy gruesas, y con muy escasa irrigación sanguínea. La piel está constituida por una serie de capas, de las que la más externa, el estrato córneo de la epidermis, constituye la barrera más importante y la etapa limitante de todo el proceso de absorción por esta vía (Peña, 2001).

La absorción a través de la piel, por tanto, se puede representar como un proceso fundamentalmente pasivo de difusión a través de una serie de células muertas. La composición de dichas células y la solubilidad del contaminante en sus componentes son los factores fundamentales de la absorción por esta ruta. En general, la velocidad de difusión de los compuestos no polares a través del estrato córneo es directamente proporcional a su liposolubilidad e inversamente proporcional a su peso molecular (Moreno Grau, 2003).

2.2.2.2. Sistema digestivo

El sistema digestivo es una de las vías más importantes de absorción de contaminantes ambientales. A diferencia de la piel, en la que el mecanismo fundamental de transporte es la difusión pasiva, el sistema digestivo cuenta con numerosos mecanismos de transporte especializado, diseñados para la absorción de sustancias nutritivas, que aprovechan distintos contaminantes (Moreno Grau, 2003).

2.2.2.3. Sistema respiratorio

La inhalación es la vía de exposición a gases, vapores de líquidos volátiles, aerosoles y partículas suspendidas en el aire. Los sitios de absorción son la nariz y los pulmones. La nariz actúa como un limpiador o trampa para los gases solubles en agua y los muy reactivos así como, para retener las partículas grandes.

La absorción de gases y vapores que llegan al pulmón usa el mismo mecanismo que existe para el intercambio de oxígeno y dióxido de carbono. La velocidad de difusión de los gases en el pulmón es muy grande, debido a que la distancia de difusión es muy pequeña, el flujo sanguíneo es muy alto y el área de transferencia es muy grande. Lo anterior produce que la velocidad de absorción en el pulmón sea alta, independientemente de la naturaleza química del agente.

2.2.2.4. Gases y vapores

La absorción de gases y vapores comienza en las fosas nasales y continúa en el resto de vías respiratorias. La absorción es más rápida para moléculas pequeñas e hidrosolubles, que se disuelven rápidamente en la capa fluida que recubre las mucosas. Los alvéolos pulmonares constituyen, sin embargo, la zona de absorción por excelencia, donde tiene lugar la mayor parte de la entrada de estos compuestos en la sangre (Moreno Grau, 2003).

La propiedad que controla la absorción de contaminantes en los pulmones es simplemente la solubilidad de los mismos en la sangre, que se mide mediante el denominado *coeficiente de partición aire-sangre*, específico para cada compuesto. Dicho coeficiente representa la proporción que existe, en el equilibrio, entre la concentración de un determinado compuesto en la sangre y en el aire aspirado. A medida que aumenta la concentración, o presión parcial, de un compuesto contaminante en el aire, se produce un aumento de su concentración en la sangre, hasta que se alcanza condiciones de saturación. A partir de ese momento, el contaminante sólo puede seguir disolviéndose en la sangre a medida que la sangre se renueva con sangre no saturada procedente del corazón (Moreno Grau, 2003).

2.2.2.5. Partículas y aerosoles

Las partículas pueden quedar atrapadas en distintos lugares del tracto respiratorio y no llegar al espacio alveolar, con lo cual se disminuye la entrada del tóxico al organismo. La absorción de aerosoles y de partículas, depende del tamaño de partícula y de la solubilidad acuosa de la sustancia química presente en el aerosol o partícula. Las partículas solubles se pueden disolver en el moco nasal y ser transportadas a la faringe, o bien, pueden ser absorbidas a través del epitelio nasal hacia la sangre (Peña, 2001).

La región del aparato respiratorio en el que se depositan las partículas y aerosoles depende de su tamaño. Las partículas de 5 μm o más grandes se depositan en la región nasofaríngea, que es la región más alta. Las partículas de 1 a 5 μm son depositadas en la región traqueobronquiolar del pulmón, que es la región intermedia, de aquí pueden ser eliminadas por el moco mediante un movimiento tipo elevador hacia arriba, a las regiones ciliadas de donde se podrían eliminar por medio de estornudos o tos, o pueden pasar al tracto gastrointestinal. Las partículas de 1 μm y más pequeñas penetran a los sacos alveolares de los pulmones. Estas pueden ser absorbidas a la sangre o bien,

pueden ser eliminadas a través del sistema linfático o por medio de macrófagos alveolares (Peña, 2001).

2.2.3. Distribución

A partir de la entrada del contaminante en el torrente sanguíneo con la absorción, tiene lugar su transporte hacia los distintos órganos y tejidos, en los que se produce su penetración. El reparto de los contaminantes en los distintos tejidos a través de la sangre se conoce como *distribución*. La distribución es un proceso rápido, controlado por el flujo sanguíneo a los distintos tejidos y la facilidad con la que los contaminantes se difunden desde los capilares a dichos tejidos (Moreno Grau, 2003). Al comienzo de la distribución, los órganos que reciben un mayor riego sanguíneo experimentan un aumento rápido de la concentración del contaminante, pero con el paso del tiempo alcanzan una concentración de equilibrio

El *hígado* es propenso a sufrir daños por la exposición a tóxicos debido a que los dos sistemas circulatorios (vena portal que viene el estómago y arteria hepática) pueden llevar hasta al hígado sustancias tóxicas, que además, se pueden volver tóxicas con las transformaciones que tienen lugar en este órgano (bioactivación). Algunas de las reacciones que sufren los tóxicos en el hígado de hecho los convierten en sustancias menos tóxicas o no tóxicas y más fáciles de excretar (Peña, 2001).

El *tejido óseo* también tiene capacidad de actuar como reservorio en el que se acumulan ciertos contaminantes, reemplazando en ocasiones a los iones inicialmente presentes en la red cristalina de la hidroxiapatita (hueso) (Moreno Grau, 2003).

2.2.4. Excreción

Las tres principales rutas de eliminación de compuestos químicos son, por este orden, la (1) vía renal, (2) la vía fecal y (3) la vía respiratoria, esta última sobre todo para los gases. Hay que tener en cuenta que también que todas las secreciones corporales pueden actuar como vías de eliminación, que aunque cuantitativamente son menos importantes, pueden tener una gran relevancia toxicológica. Entre estas secreciones hay que mencionar el sudor, el semen y la leche (Moreno Grau, 2003).

2.3. Metabolismo

Al conjunto de caminos metabólicos por medio de los cuales los tejidos incrementan la polaridad de un tóxico se le denomina biotransformación. Podemos decir que la biotransformación de un tóxico consiste fundamentalmente en convertir un xenobiótico no polar en un compuesto soluble en agua. Este es el mecanismo más común que usan los organismos para eliminar los tóxicos ambientales. Al igual que la absorción y distribución, la biotransformación también se lleva a cabo utilizando los mecanismos existentes en los tejidos, es decir, se usa la misma maquinaria bioquímica con la que se metabolizan los compuestos endógenos de estructura química similar (Peña, 2001).

En algunos casos, la biotransformación resulta en la producción de un metabolito que es más tóxico que el compuesto original, y a dicho proceso se le denomina bioactivación. Si estos metabolitos se acumulan y vencen las defensas del organismo entonces pueden producir un daño que se manifieste en una respuesta tóxica (Peña, 2001).

El estudio de las reacciones que constituyen la biotransformación es de gran importancia, porque nos permiten entender los mecanismos por medio de los cuales los tejidos se defienden de los tóxicos que logran penetrar y también cómo en algunas ocasiones sucede lo contrario y de hecho se incrementa la toxicidad en el interior del cuerpo. Estas reacciones se dividen en dos grupos: Fase I y Fase II. La Fase I transforma los xenobióticos en substratos de las enzimas de la Fase II, al mismo tiempo que los hacen más hidrófilos. La Fase II consiste en reacciones de conjugación en las cuales un metabolito con enlaces de alta energía cede un grupo funcional polar al xenobiótico, o a su producto de transformación de la Fase I. En el ejemplo de la Figura 2 se muestra la biotransformación del benceno (Peña, 2001).

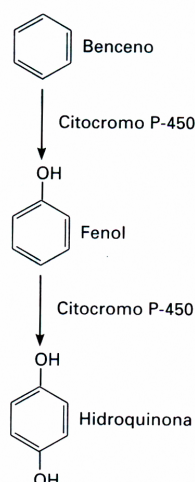


Figura 2. Conversión metabólica del benceno en fenol e hidroquinona. Fuente: Moreno Grau, 2003.

2.4. Toxicocinética

La toxicocinética es la disciplina que estudia cualitativa y cuantitativamente los procesos de absorción, distribución, biotransformación y eliminación de xenobióticos en el organismo, con el objeto de calcular su concentración y la evolución de la misma con el tiempo. La toxicocinética utiliza como herramienta fundamental la modelización matemática (Moreno Grau, 2003).

2.5. Caracterización de la respuesta tóxica

La caracterización de los efectos tóxicos o dañinos es imprescindible para la evaluación del peligro potencial asociado a una sustancia química. La toxicidad, es decir, la capacidad de producir daño, es una propiedad intrínseca de la sustancia; también puede entenderse como una alteración de la *homeostasis* de una célula que lleva a su alteración en estado o muerte. Una célula normal no está en reposo o inactiva, sino que cambia dinámicamente para responder a estímulos o cambios. La célula mantiene su estructura y función dentro de un rango de condiciones fisiológicas que define su *homeostasis normal*. Si el cambio que experimenta la célula está más allá de su capacidad de adaptación se causa un *daño*. Esto no lleva necesariamente a la muerte celular ya que hay muchas etapas de daño celular que son reversibles. La *muerte* puede sobrevenir si el estímulo es severo y persistente (Peña, 2001).

2.5.1. Daño celular

La célula tiene varios componentes que deben estar en buen estado para que la célula funcione. Los componentes de la célula que de forma selectiva se pueden convertir en *blancos celulares* son la membrana plasmática, el citoesqueleto y los lisosomas. La *membrana plasmática* es utilizada por la célula para mantener los gradientes iónicos que a su vez regulan el volumen celular. Si se daña la membrana entran iones sodio y calcio y salen iones potasio. Si esto no se corrige la célula se puede romper. El daño en el *citoesqueleto*, a su vez, causará daño en la membrana plasmática. Los *lisosomas* contienen enzimas digestivas y su destrucción causará que estas enzimas se liberen produciendo lesiones graves en el citoplasma (Peña, 2001).

2.5.2. Muerte celular

El punto en el cual la célula no se puede recuperar de las lesiones es difícil de definir. Hay muchos pasos que se consideran reversibles y muchos que son definitivamente irreversibles. Los dos fenómenos que consistentemente están asociados a lesiones irreversibles son la *incapacidad de revertir la disfunción mitocondrial* y las *distorsiones profundas de las funciones de la membrana*. Existen dos mecanismos principales de muerte celular: la *apoptosis* y la *necrosis* (Peña, 2001).

2.5.2.1. Apoptosis

En concepto muy amplio, la *apoptosis* se puede definir como una muerte celular *programada*. La apoptosis es un evento celular natural que también puede ser inducido por condiciones patológicas, y está relacionado a con enfermedades y lesiones inducidas químicamente. Se trata de un proceso parecido a la deshidratación que provoca la condensación progresiva de la célula (Peña, 2001).

2.5.2.2. Necrosis

La *necrosis* es el resultado final de la ruptura de la membrana celular y el derrame el contenido celular en el espacio intersticial. Esto trae como consecuencia una respuesta inflamatoria en el área que puede ser detrimento de las células que la rodean (Peña, 2001)

2.5.3. Genotoxicidad

La *neoplasia* o nuevo crecimiento es un término que abarca los tumores benignos y malignos (Moreno Grau, 2003). Las células neoplásicas son células alteradas que continúan replicándose sin obedecer las señales reguladoras que controlan el crecimiento celular normal; durante el crecimiento satisfacen sus necesidades metabólicas compitiendo con las células y tejidos adyacentes, por lo que un neoplasma crecerá activamente independientemente del ambiente local que lo rodee (Peña, 2001).

Los *efectos cancerígenos* son los que causan cáncer el cual puede definirse como un *crecimiento desordenado de células* que pueden invadir y destruir tejidos. El síntoma característico es la formación de masas de células denominadas *tumores*. Se dice que los tumores que causan cáncer son *malignos* y los que no lo causan son *benignos*. Los tumores pueden presentarlos tanto plantas como animales, pero el cáncer se encuentra sólo en los animales, estando posiblemente limitado a los vertebrados (Duffus, 2003).

Los agentes que generan lesiones neoplásticas se denominan *cancerígenos* (Moreno Grau, 2003). Un gran número de cánceres se asocian a las exposiciones que tienen lugar de trabajo. De hecho, la idea de que el desarrollo de cáncer está ligada a la exposición a ciertas sustancias se originó estudiando los cánceres ocupacionales. A finales del siglo XVIII, el médico inglés Percival Pott observó el incremento de cáncer del escroto entre los limpiadores de chimeneas. Posteriormente, se demostraron las propiedades cancerígenas del alquitrán de hulla y se identificaron los hidrocarburos aromáticos policíclicos (benzo alfa pireno) como los responsables de este efecto (Peña, 2001).

2.5.3.1. Mecanismos de carcinogénesis

Se han propuesto varios modelos matemáticos de carcinogénesis, pero el más sencillo y más compatible con los conocimientos biológicos actuales es el de Moolgavkar (1978). En él se plantea la hipótesis de (1) la mutación ocasional de una célula madre sana (inicio); (2) una exposición concreta que estimula la proliferación de células intermedias (promoción), y (3) un aumento de la probabilidad de que al menos una célula experimente una o más nuevas mutaciones y produzca un cáncer maligno (progresión). Así pues, las exposiciones profesionales pueden aumentar el riesgo de desarrollar cáncer al causar mutaciones en el ADN o por diversos mecanismos de promoción (los que no implican lesiones en el ADN), incluido el aumento de la proliferación celular. La mayor parte de los cancerígenos profesionales descubiertos hasta este momento son

mutágenos y, por tanto, parecen ser iniciadores del cáncer. Esto explica el largo período de latencia necesario para que tengan lugar nuevas mutaciones; en muchos casos, es posible que éstas no se produzcan nunca y que, por tanto, no se desarrolle el cáncer (OIT, 2001).

2.5.3.2. Clasificación de los compuestos cancerígenos

Existen distintos procedimientos para la clasificación de los compuestos químicos en función de su capacidad para producir cáncer en seres humanos que están basados en el uso de un conjunto de datos epidemiológicos y ensayos en animales (Moreno Grau, 2003).

El criterio de uso habitual es el de la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (International Agency for Research on Cancer, IARC), organismo dependiente de la Organización Mundial de la Salud. En la Tabla 1 se presenta los criterios de clasificación de la IARC (OIT, 2001).

Tabla 1. Criterios de la IARC para la clasificación de compuestos cancerígenos.

Fuente: OIT, 2001; Moreno Grau, 2003. Elaboración propia.

Grupo	Evidencias	Ejemplos
1. Agente cancerígeno	Suficiente (personas)	Arsénico, aflatoxina B ₁ , benceno, cloruro de vinilo
2A. Probablemente cancerígeno	Limitada (personas) Suficiente (animales)	Formaldehído, tricloroetileno, tetracloroetileno
2B. Posiblemente cancerígeno	Limitada o inadecuada (personas) Suficiente (animales)	Tetracloruro de carbono, cloroformo, gasolina, níquel metálico
3. No clasificable en cuanto a sus efectos cancerígenos	Inadecuada (personas) Inadecuada o limitada (animales)	Mercurio y sus compuestos inorgánicos, tolueno
4. Probablemente no cancerígeno	Evidencias indicativas de ausencia de actividad cancerígena en personas y animales	Caprolactama

La definición de los términos empleados en la tabla es la siguiente (Moreno Grau, 2003):

Evidencia suficiente. En estudios realizados sobre personas, se considera que existe evidencia suficiente de efecto cancerígeno cuando se ha establecido la existencia de una relación causal entre la exposición a un agente y la aparición de cáncer en el hombre, es decir, cuando se ha observado una relación positiva entre la exposición y el cáncer, en estudios en los que puede descartarse con un nivel razonable de confianza el azar, el sesgo y los factores de confusión.

Evidencia limitada. Los estudios realizados en personas indican una asociación positiva entre exposición al agente y el cáncer. En estudios en animales, existe evidencia limitada aunque los datos sugieren un efecto cancerígeno, pero no son suficientes para realizar una evaluación definitiva.

Evidencia inadecuada. Se produce cuando los estudios disponibles presentan una calidad, consistencia o significación estadística insuficiente para permitir alcanzar conclusiones sobre la presencia o ausencia de asociación causal entre exposición y cáncer.

Evidencia indicativa de ausencia de actividad cancerígena. Se entiende cuando existen varios estudios adecuados que no muestran asociación positiva alguna entre exposición al agente y cáncer. En animales, esta categoría indica que existen estudios adecuados con al menos dos especies distintas que muestran ausencia de actividad cancerígena.

2.6. Compuestos orgánicos volátiles

Los compuestos orgánicos volátiles (COVs) incluyen diversas clases de compuestos químicos, con distinto grado de solubilidad y liposolubilidad, utilizados en grandes cantidades en la industria, en el transporte y en el ámbito doméstico. Entre sus propiedades generales se encuentran, además de la volatilidad, su carácter no iónico y reducido peso molecular, por lo que son buenos candidatos para la absorción por todas las vías de interés medioambiental: por ingestión, inhalación y cutánea. Los compuestos orgánicos volátiles incluyen numerosos disolventes, tanto halogenados como no halogenados, utilizados en múltiples aplicaciones: agentes desengrasantes, pinturas, barnices, lacas, tintas, aerosoles, síntesis química y adhesivos. Los COVs también son utilizados como aditivos en combustibles (Moreno Grau, 2003).

2.7. Evaluación del riesgo toxicológico

La metodología de la evaluación toxicológica de riesgos está estructurada en cuatro etapas: (1) identificación de los peligros, (2) relación dosis-respuesta, (3) evaluación de la exposición y (4) caracterización del riesgo (U. S. EPA, 1998).

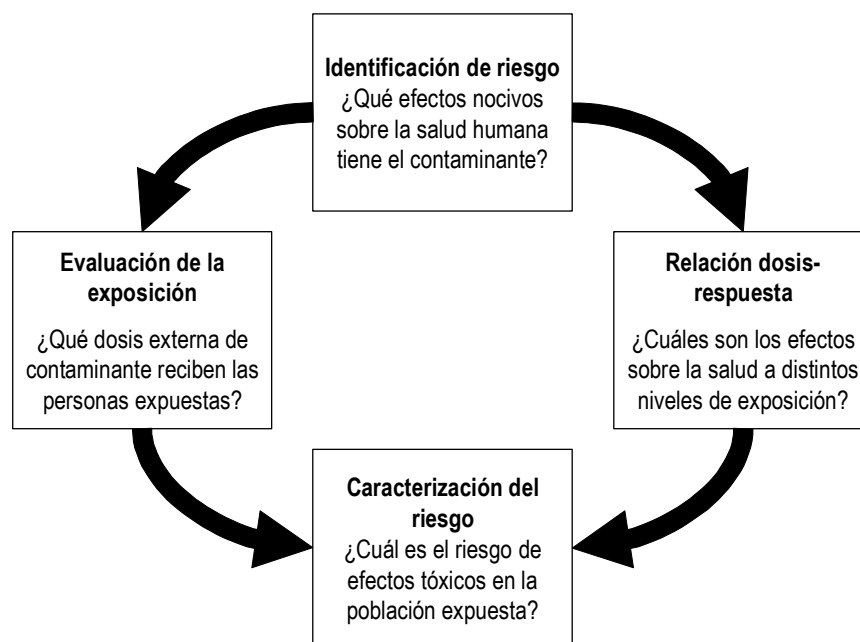


Figura 3. Etapas de la evaluación del riesgo. Adaptado de U.S. EPA 1989.

2.7.1. Identificación de peligros

La *identificación de los peligros* o *identificación del riesgo*, consiste en determinar los efectos indeseables que una sustancia es capaz de provocar. La caracterización toxicológica de los agentes químicos requiere la recopilación de datos sobre sus propiedades, obtenidos mediante técnicas diversas. Estas técnicas incluyen ensayos fisicoquímicos, estudios epidemiológicos, ensayos de toxicidad en animales y análisis estructura-actividad, es decir, la predicción de actividad tóxica basada en el análisis de la estructura química (Peña, 2001).

2.7.1.1. Estudios epidemiológicos

La Epidemiología consiste en el estudio de los factores que determinan la frecuencia y distribución de enfermedades en las poblaciones humanas. La descripción y análisis de las enfermedades, en el ámbito de la epidemiología, se realiza mediante el cómputo de la *incidencia* o la *prevalencia*. La *incidencia* es el número de nuevos casos de una enfermedad que se produce en un determinado periodo de tiempo. La *prevalencia* es el

número de casos existentes de una enfermedad en una población en un momento determinado (Moreno Grau, 2003). Los estudios epidemiológicos constituyen la fuente más valiosa de información en la evaluación del riesgo toxicológico, simplemente porque sus conclusiones se han alcanzado mediante observaciones en seres humanos. Esta ventaja se ve contrarrestada por la dificultad de obtener e interpretar los datos epidemiológicos.

En el caso concreto de los agentes cancerígenos, la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (International Agency for Research on Cancer, IARC) celebra reuniones periódicas de grupos de expertos para la evaluación de las evidencias epidemiológicas. Sólo en los casos en que dichos grupos de trabajo acuerdan que la evidencia es concluyente acerca de la relación causal, se clasifica como cancerígeno para humanos mediante su inclusión en el Grupo 1 (Ver Tabla 1).

2.7.1.2. Ensayos en animales

La evaluación de riesgos toxicológicos puede basarse en los resultados obtenidos en ensayos en animales, siempre que no se disponga de estudios epidemiológicos o éstos no sean adecuados. La ventaja fundamental de los ensayos en animales es su realización en condiciones rigurosamente controladas, de forma que se puede establecer el *nexo causal* entre exposiciones al agente y la aparición del efecto de forma concluyente (Moreno Grau, 2003).

2.7.1.3. Propiedades físico-químicas

Las características fisicoquímicas influyen en la absorción del agente en el organismo, en su distribución en los distintos tejidos, en su biotransformación y degradación, y en consecuencia, desempeñan un papel fundamental en la identificación del riesgo (Ver Tabla 5).

2.7.1.4. Relaciones estructura-actividad

Los análisis estructura-actividad, tienen como objeto predecir el comportamiento de un agente químico en función de su estructura molecular, mediante el estudio de las características moleculares y los modos de acción biológicos, especialmente en relación con el comportamiento cancerígeno (Moreno Grau, 2003).

2.7.1.5. Metabolismo comparado y toxicocinética

Los estudios de absorción, distribución, biotransformación y excreción de agentes químicos se utilizan como herramienta para establecer comparaciones entre especies, para identificar rutas metabólicas a distintos niveles posológicos y para contrastar distintas rutas de exposición (Moreno Grau, 2003).

2.7.2. Relación dosis-respuesta

La *evaluación de la dosis-respuesta* es la estimación de la incidencia de un efecto cancerígeno o tóxico en función del nivel de exposición de una sustancia. La relación dosis-respuesta se establece mediante el análisis de la información toxicológica, del que se deduce el *vínculo cuantitativo* entre dosis y efectos adversos para la salud (U.S. EPA, 1998; Moreno Grau, 2003).

2.7.2.1. Datos toxicológicos utilizados

Los datos toxicológicos a partir de los que se obtienen los índices de toxicidad utilizados en la evaluación de riesgo pueden proceder de distintos tipos de estudios: estudios epidemiológicos, ensayos en animales de laboratorio, ensayos *in vitro* y relaciones estructura-actividad. Los índices de toxicidad más importantes son la dosis de referencia (RfD) y el factor de pendiente (SF). La relevancia de la información obtenida en cada tipo de ensayo es diferente. La información más valiosa proviene de estudios en seres humanos, mientras que la proporcionada en ensayos *in vitro* y las relaciones estructura-actividad suelen considerarse información auxiliar (Moreno Grau, 2003).

2.7.2.2. Efectos no cancerígenos

El índice de toxicidad utilizado para evaluar los riesgos no cancerígenos es la *dosis de referencia crónica*, RfD. Este parámetro se define como el nivel de exposición de una población diario de una población, durante toda la vida, para el que no existe un riesgo apreciable de efectos adversos (Moreno Grau, 2003).

La propia definición de la dosis de referencia crónica pone de relieve su objetivo, que es garantizar una protección suficiente para la población ante exposiciones a largo plazo de un agente químico. El uso de RfD crónica suele reservarse a la evaluación de riesgos para exposiciones entre 7 años y toda la vida, suponiendo una expectativa media de vida de 70 años (U. S. EPA, 1989).

La dosis de referencia crónica debe calcularse de forma independiente para cada vía de administración. El cálculo de la dosis de referencia oral requiere como paso previo la identificación del *estudio crítico*, en el que se detectan ciertos efectos tóxicos en los niveles posológicos más bajos, siempre utilizando la vía oral de administración. Si existen datos adecuados obtenidos a partir de estudios sobre seres humanos, éstos deben servir de base para el cálculo de la RfD. El estudio seleccionado finalmente recibe el nombre de *estudio crítico* y el efecto tóxico correspondiente al nivel de exposición más bajo en el que se observan efectos tóxicos LOAEL (*Lowest Observed Adverse Effect Level* en inglés), una vez realizadas las conversiones dosimétricas necesarias para el ajuste de las diferencias entre especies, es el denominado *efecto crítico*. Tras la selección del estudio y efectos críticos, se identifica el nivel máximo de exposición en que no se observó ningún efecto tóxico NOAEL (*Non observed adverse effect level* en inglés) (Moreno Grau, 2003).

Una vez seleccionado el NOAEL o LOAEL mediante el proceso anterior, el cálculo de la dosis de referencia se lleva a cabo mediante el uso sistemático de *factores de incertidumbre* (UF en inglés) y de *factores de modificación* (MF en inglés) (U.S.EPA, 1998; Peña, 2001).

La fórmula para el cálculo de RfD es la siguiente:

Ecuación 1. Cálculo de la dosis de referencia.

$$RfD = \frac{NOAEL \text{ ó } LOAEL}{(UF_1 \times UF_2 \times \dots \times MF)}$$

Donde

UF = Factor de incertidumbre (adimensional). Los factores de incertidumbre representan un área de incertidumbre inherente a la extrapolación de los datos disponibles. Las bases para la aplicación son las siguientes:

Se usa un UF de 10 cuando el NOAEL se obtuvo de experimentos con animales y se quiere extrapolar los resultados para determinar el nivel de protección para el hombre. Este factor tiene por objeto tomar en cuenta las diferencias interespecíficas entre el hombre y los animales de estudio,

Se usa un UF de 10 para tomar en cuenta la variabilidad en la población general. Tiene por objeto proteger a las poblaciones más sensibles (niños y ancianos)

Se usa un UF de 10 cuando el NOAEL se obtuvo de un estudio subcrónico y se desea estimar la RfD crónica.

Se usa un UF de 10 cuando se usa el LOAEL en lugar del NOAEL. Este factor intenta considerar la incertidumbre asociada con la extrapolación de LOAEL a NOAEL

MF = Factor de modificación (adimensional). Se aplica un FM entre 0 y 10 para reflejar una evaluación cualitativa profesional de las incertidumbres adicionales en el estudio crítico y en la base de datos que no se hayan mencionado entre los FM precedentes. El valor normal del FM es 1.

La RfD oral se expresa en mg/(kg·día). La Figura 4 ilustra el procedimiento de obtención de la dosis de referencia crónica. El cálculo de la dosis de referencia por inhalación es similar, aunque el análisis de los datos toxicológicos es más complejo debido a las características dinámicas del sistema respiratorio, las variaciones entre las distintas especies y las diferencias de comportamiento de los agentes químicos en el sistema respiratorio en función de sus propiedades fisicoquímicas. Una vez establecido el NOAEL y LOAEL en el que ha de basarse el cálculo del RfD por inhalación, se utilizan factores de incertidumbre similares a los expuestos anteriormente. La dosis de referencia por inhalación (RfD) se expresa normalmente como concentración en el aire, en unidades de mg/m³ para exposiciones continuas de 24 horas diarias. El factor de conversión utilizado para el paso de unas unidades a otras se basa en considerar un peso corporal de 70 kg con una tasa de inhalación de 20 m³/día (U.S. EPA, 1989).

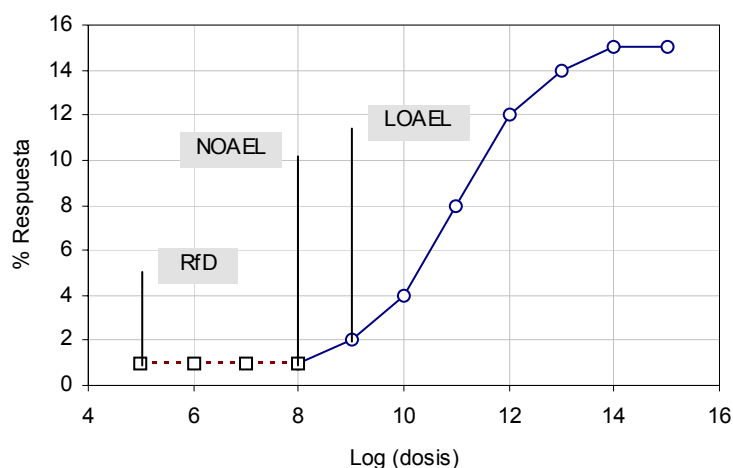


Figura 4. Cálculo de la dosis de referencia a partir del NOAEL. Adaptado de Moreno Grau, 2003.

2.7.2.3. Efectos cancerígenos

El Factor de Pendiente (SF) convierte directamente los insumos diarios estimados promediados para el período vital en el incremento del riesgo de que un individuo desarrolle cáncer. Debido a que las dosis a las que se exponen los individuos en el medio ambiente son generalmente muy pequeñas comparadas con las que se utilizan en experimentos con animales, se supone que la relación dosis-respuesta es lineal (la parte de dosis bajas en la curva dosis-respuesta se obtiene por extrapolación). Bajo esta

suposición el factor de pendiente es una constante y el riesgo será directamente proporcional a la dosis (Peña, 2001).

2.7.2.4. Caracterización de la relación dosis-respuesta

Para el caso de los cancerígenos, la curva dosis-respuesta se construye graficando en las abscisas la probabilidad de que se produzca cáncer y en las ordenadas la dosis suministrada, utilizando la dosis diaria promediada para toda la vida (70 años). Los datos experimentales normalmente se encuentran en rangos de dosis de una magnitud considerablemente mayor que las que puede experimentar el hombre por exposición a tóxicos ambientales. Lo mismo sucede si los datos fueron obtenidos con animales de laboratorio o con estudios epidemiológicos hechos en poblaciones humanas. Por esta razón anterior es necesario extrapolar los resultados observados hacia la región de dosis cercanas a cero. La extrapolación se puede hacer usando diferentes modelos matemáticos lineales. La pendiente de la región lineal de esta curva es el índice de toxicidad, que se usa para evaluar riesgos ambientales producidos por cancerígenos y se le denomina Factor de Pendiente, con unidades de $[\text{mg}/\text{Kg}\cdot\text{día}]^{-1}$ (Peña, 2001).

La evaluación del riesgo debe representar todos los datos necesarios para la comprensión del proceso seguido en la determinación de la relación dosis-respuesta, los resultados alcanzados y las fuentes de incertidumbre que afectan a dichos resultados. En esta investigación se ha considerado los índices de toxicidad (dosis de referencia y factor de pendiente) recomendados por organismos internacionales como la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos en su base de datos IRIS.

2.7.3. Evaluación de la exposición

2.7.3.1. Introducción

La *evaluación de la exposición* es el proceso de cálculo de la dosis externa del agente químico recibida por los receptores; es decir, la estimación de la magnitud del contacto de la población expuesta y los contaminantes (Moreno Grau, 2003).

La evaluación de la exposición consta de las siguientes etapas:

- 1.- Caracterización del escenario ambiental.
- 2.- Identificación de las rutas ambientales de exposición y selección de las rutas medioambientales relevantes y completas.

3.- Cuantificación de la exposición correspondiente a cada ruta ambiental completa identificada.

2.7.3.2. Transporte, distribución y transformación de contaminantes

Los agentes químicos se desplazan en el ambiente a partir de la fuente de contaminación, transportados por fluidos como el agua o el aire, se distribuyen en las fases sólida, líquida y gaseosa, y experimentan transformaciones físicas, químicas y biológicas. Los mecanismos responsables del transporte de un contaminante en un medio fluido son la advección (causada por el movimiento del fluido), la dispersión (provocada por la mezcla turbulenta en el fluido en movimiento) y la difusión molecular (asociada a los gradientes de concentración) (Moreno Grau, 2003). Por lo tanto, una vez conocidas las concentraciones de BTEX en las estaciones de servicio, es posible estimar los efectos en la población de las áreas cercanas mediante la utilización de modelos de dispersión de contaminantes, como por ejemplo el gaussiano. Por otra parte, es necesario disponer de información de la población afectada (por ejemplo, hábitos de permanencia en sus domicilios) para caracterizar el escenario de exposición (U.S. EPA, 1992).

La distribución ambiental depende de las propiedades del contaminante como la solubilidad en agua y en lípidos, la densidad, el grado de ionización, la polaridad y la presión de vapor. Los contaminantes experimentan en el ambiente transformaciones químicas y biológicas. La velocidad a la que transcurren estas transformaciones depende de funciones cinéticas (Moreno Grau, 2003).

2.7.3.3. Caracterización del escenario de exposición

El escenario de exposición debe definirse mediante la recopilación de datos sobre el medio físico y la población existente en la zona de estudio y sus alrededores. El escenario de exposición relaciona entre sí los contaminantes y las poblaciones potencialmente expuestas. La caracterización de estas poblaciones requiere, en primer lugar, de la determinación de la distancia y dirección de las poblaciones potencialmente expuestas con respecto a la fuente. Se debe prestar especial atención a aquellas personas que trabajen o residan en las inmediaciones de la propia fuente, ya que son los receptores con mayor potencial de exposición (Moreno Grau, 2003).

2.7.3.4. Identificación de la ruta de exposición

La identificación de las rutas ambientales de exposición requiere la consideración conjunta de las fuentes de las fuentes de contaminación (primarias y secundarias), los tipos de contaminantes emitidos, el comportamiento ambiental del contaminante (transporte, distribución y transformación) y la localización de los receptores sensibles (Moreno Grau, 2003).

Sólo se consideran como significativas y merecen ser evaluadas las rutas completas de exposición que produzcan exposiciones efectivas, es decir, que el tóxico además de llegar a hacer contacto con el individuo encuentra la forma de ingresar en el interior del organismo. Se pueden considerar como justificaciones válidas para eliminar el análisis de una ruta completa las siguientes (Peña, 2001):

- 1.- La exposición resultante es mucho menor por esta ruta que por otra que involucra el mismo medio y el mismo punto de contacto.
- 2.- La magnitud de la exposición potencial es baja o es muy poco probable que se dé la exposición y los riesgos asociados a la exposición no son altos.

2.7.3.5. Cálculo de la concentración en el punto de contacto

La etapa siguiente de la evaluación de la exposición es el cálculo de la concentración de los contaminantes en los puntos de contacto con la población.

2.7.3.6. Cálculo de la dosis externa

La dosis externa es la cantidad de contaminante con la que los receptores entran en contacto por unidad de tiempo y peso corporal. Se expresa en miligramos de compuesto en el punto de exposición, por kilogramo de peso corporal y día (mg/kg·día). La dosis externa, en el marco de la evaluación de riesgo, suele denominarse *ingesta*, *ingreso* o *incorporación*. El término *ingesta* se utiliza para todas las vías de exposición, a pesar de que sugiera únicamente la vía oral (Moreno Grau, 2003).

La *dosis absorbida* es la parte de la dosis externa que penetra en el torrente sanguíneo y queda disponible para su distribución en los distintos órganos. La dosis calculada normalmente en la evaluación de riesgos es la *dosis externa*, excepto para la exposición cutánea, en la que se calcula el grado de absorción. El cálculo de la dosis externa, o *ingesta*, se basa en los datos de *concentración de contaminante en el punto de contacto*,

frecuencia y duración del contacto. La ecuación genérica para el cálculo de la dosis externa es la siguiente:

Ecuación 2. Cálculo de dosis externa o ingesta.

$$I = C \cdot E = C \cdot \frac{CR \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT}$$

Donde:

- I = Ingesta, ingreso o incorporación; dosis externa de contaminante [mg/(kg peso corporal · día)]
- C = Concentración media del compuesto químico durante el periodo de exposición (mg/l o mg/kg).
- CR = Tasa de contacto con el medio contaminado. Representa la cantidad de medio contaminado en contacto con el receptor por unidad de tiempo. Sus unidades dependen del estado físico del medio contaminado. Las unidades habituales son l/día (líquidos), mg/día (sólidos) y m³/día (gases).
- E = Tasa de exposición. Mide la cantidad de medio contaminado en contacto con el receptor por unidad de peso corporal y tiempo. Sus unidades son las correspondientes a la tasa de contacto por unidad de peso corporal.
- EF = Frecuencia de exposición (días/año).
- ED = Duración de la exposición (años).
- BW = Peso medio corporal del receptor durante el periodo de exposición (kg).
- AT = Periodo de tiempo sobre el que la exposición se promedia (días).

La dosis externa se calcula en dos supuestos de distinto grado de conservadurismo, lo que permite obtener dos estimaciones de la exposición. La *exposición más probable* (MLE de sus siglas en inglés, *most likely exposure*) y la *exposición máxima razonable* (RME de sus siglas en inglés, *reasonable maximum exposure*). La MLE se calcula como la *media de la tasa de exposición de la población*, mientras que la RME se corresponde al percentil 95 de la tasa de exposición de la población. Estos parámetros se calculan mediante el uso de valores estándar definidos para los distintos tipos de suelo (residencial, comercial/industrial) y vías de exposición (ingestión de agua de abastecimiento, ingestión de partículas del suelo, inhalación de compuestos volátiles y contacto cutáneo con suelos) (USEPA, 1992).

2.7.4. Caracterización del riesgo

2.7.4.1. Introducción

La etapa final de la *evaluación del riesgo* consiste en la integración de la información obtenida en la identificación de los peligros, la relación dosis-respuesta y la evaluación

de la exposición, con el objeto de predecir el riesgo de padecer probables efectos adversos por los individuos o las poblaciones expuestas. El fin último que se persigue es facilitar la toma de decisiones tendentes a reducir dichos riesgos a niveles tolerables (Moreno Grau, 2003).

Un elemento fundamental de la caracterización del riesgo es la descripción de la incertidumbre, lo que exige una valoración de la calidad y cantidad de los datos disponibles, la detección de *vacíos de información* y una evaluación crítica del uso de hipótesis y aproximaciones realizadas para suplir dichos vacíos (Moreno Grau, 2003).

La caracterización del riesgo comienza por una evaluación de la información recopilada en las fases anteriores, con el doble objetivo de verificar que se ha obtenido toda la información necesaria y de comprobar la consistencia interna de los resultados obtenidos (Moreno Grau, 2003).

Los datos necesarios para la caracterización del riesgo son los siguientes:

- a.- La *dosis externa* de cada uno de los contaminantes, en condiciones de exposición crónica y subcrónica.
- b.- Las *rutas medioambientales* completas y las *vías de exposición*.
- c.- La *información sobre la toxicidad* de cada uno de los contaminantes y los resultados de la relación dosis-respuesta.

Además:

Para los *efectos cancerígenos*:

- 1.- Los factores de pendiente.
- 2.- La evaluación del peso de la evidencia (análisis de la información relevante sobre los efectos cancerígenos de la sustancia).

Para los efectos no cancerígenos:

- 1.- Las dosis de referencia crónicas y subcrónicas.
- 2.- Los efectos críticos asociados a cada una de las dosis de referencia.
- 3.- Los factores de corrección y el factor de modificación utilizados para el cálculo de la dosis de referencia.

4.- Los datos toxicocinéticos relevantes para la extrapolación de datos de animales a humanos, en su caso.

5.- El tipo de dosis (vía de exposición; externa o absorbida) empleada en el estudio crítico.

Por último, los datos recopilados deben evaluarse para comprobar su validez, especialmente en las áreas siguientes (Moreno Grau, 2003):

1.- *Periodo de exposición*: Las condiciones previstas de exposición (crónicas, subcrónicas) deben dictar el tipo de datos toxicológicos utilizados, que deben haberse obtenido en estudios crónicos y subcrónicos respectivamente.

2.- *Vía de exposición*. La vía de exposición medioambiental prevista (oral, cutánea, inhalación) debe ser igual a la utilizada con ruta de administración en los ensayos toxicológicos cuyos datos han servido para establecer la relación dosis-respuesta.

3.- *Grado de absorción*. Tanto la exposición calculada como los valores toxicológicos utilizados deben estar expresados de la misma forma, bien como dosis externa o como dosis adsorbida.

2.7.4.2. Cuantificación de los riesgos

La primera etapa de la cuantificación del riesgo es el cálculo del riesgo asociado a cada una de las sustancias para cada una de las rutas medioambientales de exposición, procedimiento separadamente para sustancias cancerígenas y no cancerígenas (Moreno Grau, 2003).

2.7.4.2.1. Efectos cancerígenos

El riesgo asociado a la exposición a sustancias cancerígenas se calcula como el incremento de probabilidad de aparición de tumores cancerígenos, durante toda la vida, como resultado de dicha exposición (U.S. EPA, 1998; Moreno Grau, 2003).

El incremento de riesgo se calcula a partir del factor de pendiente y de la exposición media diaria al agente químico, obtenida al promediar la dosis total durante la expectativa media de vida (U.S. EPA, 1998; Moreno Grau, 2003).

El nivel de riesgo se calcula de la forma siguiente:

Ecuación 3. Nivel de riesgo

$$Riesgo = ADI \cdot SF$$

Donde

- Riesgo = Probabilidad de que se produzca cáncer como consecuencia de la exposición al contaminante (adimensional)
- ADI = Ingesta crónica diaria promediada durante toda la vida, estimada durante un periodo de tiempo de 70 años (mg/kg·día).
- SF = Factor de pendiente (mg/kg·día).

2.7.4.2.2. Efectos no cancerígenos

La caracterización del riesgo se realiza mediante el cálculo del *coeficiente de peligrosidad*. Este índice, al contrario de lo que ocurre con el riesgo cancerígeno, no es una medida de probabilidad, sino que expresa la relación que existe entre la dosis medioambiental y la dosis de referencia (U.S. EPA, 1998; Moreno Grau, 2003).

Su cálculo se realiza de la forma siguiente:

Ecuación 4. Coeficiente de peligrosidad

$$\text{Coeficiente de peligrosidad} = \frac{C}{RfD}$$

Donde

- Coeficiente de peligrosidad = Relación entre la dosis medioambiental y la dosis de referencia (adimensional).
- C = Dosis media diaria promediada durante todo el periodo de exposición (mg/día).
- RfD = Dosis de referencia (mg/día).

E representa normalmente la dosis externa, sin tener en cuenta el grado de absorción. Cuando se utiliza la dosis absorbida, es necesario que la dosis de referencia también se haya obtenido a partir de los datos correspondientes a la dosis absorbida (Moreno Grau, 2003).

El cociente de peligrosidad no cancerígena suele representarse mediante HQ (*hazard quotient*). El uso del coeficiente de peligrosidad se basa en el supuesto de que existe un nivel seguro de exposición, RfD, por debajo del cual no es probable que se produzcan efectos adversos sobre la salud. Por el contrario, cuando se excede este nivel pueden

producirse efectos adversos, tanto mayores cuanto mayor sea el valor del cociente (U.S. EPA, 1998; Moreno Grau, 2003).

Además, dado que la dosis de referencia se calcula a partir de resultados relativos al efecto crítico, un cociente de peligrosidad superior a la unidad implica que es posible que existan efectos adversos adicionales, distintos del efecto crítico, en la población expuesta (U.S. EPA, 1998; Moreno Grau, 2003).

2.7.4.2.3. Cálculo del riesgo asociado a varias sustancias

Después de obtener la medida del riesgo para todas las sustancias implicadas en una determinada ruta medioambiental, se calcula el riesgo total para dicha ruta, distinguiendo de nuevo entre efectos cancerígenos y no cancerígenos (U.S. EPA, 1998; Moreno Grau, 2003).

2.7.4.2.3.1. *Riesgo cancerígeno*

El riesgo cancerígeno se calcula como el incremento de la probabilidad de aparición de cáncer, durante toda la vida, como consecuencia de la exposición conjunta a distintos contaminantes por medio de la misma ruta medioambiental (U.S. EPA, 1998; Moreno Grau, 2003).

EL cálculo del riesgo producido por la exposición simultánea a varios contaminantes se basa en suponer que los efectos son aditivos:

Ecuación 5. Cálculo del riesgo producido por la exposición simultánea a varios contaminantes

$$\text{Riesgo} = \sum_{i=1}^n (ADI \cdot SF)_i$$

Donde

Riesgo	=	Incremento de la probabilidad de que la persona expuesta padezca cáncer (adimensional).
ADI	=	Ingesta diaria media crónica del agente i, promediada durante un periodo de 70 años (mg/kg·día) ⁻¹ .
SF	=	Factor de pendiente del agente i (mg/kg·día).
n	=	Número total de contaminantes a los que está expuesta una misma población a través de la misma ruta medioambiental.

2.7.4.2.3.2. *Coefficiente de peligrosidad total*

La predicción de los posibles efectos no cancerígenos, asociados a la exposición simultánea a varios contaminantes a través de la misma ruta, se basa asimismo en suponer que los efectos son aditivos (U.S. EPA, 1998; Moreno Grau, 2003).

El cálculo se realiza mediante el parámetro denominado *Coefficiente de peligrosidad total*, que suele representarse como el símbolo CP_t :

Ecuación 6. Cálculo del Coeficiente de Peligrosidad.

$$CP_t = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{RfD_i}$$

Donde

- CP_t = Coeficiente de peligrosidad (adimensional)
- C_i = Dosis media de contaminante i (mg/día)
- RfD_i = Dosis media de referencia para el contaminante i (mg/día)
- n = Número total de contaminantes a los que la población se ve expuesta simultáneamente.

La valoración de los resultados obtenidos se realiza suponiendo que si el *coeficiente de peligrosidad total* representa valores inferiores a la unidad no es previsible que se presenten efectos adversos sobre la salud, mientras que en el caso contrario sí pueden producirse efectos adversos (Moreno Grau, 2003).

Por consiguiente, es posible obtener resultados inaceptables del riesgo asociado a la exposición simultánea a varios agentes químicos, incluso cuando no se excede para ninguno de ellos por separado el nivel seguro de exposición, representado por la correspondiente dosis de referencia. El cálculo del coeficiente de peligrosidad total debe hacerse de forma independiente para las exposiciones crónicas y subcrónicas (Moreno Grau, 2003).

2.7.4.2.4. Valoración de los resultados

Los resultados de la caracterización del riesgo deben valorarse aplicando criterios que permitan distinguir las situaciones de riesgo tolerable y de riesgo intolerable, en que sea necesario adoptar medidas necesarias para disminuir el nivel de exposición (Moreno Grau, 2003).

Los criterios utilizados en la práctica habitual de la evaluación del riesgo son los siguientes:

A.- Efectos cancerígenos: El límite tolerable del incremento del **riesgo cancerígeno individual** es de 1×10^{-6} , es decir, un incremento de la probabilidad de padecer cáncer de una unidad por millón mientras que el límite tolerable del incremento del **riesgo cancerígeno acumulado** suele fijarse en 1×10^{-5} (U.S. EPA, 1989).

B.- Efectos no cancerígenos: Tanto el cociente de peligrosidad para de cada una de las vías de exposición y el coeficiente de peligrosidad total deben ser inferiores a la unidad.

2.7.4.2.5. Incertidumbre de la evaluación del riesgo

La incertidumbre procede de la heterogeneidad intrínseca de las características dentro de cualquier población. La incertidumbre es una característica inherente de la población estudiada y no puede ser reducida mediante el mejoramiento de la metodología de evaluación del riesgo (U.S. EPA, 1998). De hecho, la **evaluación de la incertidumbre** es un componente fundamental de la caracterización del riesgo. El proceso de evaluación toxicológica de riesgo implica necesariamente la formulación de hipótesis para la descripción del comportamiento de los agentes químicos, sus interacciones con el medio ambiente y la población receptora. Ello introduce incertidumbres que deben documentarse para permitir la comprensión de los resultados obtenidos y su aplicación a la gestión ambiental (Moreno Grau, 2003).

2.7.4.2.5.1. *Fuentes de la incertidumbre*

La definición del escenario ambiental de exposición supone la selección de ciertos contaminantes para su inclusión en la evaluación del riesgo, un ámbito territorial, la definición de usos del territorio presentes y futuros y la identificación de rutas de exposición completas. La evaluación del riesgo debe documentar las fuentes de las que se han obtenido los diferentes parámetros y valorar la sensibilidad del modelo frente a los parámetros más importantes (Moreno Grau, 2003).

Las incertidumbres más importantes son las siguientes (Peña, 2001):

- (1) Calidad de los datos de muestreo.
- (2) Calidad de la información que se consultó para asignar categoría al uso actual del suelo y para hacer la estimación de las probabilidades de cambio de uso de suelo.
- (3) La eliminación de sustancias de la lista de tóxicos a considerar en el estudio.

(4) La eliminación de rutas de exposición completas.

Las incertidumbres asociadas con el hecho de sumar los riesgos e índices de peligro de varias sustancias son muy importantes en el paso de caracterización de riesgos. La suposición de que los efectos son *aditivos*, ignora la posibilidad de sinergismos o antagonismos entre las sustancias, y también asume que hay similitud en los mecanismos de acción y metabolismo. En ausencia de información, la U.S. EPA considera que tanto los riesgos de cáncer como los índices de peligro no cancerígeno son aditivos. Estas suposiciones se hacen para evitar la subestimación, de los riesgos de cáncer y de los índices de peligro en el sitio (Peña, 2001).

2.7.4.2.5.2. *Tratamiento de la incertidumbre*

Las técnicas de tratamiento de la incertidumbre en el proceso de evaluación de riesgos pueden clasificarse en tres grupos: (1) técnicas cuantitativas, (2) semicuantitativas y (3) cualitativas (Moreno Grau, 2003).

El *modelo cuantitativo* se puede aplicar cuando los sistemas son sencillos y se conocen bien los valores de los parámetros del modelo. Con frecuencia la información disponible es insuficiente para describir el modelo, pero sí se puede conocer los rangos dentro de los cuales toman valores los parámetros. En esta situación se pueden hacer estudios de sensibilidad de la variable de salida. Se calcula el rango de la variable de salida del modelo (exposición) que resulte de suponer valores extremos o medios de los parámetros de entrada (Peña, 2001).

En la mayoría de los casos el *método cualitativo* es el más adecuado para presentar el análisis de incertidumbres. Se describe en forma cuantitativa o cualitativa la incertidumbre de cada parámetro y se indica simplemente la influencia posible de estas incertidumbres en la estimación final del riesgo en base al conocimiento que se tenga de cada modelo (Peña, 2001).

2.7.5. Datos actualizados sobre BTEX

2.7.5.1. Gasolina

La gasolina es una mezcla compleja de hidrocarburos, en su mayor parte con un número de carbonos entre cuatro y doce. Las propiedades toxicológicas de la gasolina no tienen un carácter fijo y general, sino que dependen de su composición, que a su vez depende del tipo de crudo, del proceso de refinación y de los aditivos que se han incorporado a la

formulación (Moreno Grau, 2003). En las tablas Tabla 2 y Tabla 3 muestra el análisis químico de gasolina extra y super procedentes de las Refinerías de Esmeraldas, Amazonas y La Libertad. Puede apreciarse que ambos tipos de gasolina tienen una alta proporción de compuestos aromáticos: de 16.6 a 19.9% en la extra y de 22.1 a 23.0% en la super. El contenido de benceno oscila de 0.66 a 0.76% en la extra y 1.05 a 1.12% en la super.

Tabla 2. Análisis químico de gasolina extra procedente de las Refinerías de Esmeraldas, Amazonas y Libertad.
Fuente: OPS, 2003.

ANÁLISIS QUÍMICO DE GASOLINA EXTRA								
Parámetros	Norma-Método	Especificaciones de calidad establecidas	Análisis de calidad					
			Refenería Esmeraldas		Refenería Amazonas		Refenería La Libertad	
			Año 2002	Año 2003	Año 2002	Año 2003	Año 2002	Año 2003
Número de Octano Research (RON)	NTE-INEN 2102	Min. 80	80.85	80.88	80.01	80.02	80.17	80.35
Contenido de Plomo Orgánico (g/l)	NTE-INEN 931	Max.+0.013	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cont.de Azufre (% peso)	NTE-INEN 929	Max. 0.2	0.085	0.1	0.04	0.01	0.03	0.05
Cont. de Aromáticos (%vol)	NTE-INEN 2220	Max. 20	18.12	17.95	19.88	19.17	16.59	16.84
Cont. de Benceno (%vol)	ASTM 3606	Max. 1.0	0.73	0.69	-	-	0.76	0.66
Cont. de Olefinas (%vol)	NTE-INEN 2220	Max. 20.0	14.94	15.05	16.79	14.16	8.5	10.4
Densidad API	-	-	58.98	59.65	61.8	62.37	59.61	60.03
Densidad Relativa a 15,6/15,6°C	-	-	0.74	0.74	0.73	0.73	0.74	0.74
Residuo (%vol)	NTE-INEN 926	Max. 2	0.84	0.92	0.54	0.6	1.0	1.0
Cont. Gomas (mg/100cm ³)	NTE-INEN 933	Max. 4	1.15	1.16	0.0	0.0	0.72	1.29

Tabla 3. Análisis químico de la gasolina super en la Refinería de Esmeraldas. Fuente: OPS, 2003.

ANÁLISIS QUÍMICO DE GASOLINA SUPER				
Parámetros	Norma-Método	Especificaciones de calidad	Análisis de calidad	
			Refenería Esmeraldas	
			Año 2002	Año 2003
Número de Octano Research (RON)	NTE-INEN 2102	Min. 89	90.42	91.79
Contenido de Plomo Orgánico (g/l)	NTE-INEN 931	Max. +0.013	0.0	0.0
Cont.de Azufre (%peso)	NTE-INEN 929	Max. 0.2	0.14	0.16
Cont. de Aromáticos (%vol)	NTE-INEN 2220	Max. 30	25.3	25.7
Cont. de Benceno (%vol)	ASTM 3606	Max. 2.0	1.12	1.05
Cont. de Olefinas (%vol)	NTE-INEN 2220	Max. 25.0	22.08	22.97
Densidad API	-	-	57.07	57.0
Densidad Relativa a 15,6/15,6 °C	-	-	0.75	0.75
Residuo (% vol)	NTE-INEN 926	Max. 2	0.88	0.96
Cont. Gomas (mg/100cm ³)	NTE-INEN 933	Max. 5	1.17	1.17

2.7.5.2. Hidrocarburos aromáticos

2.7.5.2.1. Propiedades físicas y químicas

Los hidrocarburos aromáticos poseen propiedades especiales asociadas con el núcleo o anillo de benceno, en el que existen seis grupos de carbono-hidrógeno unidos a cada uno de los vértices de un hexágono. Los enlaces que unen estos seis grupos al anillo presentan características intermedias, respecto a su comportamiento, entre los enlaces simples y dobles. Las principales fuentes de hidrocarburos aromáticos son la destilación de la hulla y una serie de procesos petroquímicos, en particular la destilación catalítica, la destilación del petróleo crudo y la alquilación de hidrocarburos aromáticos en las series más bajas (OIT, 2001).

La composición típica de los hidrocarburos constituyentes de la gasolina, en volumen, es de 4-8% de alcanos, 2-5% de alquenos, 25-40% de isoalcanos, 3-7% de cicloalcanos, 1-4% de cicloalquenos y 20-50% de compuestos aromáticos, de los que el 0,5-2,5% es benceno (Moreno Grau, 2003).

Tabla 4. Identificación química de los BTEX. Adaptado de OIT, 2001.


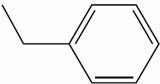
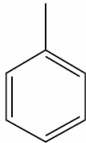
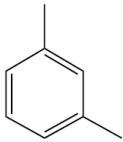
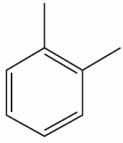
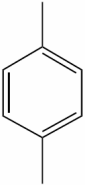
Producto químico	Sinónimos/Código UN	Número CAS	Fórmula estructural
BENCENO	Hidruro de fenilo; pirobenzol UN1114	71-43-2	
ETILBENCENO	Etilbenzol; feniletano UN1175	100-41-4	
TOLUENO	Metilbenceno; metilbenzol; fenilmetano UN1294	108-88-3	
m-XILENO	m-Dimetilbenceno; 1,3- dimetilbenceno; 1,3-xileno UN1307	108-38-3	
o-XILENO	o-Dimetilbenceno; 1,2- dimetilbenceno; o- metiltolueno; 1,2-xileno UN1307	95-47-6	
p-XILENO	p-Dimetilbenceno; 1,4- dimetilbenceno; p- metiltolueno; 1,4-xileno UN1307	106-42-3	

Tabla 5. Propiedades químicas de los BTEX. Fuente: OIT, 2001. Elaboración propia.

	BENCENO	ETILBENCENO	TOLUENO	m-XILENO	o-XILENO	p-XILENO
Número CAS	71-43-2	100-41-4	108-88-3	108-38-3	95-47-6	106-42-3
Color / Forma	Líquido transparente e incoloro	Líquido incoloro	Líquido incoloro	Líquido transparente e incoloro	Líquido incoloro	Placas o prismas incoloros a temperaturas bajas; líquido incoloro
Punto de ebullición (°C)	80	136	111	139.3	144	138.3
Punto de fusión (°C)	5.5	-95	-95	-47.8	-25	13
Peso molecular (g/mol)	78.11	106.16	92.13	106.17	106.16	106.2
Solubilidad en agua	Ligeramente soluble	Insoluble	Insoluble	Insoluble	Insoluble	Insoluble
Densidad relativa (agua = 1)	0.8765	0.8670	0.8660	0.8684	0.8800	0.861
Densidad de vapor relativa (aire = 1)	2.7	3.66	3.2	3.7	3.7	3.7
Presión de vapor (kPa)	10	0.9	2.9	1.0	0.7	0.9
Limite de inflamabilidad	1.3 li	1.6 li	1.2 li	1.1 li	1.0 li	1.1 li
	7.1 ls	7 ls	7.1 ls	7.0 ls	7.0 ls	7.0 ls
Punto de ignición (°C)	-11	128	4	27	32	27
Punto de autoignición (°C)	500	432	480	527	463	528

NOTAS:

li: Límite superior

ls: Límite inferior

2.7.5.2.2. Benceno

Las fuentes de benceno en el aire ambiente incluyen el humo de cigarrillo, la combustión y la evaporación de combustibles que contienen más de un 5% de benceno, las industrias petroquímicas y los procesos de combustión. La inhalación es la ruta de exposición dominante en la exposición humana a benceno. Fumar cigarrillos supone una importante fuente de exposición personal, mientras que las exposiciones a altas concentraciones durante intervalos cortos están asociadas a la recarga de combustible de vehículos. Los viajes largos en un vehículo con motor de combustión con niveles elevados de benceno en aire (que pueden proceder de la combustión o de emisiones evaporativas) producen exposiciones que se han reportado en diferentes países que son inferiores únicamente a las producidas por el tabaco en cuanto a la intensidad global de exposición. La contribución de esta fuente a la exposición ambiental y al riesgo de

padecer cáncer representa alrededor del 30% cuando el tiempo de viaje es de una hora, una duración no atípica en las comunicaciones urbanas y suburbanas de la población en general (WHO, 2000).

La absorción del benceno tiene lugar por inhalación, por ingestión y por vía cutánea. La ruta de exposición más importante es la inhalación, aunque la ingestión también es una vía eficaz de absorción. La vía cutánea es más lenta y precisa del contacto directo prolongado con el producto líquido; la absorción por esta vía de vapor de benceno no es relevante. Aproximadamente del 50-60% del benceno absorbido se exhala sin metabolizar (Moreno Grau, 2003).

Los efectos adversos más significativos de la exposición prolongada a benceno son la hematotoxicidad, genotoxicidad y cancerogénesis (WHO, 2000). La *hematotoxicidad* del benceno se manifiesta en la médula ósea, produciendo la destrucción progresiva de los componentes mieloides y eritroides, lo que se traduce en un descenso marcado de plaquetas y hematíes en sangre. Las lesiones causadas en la médula ósea por la exposición a benceno presentan un comportamiento dosis-dependiente, tanto en personas como en animales de laboratorio. La *anemia plástica* tiene una tasa de mortalidad muy elevada, del orden del 50% de las personas afectadas. (Moreno Grau, 2003).

2.7.5.2.3. Tolueno

El tolueno es un componente de la gasolina de automoción, de la que representa un 5-7%. Se utiliza extensamente como disolvente en pinturas, lacas, colas, como agente de limpieza y en la industria química, como intermedio en la fabricación de numerosos compuestos orgánicos, así como explosivos y tintas (Moreno Grau, 2003).

Las concentraciones promedio de tolueno en el aire ambiente en áreas rurales son generalmente inferiores a $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que las concentraciones en el aire urbano están en el rango 5-150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Estas concentraciones deben ser mayores en las proximidad de fuentes industriales de emisión (WHO, 2000).

El tolueno presenta un buen grado de absorción por inhalación e ingestión. Tras su absorción, se distribuye preferentemente al sistema nervioso central, dado su alto grado de irrigación sanguínea y contenido en lípidos. Además del sistema nervioso central, el tolueno se distribuye en otros tejidos en función de su contenido lipídico, y alcanza su máxima concentración en el tejido adiposo. Los efectos tóxicos del tolueno se producen fundamentalmente por depresión del sistema nervioso central. La exposición aguda

provoca inicialmente excitación, seguida de depresión con fatiga, ataxia, convulsiones y anestesia general, e incluso la muerte por hipoxia, arritmia y parada cardiaca. La inhalación crónica provoca debilidad muscular, síndrome gastrointestinal con dolores, náuseas y vómitos, insuficiencia hepatorenal y síndrome neuropsiquiátrico. La intoxicación crónica suele presentarse asociada al abuso intencionado por inhalación de este compuesto, aunque también se ha descrito efectos más sutiles que los anteriores en personas expuestas en el medio laboral, en las que se han observado efectos subclínicos consistentes en alteraciones auditivas y visuales (Moreno Grau, 2003).

2.7.5.2.4. Xilenos

Los xilenos, o dimetilbencenos, se utilizan en grandes cantidades en múltiples aplicaciones, entre las que destaca su uso como disolvente y como componente de la gasolina y combustible de aviación. La principal ruta de absorción de los xilenos es la inhalación, aunque también se absorbe efectivamente por ingestión, como se ha podido constatar en distintos incidentes de ingestión accidental de estos compuestos. Como otros disolventes lipofílicos volátiles, se absorbe bien a través de la piel, pero mucho más lentamente por la vía de inhalación. Se calcula que la vía cutánea representa únicamente un 1% del total absorbido de xilenos y toluenos en el medio ambiente ocupacional (Moreno Grau, 2003).

Al igual que el benceno, el xileno es un narcótico, por lo que la exposición prolongada al mismo provoca alteraciones de los órganos hematopoyéticos y del sistema nervioso central. El cuadro clínico de la *intoxicación aguda* es similar al de la intoxicación por benceno. Los síntomas son: fatiga, mareo, sensación de borrachera, temblores, disnea, y en ocasiones náuseas y vómitos. La *exposición crónica* produce debilidad general, excesiva fatiga, mareo, cefalea, irritabilidad, insomnio, pérdida de memoria y zumbidos en los oídos. Las mujeres pueden sufrir alteraciones en los ciclos menstruales; se ha visto que las trabajadoras expuestas a tolueno y xileno en concentraciones que superen periódicamente los límites de exposición, también se vieron afectadas por problemas durante sus embarazos y esterilidad. Se han producido casos mortales consecutivos a intoxicaciones crónicas, sobre todo en trabajadores de imprenta, aunque también en otros sectores de la industria. (OIT, 2001).

2.7.5.2.5. Etilbenceno

El etilbenceno se utiliza fundamentalmente como base para la síntesis de estireno y como componente de la gasolina (fracción BTEX) y el combustible de aviación. Su comportamiento toxicocinético es muy similar al de los xilenos: se absorbe

preferentemente por inhalación, aunque también la ingestión da lugar a una absorción rápida y eficaz. La absorción cutánea es más lenta. El etilbenceno presenta una baja toxicidad en animales y en el hombre, tanto en exposiciones agudas como crónicas. Sus efectos tóxicos principales se producen en el sistema nervioso central, en el que actúa como depresor. También es un agente irritante de mucosas, sistema respiratorio y ojos (Moreno Grau, 2003).

2.7.5.3. Contaminación atmosférica provocada por los COVs

Los óxidos de nitrógeno y de azufre, el CO y los COVs son considerados contaminantes primarios debido a que se producen directamente en la combustión. Por otra parte, existen reacciones que se producen en la troposfera, como la descomposición fotoquímica del NO₂, que generan contaminantes secundarios como el ozono. Los COVs reaccionan en la troposfera para dar lugar a radicales peróxidos, que a su vez aseguran que el NO se oxide a NO₂, y de esta forma se continúa produciendo ozono. En general el ozono se puede formar muy lejos de la fuente de COVs (OMS, 2004).

En Quito, uno de los principales contaminantes es el ozono. De hecho, en el año 2004 se detectaron violaciones de la Norma Ecuatoriana de Calidad del aire en cuanto a niveles de ozono en corto plazo (CORPAIRE, 2005).

2.7.5.4. Propiedades toxicológicas

Para calcular los riesgos cancerígenos y no cancerígenos para la salud humana asociados a la exposición a BTEXs es necesario disponer de información actualizada sobre el estado de la ciencia y la técnica en esta materia. Existen varias fuentes de información disponibles en Internet, de las cuales se destaca la Red IRIS de la U.S. EPA. Esta base de datos presenta los perfiles toxicológicos de los agentes más comunes, distinguiendo entre sus efectos cancerígenos y no cancerígenos. También proporciona datos cuantitativos de la relación dosis-respuesta de muchos de estos agentes químicos, así como de una discusión de en que se basan los datos cuantitativos, las evidencias epidemiológicas, los ensayos sobre animales, los ensayos *in vivo* e *in vitro* y los análisis de estructura-actividad y ciertas propiedades físico-químicas de los compuestos tóxicos (Moreno Grau, 2003). Los principales datos toxicológicos de los BTEX se recogen en la Tabla 6.

Tabla 6. Datos toxicológicos de los BTEXs. Fuente: EPA, 2006. Elaboración propia.

Riesgo no cancerígeno por exposición crónica (exposición oral).							
Compuesto	BMDL (mg/kg-día)	BMCL (mg/kg-día)	NOEL (mg/kg-día)	NOAEL (mg/kg-día)	RfD (mg/kg-día)	SF (mg/kg-día) ⁻¹	UR (µg/L) ⁻¹
Benceno	1.2	-	-	-	4.0·10 ⁻³	-	-
Etilbenceno	-	-	97.1	-	1·10 ⁻¹	-	-
Tolueno	238	-	-	-	0.08	-	-
Xilenos	-	-	-	179	0.2	-	-

Riesgos no cancerígenos por exposición crónica (exposición por inhalación).							
Compuesto	BMDL (mg/m ³)	BMCL (mg/m ³)	NOEL (mg/m ³)	NOAEL (mg/m ³)	RfD (mg/m ³)	SF (µg/m ³) ⁻¹	UR (µg/m ³) ⁻¹
Benceno	-	8.2	-	-	3·10 ⁻²	-	-
Etilbenceno	-	-	-	434	1	-	-
Tolueno	-	-	-	46	5	-	-
Xilenos	-	-	-	39	0.1	-	-

Riesgo cancerígeno por exposición prolongada (Exposición oral)							
Compuesto	BMDL (mg/m ³)	BMCL (mg/m ³)	NOEL (mg/m ³)	NOAEL (mg/m ³)	RfD (mg/m ³)	SF (mg/kg-día) ⁻¹	UR (µg/L) ⁻¹
Benceno	-	-	-	-	-	1.5·10 ⁻² – 5.5·10 ⁻²	4.4·10 ⁻⁷ – 1.6·10 ⁻⁶
Etilbenceno	-	-	-	-	-	-	-
Tolueno	-	-	-	-	-	-	-
Xilenos	-	-	-	-	-	-	-

Riesgo cancerígeno por exposición prolongada (Exposición por inhalación)							
Compuesto	BMDL (mg/m ³)	BMCL (mg/m ³)	NOEL (mg/m ³)	NOAEL (mg/m ³)	RfD (mg/m ³)	SF (µg/m ³) ⁻¹	UR (µg/m ³) ⁻¹
Benceno	-	-	-	-	-	-	2.2·10 ⁻⁸ – 7.8·10 ⁻⁶
Etilbenceno	-	-	-	-	-	-	-
Tolueno	-	-	-	-	-	-	-
Xilenos	-	-	-	-	-	-	-

BMDL = Dosis de referencia. *Benchmark dose* en inglés

BMCL = Concentración de referencia. *Benchmark concentration* en inglés.

NOEL = Nivel posológico más elevado sin efectos observados. *No observed effect level* en inglés.

NOAEL = Nivel umbral aparente, por debajo del cual no aparecen efectos tóxicos. *Non observed adverse effect level* en inglés.

RfD = Dosis de referencia. *Reference dose* en inglés.

SF = Factor de pendiente. *Slope factor* en inglés.

AUR = Unidad de riesgo cancerígeno en aire. *Unit Risk* en inglés.

2.7.5.5. Límites de exposición

Los límites de exposición en el ambiente laboral que se aceptan a nivel internacional son los propuestos por OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*), NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health*) y ACGIH (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists*). Los límites de exposición a BTEXs admisibles se resumen en la Tabla 7.

Tabla 7. Límites de exposición permisibles por inhalación. NIOSH, 2003.

Sustancia	OSHA		NIOSH	ACGIC	
	TWA (ppm)	TWA (ppm)	STEL (ppm)	TLV (ppm)	STEL (ppm)
Benceno	1	0.1 (a)	-	10 (b)	-
Etilbenceno	100	100	125	100	125
Tolueno	200	100	150	50 (piel)	-
o-xileno	100	100	-	100	150
m-xileno	100	100	-	100	150
p-xileno	100	50	100	50	100 (piel)

(a) Potenciales cancerígenos

(b) Posiblemente potenciales cancerígenos.

OSHA = Occupational Safety and Health Administration

NIOSH = National Institute for Occupational Safety and Health

ACGIC = American Conference of Governmental Industrial Hygienists

TWA = Time weight average. Son un valor medio de exposición durante un turno de 8 horas.

STEL = Short Term Exposure Level. Límite de exposición a corto plazo.

TLV = Threshold Limit Value. Un TLV refleja el nivel de exposición que el trabajador típico puede experimentar sin un riesgo razonable de enfermedad o daño.

Estos límites se utilizan a nivel mundial como una referencia para determinar si los niveles de exposición son admisibles o no. Sin embargo, están siendo criticados ampliamente, en especial en relación a los límites de exposición a benceno. Por ejemplo, el Colegio Ramazzini, institución italiana dedicada a la investigación sobre temas de salud ambiental y laboral, ha estudiado con profundidad el estado del conocimiento sobre los efectos cancerígenos del benceno y rechaza rotundamente los límites propuestos por la OSHA, NIOSH y ACGIC. Dicho rechazo se debe a que durante los últimos años se han realizado investigaciones sobre los efectos de la exposición a niveles de benceno muy inferiores a los límites anteriormente indicados y se ha obtenido riesgos elevados de padecer leucemia o linfoma. Estos estudios demuestran que la exposición prolongada a concentraciones inferiores a las permitidas en los Estados Unidos y otros países puede provocar efectos graves en la salud. Por tanto, el Colegio Ramazzini mantiene que concentraciones superiores a 40 ppb de benceno representan

un riesgo de padecer cáncer serio, innecesario y evitable para los hombres y mujeres trabajadores en todo el mundo (Colegio Ramazzini, 2004).

3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

3.1. Hipótesis

Los trabajadores de las gasolineras de Quito podrían estar sometidos a unos niveles de exposición a BTEX asociados a riesgos intolerables para la salud.

3.2. Objetivos

El objetivo principal de este estudio evaluar el riesgo para la salud humana asociado a la exposición a BTEX en las gasolineras del área urbana del Distrito Metropolitano de Quito.

Los objetivos específicos son los siguientes:

- 1.- Medir las concentraciones ambientales de BTEX en la atmósfera de las gasolineras de Quito.
- 2.- Evaluar el riesgo para la salud humana asociado a la exposición a BTEX en gasolineras.

4. METODOLOGÍA

4.1. Descripción general

A continuación se describe las etapas de este proyecto de investigación:

- (1) **Revisión bibliográfica.** Esta etapa incluye una revisión exhaustiva de los impacto de los BTEX sobre la salud humana y de los métodos de evaluación de riesgo para la salud humana aceptados internacionalmente entre otros aspectos.
- (2) **Selección de la muestra de gasolineras.** El área de estudio de este proyecto de investigación es el área urbana del Distrito Metropolitano de Quito, que cubre una superficie de 405 km². Dentro de esta área se encuentran alrededor de 80 gasolineras, lo que equivale a una densidad de 0,2 gasolineras por km². Se medirá en 17 gasolineras del área urbana del DMQ (21% del total de gasolineras del área urbana del DMQ), en el Beaterio (Ver ubicación de los puntos de muestreo en el Mapa 1). Se decidió este número de estaciones de servicio para contar con una muestra representativa de las estaciones de servicio comerciales presentes en el área urbana del Distrito Metropolitano de Quito. En cuanto a las estaciones de servicio industriales, solamente fue posible tomar muestras en El Beaterio. Todas las estaciones de servicio comerciales corresponden a una compañía distribuidora; esto se debe a que no fue posible obtener los permisos necesarios para tomar muestras en estaciones de servicio de otras compañías durante el tiempo disponible para el proyecto.
- (3) Puesta a punto del **protocolo de toma de muestras** y de los **métodos analíticos**. Este punto incluye la calibración del cromatógrafo de gases FID.
- (4) Elaboración de un **plan de muestreo**. El muestreo se realiza teniendo en cuenta la distribución geográfica de las gasolineras dentro del DMQ. En este sentido, se ha dividido el muestreo en 3 grupos en función de la proximidad entre los mismos: zona norte (ZN), zona centro (ZC) y zona sur (ZS).
- (5) En cada punto de muestreo se procede a la **toma de muestras de COVs** mediante tubos de muestreo pasivo de la marca PASSAM AG (MODELO ORSA5). Se trata de tubos de vidrio de geometría cilíndrica rellenos de carbón activado. Ambos extremos de los cilindros están rellenos de una barrera de difusión de acetato de celulosa que garantiza una velocidad de difusión del aire

ambiente controlada. Los COVs que se difunden a través de esta barrera son adsorbidos en el relleno de carbón activado.

- (6) **Determinación de la concentración de COVs.** Se procede a desorber los COVs retenidos en carbón activado mediante CS₂ líquido. Mediante cromatografía gaseosa FID se determinará la masa total de COVs y de BTEXs absorbidos. Dado que la velocidad de difusión es conocida, es posible calcular la concentración atmosférica promedio durante el tiempo de muestreo.
- (7) **Evaluación del riesgo para la salud.** Esta etapa incluye la caracterización del riesgo para la salud humana asociado a la exposición a COVs. La metodología que se utilizará para evaluar el riesgo fue desarrollada por U.S. EPA durante las décadas de 1970 y 1980. Dicha metodología ha sido recogida en el documento *Methodology for assessing health risks associated with multiple pathways of exposure to combustor emissions* (U.S. EPA, 1998). Estas pautas coinciden básicamente con las descritas en los Documentos Técnicos dictados en desarrollo de la Directiva Europea 93/67/EEC sobre Evaluación de Riesgo de Nuevas Sustancias y del Reglamento de la Comisión Europea N° 1488/94 sobre evaluación del riesgo de sustancias existentes (Moreno Grau, 2003).

La metodología de evaluación del riesgo se divide en los siguientes pasos:

7.1.- **Identificación de peligros.** La identificación de peligros, o identificación del riesgo, consiste en determinar los efectos indeseables que una sustancia es intrínsecamente capaz de provocar. La identificación de los peligros se realiza mediante la recopilación y análisis de la información disponible sobre los efectos del contaminante, es decir, los estudios realizados sobre sus efectos tóxicos, sus propiedades físico-químicas y su comportamiento en el medio (Moreno Grau, 2003).

7.2.- **Estudio de dosis-respuesta.** La segunda etapa de la evaluación se establece mediante el análisis dosis-respuesta, es decir, el vínculo entre la dosis y la incidencia y gravedad del efecto. La relación dosis-respuesta se establece mediante el análisis de los datos toxicológicos del contaminante obtenidos en estudios epidemiológicos, ensayos en animales, ensayos *in-vitro*, determinaciones físico-químicas y relaciones estructura-actividad (Moreno Grau, 2003).

La exposición ambiental a contaminantes suele caracterizarse por bajas concentraciones, pero mantenidas a lo largo del tiempo. Esta exposición a bajas concentraciones durante largos periodos define las condiciones habituales en el proceso de evaluación toxicológica del riesgo para la salud humana (Moreno Grau, 2003).

7.3.- Evaluación de la exposición

La evaluación de la exposición es el proceso de cálculo de la dosis externa del contaminante recibida por la población. La evaluación de la exposición se lleva a cabo mediante el análisis cuantitativo y cualitativo de la serie de mecanismos y procesos a través de los cuales el agente químico, a partir de su punto de introducción en el medio ambiente, se transforma y desplaza para finalmente alcanzar a la población receptora (Moreno Grau, 2003).

Para que ocurra la exposición es necesaria la existencia de una ruta ambiental completa: (1) fuente de contaminación, (2) compartimentos ambientales, (3) vía de exposición y (4) punto de contacto y presencia de la población receptora en dicho punto (Moreno Grau, 2003).

En esta fase de la evaluación se debe identificar las rutas ambientales potenciales, comprobar su relevancia, descartar las rutas incompletas y cuantificar las rutas relevantes (una ruta está completa si hay una liberación de una sustancia desde una fuente, un escenario de exposición donde pueda ocurrir un contacto y una vía de exposición o ingreso; en caso de no existir alguno de estos elementos tendremos una *ruta incompleta o no significativa*) (Peña, 2001). La cuantificación de la exposición se lleva a cabo mediante el cálculo combinado de la dosis recibida por la población receptora a través de las rutas medioambientales completas analizadas (Moreno Grau, 2003).

7.4.- Caracterización del riesgo.

En la última etapa de la evaluación de riesgo, la caracterización, se integra la información obtenida en la caracterización de peligros, la relación dosis-respuesta y la evaluación de la exposición, con objeto de predecir el riesgo de padecer efectos adversos por los individuos o poblaciones expuestas (Moreno Grau, 2003).

La *caracterización del riesgo* es el proceso de estimación de la incidencia de un efecto adverso sobre la salud en las distintas situaciones de exposición humana

establecidas en la evaluación de la exposición, combinando la información sobre efectos y exposición para obtener medidas cuantitativas del riesgo (Moreno Grau, 2003).

La medida del riesgo para la salud humana se expresa como la probabilidad de que el efecto sobre la salud ocurra, para los efectos tóxicos sin nivel umbral (cancerígenos), o como índices de riesgo o márgenes de seguridad para los efectos tóxicos con nivel umbral (no cancerígenos). Un elemento fundamental de la caracterización del riesgo es la descripción de la incertidumbre, lo que exige una valoración de la calidad y cantidad de datos disponibles, la detección de vacíos de información y una evaluación crítica del uso de hipótesis y aproximaciones para suplir esos vacíos (Moreno Grau, 2003).

(8) Análisis de datos, identificación de medidas de control y análisis preliminar de costo-beneficio.

Esta etapa incluye la sistematización de los datos obtenidos a partir de las actividades descritas anteriormente. Además, en base a los resultados de la evaluación del riesgo para la salud y de las características de la infraestructura de las gasolineras y de los procedimientos operativos vigentes, se identificará las medidas de control necesarias para alcanzar una situación de riesgo tolerable. En base a estas necesidades, se realizará un análisis costo-beneficio preliminar de la implementación de medidas de control.

4.2. Toma de muestras

La toma de muestras se ha realizado en 17 estaciones de servicio de la red de gasolineras urbanas de Quito (Ver Mapa 1). Una de estas estaciones, el Beaterio, es de tipo industrial, es decir, abastece a camiones cisterna que transportan carburantes a estaciones de servicio comerciales o industrias.

La metodología que se ha seguido para la toma de muestras es la siguiente:

4.2.1. Instalación de los tubos de muestreo pasivo.

Los tubos de muestreo pasivo se han instalado en las columnas centrales de las islas de carga de las gasolineras. Se han instalado tres tubos por gasolinera protegidos con una carcasa de polietileno (Ver Fotografía 1). Dos tubos se han instalado en pareja dentro de una misma carcasa (Tubos A y B), y el tercero se ha instalado en una carcasa diferente

(Tubo C). Uno de los tubos en pareja, ha sido enviado a la empresa suiza Passam para que proceda a su análisis. Los tubos B y C han sido analizados en el laboratorio de Quito. La distribución de tubos en cada estación de servicio se describe detalladamente en la Tabla 8. Esta distribución de tubos nos ha permitido comparar los resultados analíticos obtenidos en Quito y en Suiza, ya que los tubos A y B se han instalado en la misma carcasa de polietileno y por tanto deben proporcionar un valor similar de concentración.

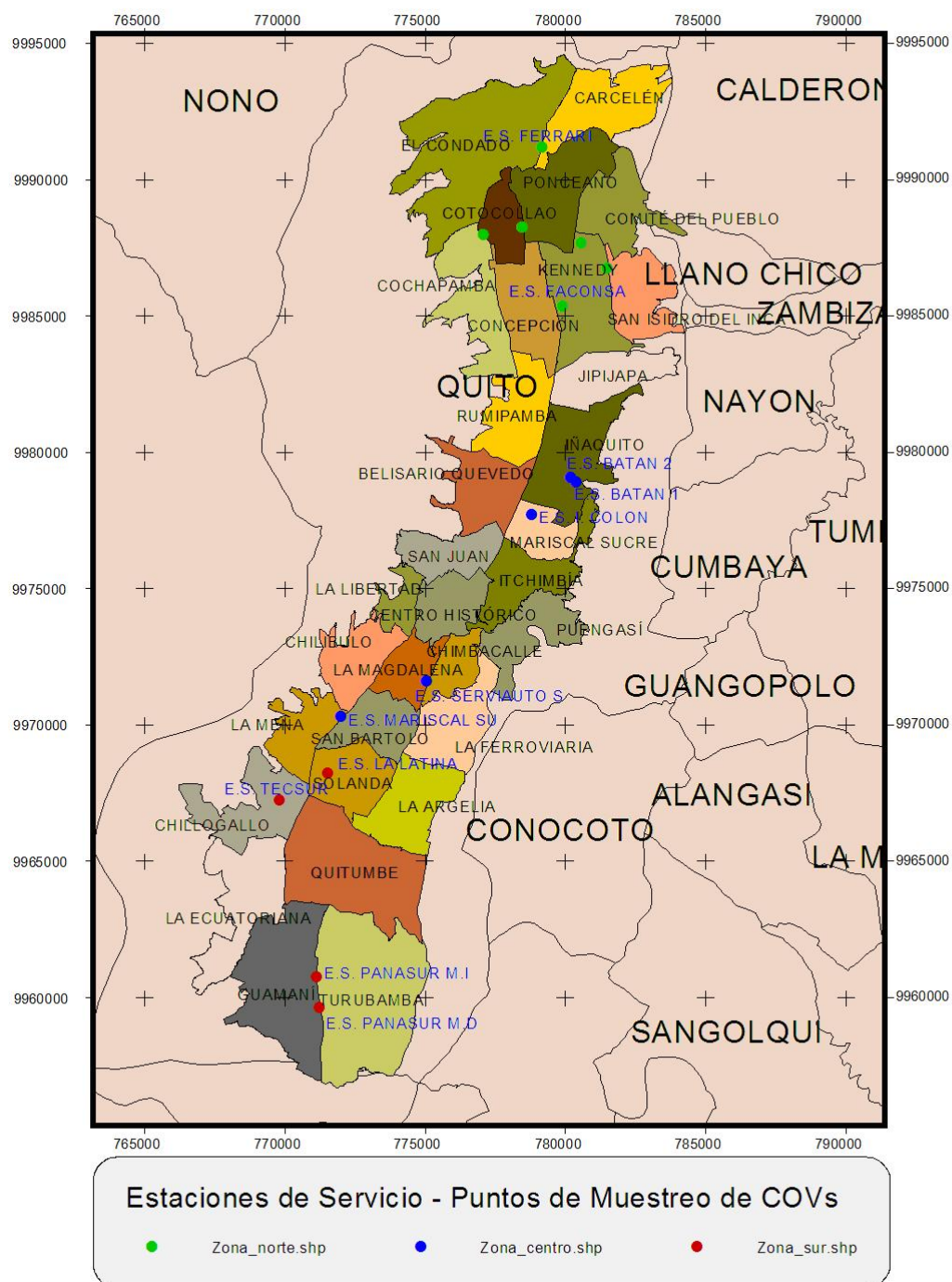
Tabla 8, Distribución de tubos de muestreo pasivo en cada estación de servicio.

Tubo de muestreo	Carcasa	Laboratorio	Observaciones
A	1	Passam	Tubo enviado al Laboratorio PASSAM en Suiza
B	1	Quito	Tubo analizado en el laboratorio de la CORPAIRE en Quito
C	2	Quito	Tubo analizado en el laboratorio de la CORPAIRE en Quito

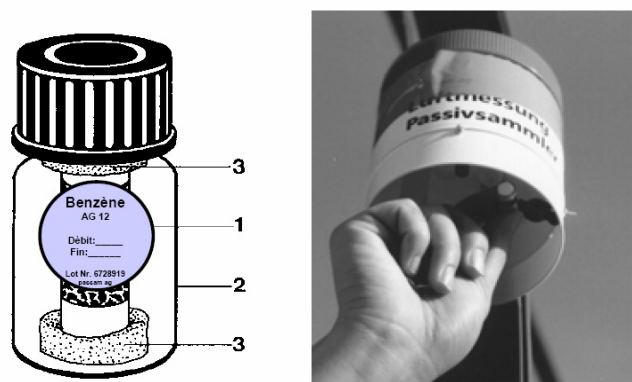
Para garantizar la trazabilidad en el proceso de instalación y recogida de tubos, cada tubo ha sido identificado con un código general numérico de dos dígitos (NN) y un código de ubicación alfanumérico de tres dígitos (AAA).

Las carcasas de polietileno se han instalado a una altura de entre 2,5 y 3,0 metros de altura. Se han sujetado a las columnas de las islas de carga mediante alambre galvanizado.

Se ha seleccionado las columnas de las islas de carga de forma que la Carcasa 1 y la Carcasa 2 queden instaladas siempre con la misma distribución. Para esto, siempre que ha sido posible, y para minimizar el efecto de proximidad a un tipo determinado de combustible, se ha seleccionado columnas en islas de carga diferentes y con alternancia diagonal (Ver Figura 5 y en la Fotografía 2).



Mapa 1. Estaciones de Servicio donde se ha tomado muestras de BTEX. Fuente: IGM y CORPAIRE, 2005. Elaboración propia.



Fotografía 1. Tubos de muestreo pasivo para BTEXs de la marca Passam. Fuente: Passam.



Fotografía 2. Ubicación de los tubos de muestreo pasivo en las islas de carga de las estaciones de servicio. Autor: Gonzalo Banda.

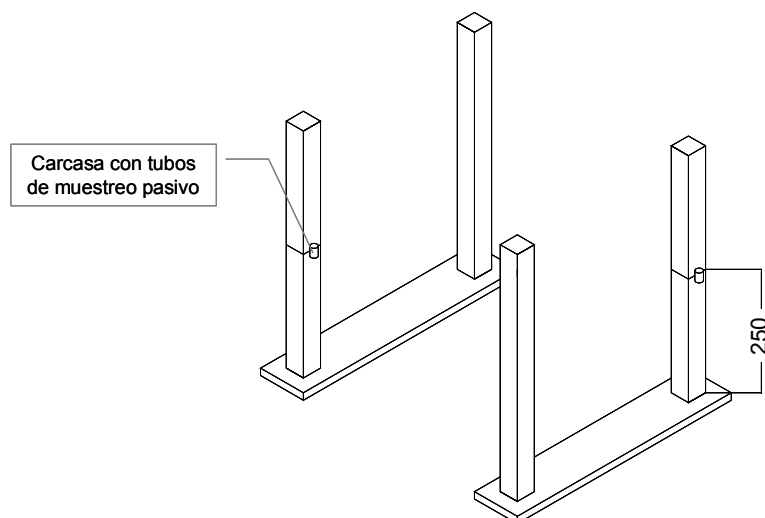


Figura 5. Ubicación de los tubos de muestreo pasivo en las islas de carga de las gasolineras. Elaboración propia. Distancias en centímetros.

4.2.2. Recolección de los tubos de muestreo pasivo

Los tubos permanecieron en las estaciones de servicio durante aproximadamente 14 días (en la Tabla 11 se indica el tiempo de permanencia exacto de cada uno de los tubos). Transcurrido este tiempo se procedió a la retirada de los tubos, para lo cual fue necesario cortar los alambres galvanizados.

4.2.3. Conservación

Los tubos de muestreo pasivo se mantuvieron herméticamente cerrados dentro de los envases suministrados por el fabricante hasta el momento de realizar los análisis y refrigerados a menos de 5 °C.

4.3. Análisis químico

4.3.1. Principio del método.

Los BTEX presentes en el aire se difunden a través de la pared porosa de los tubos de muestreo pasivo y son adsorbidos por el carbón activado. A continuación se procede a la desorción de los BTEX con disulfuro de carbono.

4.3.2. Reactivos

Los reactivos utilizados fueron los siguientes:

- (1) Disulfuro de carbono (Merck; Pureza > 99.9%; Agua < 0.01%)
- (2) Butil acetato (Merck; Pureza > 98.0%; Agua < 0.05%)
- (3) Benceno para cromatografía de gases. (Merck; Pureza > 99.8%; Residuo después de evaporación < 2.0 mg/l; Agua < 0.03%)
- (4) Tolueno para cromatografía de gases. (Merck; Pureza > 99.9%; Residuo después de evaporación < 2.0 mg/l; Agua < 0.05%)
- (5) m-xileno para cromatografía de gases. (Merck; Pureza > 99.8%; Residuo después de evaporación < 2.0 mg/l; Agua < 0.03%)
- (6) p-xileno para cromatografía de gases. (Merck; Pureza > 99.9%; Residuo después de evaporación < 2.0 mg/l; Agua < 0.05%).
- (7) o-xileno para cromatografía de gases (Merck; Pureza > 99.9%; Residuo después de evaporación < 2.0 mg/l; Agua < 0.05%)

4.3.3. Equipo analítico

Los principales equipos utilizados fueron los siguientes:

- (1) Cromatógrafo de Gases FID Shimadzu GC-17A equipado con detector FID.
- (2) Columna capilar con las siguientes características:

Marca y modelo: Restek MTX-5. Silcosteel ®

Longitud: 30 m.

Diámetro interno: 0,53 mm

DF. 1mm

Composición: 5% difenilo / 95% polidimetil siloxano.

- (2) Procesador de Datos Shimadzu CROMATOPAC C-R7A plus.

4.3.4. Preparación de la muestra

Cada tubo de muestreo pasivo (ver detalle del tubos de muestreo en la Fotografía 3) se abre mediante la retirada de uno de las tapas porosas del cilindro de vidrio con la ayuda de una pinza. El carbón activado se transfiere sin pérdidas de masa a un recipiente de vidrio que pueda ser cerrado herméticamente.



Fotografía 3. Detalle de tupo de muestreo PASSAM ORSA 5. Fuente: elaboración propia.

En el recipiente que contiene el carbón activado se añade 1.5 ml de disulfuro de carbono con el estándar interno y después el recipiente es cerrado. A continuación se somete a agitación suave durante una hora. Finalmente el solvente es transferido a un vial de 3 ml cerrado herméticamente para proceder a su análisis cromatográfico. Una vez preparados, los viales fueron conservados a 5°C.

4.3.5. Preparación del eluyente

Se añadieron 2.5 mL de butil acetato en 500 ml de disulfuro de carbono. El eluyente se conservó refrigerado a 5°C.

4.3.6. Calibración

Se preparó una solución madre con la que después se elaboraron las soluciones estándar de calibración. Para la preparación de la solución madre se añadieron 25 μ l de benceno, tolueno, m-xileno, o-xileno y p-xileno en 100 ml de disulfuro de carbono. No fue posible analizar en Quito el etilbenceno porque no se pudo obtener etilbenceno de la calidad requerida durante el tiempo disponible para esta investigación.

Las soluciones estándar se prepararon siguiendo añadiendo las cantidades de disolución madre que se muestran en la Tabla 9 en 1,5 ml de disulfuro de carbono.

Tabla 9. Preparación de disoluciones estándar de calibración. Elaboración propia.

Código	μl disolución madre	Cantidad de benceno por tubo (μg)	Cantidad de tolueno por tubo (μg)	Cantidad de m-xileno y p-xileno por tubo (μg)	Cantidad de o-xileno por tubo (μg)
D ₃	3,00	0,66	0,65	0,66	0,65
D ₅	4,98	1,09	1,08	1,09	1,08
D ₂₀	20,00	4,38	4,33	4,37	4,31
D ₁₆₀	160,00	35,06	34,64	34,97	34,44

Las rectas de calibración que se obtuvieron se muestran incluyen en el Anexo 8.4. Se adjunta un cromatograma de ejemplo en el Anexo 8.7.

4.3.7. Cálculo de la concentración

La concentración se calcula mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 7. Cálculo de la concentración de BTEXs en aire a partir de la cantidad retenida en los tubos de muestreo pasivo.

$$C_{BTEX} = \frac{Q \cdot 10^6}{SR \cdot t}$$

Donde:

- C_{BTEX} = Concentración de BTEX en aire [μg/m³] a 25°C y 1 atm.
- Q = Cantidad de BTEX en los tubos [μg}
- t = Tiempo de exposición [min]
- SR = Tasa de muestreo pasivo [ml/min]
 - SR benceno = 6.44 ml/min
 - SR tolueno = 5.72 ml/min
 - SR etilbenceno = 5.20 ml/min
 - SR m-xileno y p-xileno = 5.03 ml/min
 - SR o-xileno = 5.45 ml/min

La cantidad de BTEX en los tubos se ha determinado a partir de curvas de calibración que relacionan la cantidad de BTEX en los tubos y el área de pico que proporciona el

cromatógrafo de gases. Estas curvas están recogidas en el Anexo 8.4. El área de pico para cada BTEXs se ha corregido con el área del estándar interno (AEI) utilizado (butil acetato) mediante la introducción de un factor de corrección (FCI).

Para el cálculo de la concentración de BTEX es necesario corregir en área de pico obtenida en el cromatograma para poderla sustituir en la ecuación de la recta de calibración. Para esto se define el Factor de Corrección del Estándar Interno (FCI) como sigue:

$$FCI = \frac{AEI_b}{AEI}$$

Donde

- FCI = Factor de corrección del estándar interno (adimensional).
- AEI = Área de pico del estándar interno (adimensional).
- AEI_b = Área del estándar interno en el blanco de disulfuro de carbono utilizado para la extracción de los compuestos orgánicos volátiles (adimensional).

Para determinar el área de cálculo se utiliza la siguiente fórmula:

$$AC = AP \cdot FCI$$

Donde

- AP = Área de pico de cada uno de los BTEX (adimensional).
- AC = Área de cálculo (adimensional).

Sustituyendo AC en la ecuación de la recta de calibración para cada BTEX obtenemos la masa de compuesto retenida en los tubos de adsorción pasiva. Las rectas de calibración se recogen en el Apartado 4.3.7.

Las áreas de pico obtenidas mediante cromatografía y los cálculos intermedios necesarios para llegar a la concentración de BTEX en aire se adjuntan en el Anexo 8.5.

Se describe pormenorizadamente el proceso de cálculo para determinar la concentración de BTEX corregida en el Anexo 8.8.

4.4. Caracterización del riesgo

La metodología que se ha seguido para calcular el riesgo cancerígeno y no cancerígeno se describe detalladamente en el apartado 2.7.4.2

Los riesgos cancerígenos asociados a la inhalación de un determinado compuesto se calculan en base a un factor denominado *Unidad de Riesgo en Aire* (AUR, *Air Unit Risk* en inglés). El AUR es una concentración recíproca (mg/m^3)⁻¹. Los riesgos no cancerígenos se calculan a partir de la Dosis de Referencia (RfD, *Reference Dose* en inglés). El valor de AUR y RfD se ha obtenido de la base de datos IRIS (U.S. EPA, 2006).

La Ecuación 3 puede ser modificada para calcular el riesgo cancerígeno a partir de un valor de concentración y en base a la unidad de riesgo en aire, quedando de la siguiente forma:

Ecuación 8. Cálculo del riesgo cancerígeno a partir de la concentración crónica promedio del tóxico.

$$\text{Riesgo cancerígeno} = C \cdot \text{AUR}$$

Donde

- Riesgo = Probabilidad de que se produzca cáncer como consecuencia de la exposición al contaminante (adimensional)
- C = Concentración crónica promediada durante toda la vida, estimada durante un periodo de tiempo de 70 años (mg/m^3).
- AUR = Unidad de riesgo en aire (mg/m^3)⁻¹.

La concentración crónica promediada durante toda la vida se calcula de la siguiente forma:

Ecuación 9. Cálculo de la concentración crónica promediada durante toda la vida.

$$C = C_p \cdot FE$$

Donde

- C = Concentración crónica promediada durante toda la vida, estimada durante un periodo de tiempo de 70 años (mg/m^3).
- C_p = Concentración promedio del contaminante en el escenario de exposición (mg/m^3)
- FE = Factor de Exposición (adimensional).

El factor de exposición se calcula de la siguiente forma:

Ecuación 10. Cálculo del factor de exposición.

$$FE = \frac{h_d}{24} \frac{d_s}{7} \frac{s_a}{52} \frac{a_t}{e_v}$$

- FE = Factor de exposición (adimensional).
- h_d = Horas de trabajo al día (horas).
- d_s = Días de trabajo a la semana (días).
- s_a = Semanas de trabajo al año (semanas).

- a_t = Años de trabajo (años). El valor estándar de la U.S. EPA es de 30 años.
 e_v = Esperanza de vida (años). El valor estándar de la U.S. EPA es 70 años.

Tabla 10. Cálculo de los parámetros necesarios para determinar el riesgo cancerígeno y no cancerígeno asociado a la exposición de BTEXs.

Variable	Riesgo cancerígeno												Riesgos no cancerígenos					
	C (Concentración $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Horas de trabajo al día (horas)	Días de trabajo a la semana (d/semana)	Semanas de trabajo al año (semanas/año)	Duración de la exposición	Esperanza de vida promedio	Factor de exposición	Air Unit Risk (AUR) mínimo ($\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$) (2)	Air Unit Risk máximo (AUR) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (2)	Air Unit Risk (AUR) mínimo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (1)	Air Unit Risk máximo (AUR) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (1)	Riesgo mínimo calculado (3)	Riesgo máximo calculado (3)	Factor de exposición	RfD ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (1)	Incertidumbre (MF) (1)	Incertidumbre (UF) (1)	Coefficiente de peligrosidad (no cancerígenos)
Símbolo	C	h_d	d_s	s_a	a_t	e_v	FE	AUR _{min}	AUR _{max}	AUR _{min}	AUR _{max}	AUR _{min}	AUR _{max}	FE	RfD	MF	UF	CP
Benceno	1	8	5	50	30	70	0,098	2,18E-07	7,55E-07	2,20E-06	7,80E-06	2,16E-07	7,65E-07	0,098	30	1	300	0,0033
Etilbenceno	1	8	5	50	30	70	0,098	-	-	-	-	-	-	0,098	1000	1	300	0,0001
Tolueno	1	8	5	50	30	70	0,098	-	-	-	-	-	-	0,098	5000	1	10	0,0000
Xilenos	1	8	5	50	30	70	0,098	-	-	-	-	-	-	0,098	100	1	300	0,0010
Total	Riego total cancerígenos calculado (probabilidad)							2,18E-07	7,55E-07	-	-	2,16E-07	7,65E-07	Coeficiente de peligrosidad calculado			0,0044	
Riesgo admisible	Riego total cancerígenos admisible (probabilidad) (1)							1,00E-06	1,00E-06	-	-	1,00E-06	1,00E-06	Coeficiente de peligrosidad admisible			1,0000	
Relación Riesgo calculado / riesgo admisible	Relación (adimensional)							0,218	0,755	-	-	0,216	0,765	Relación			0,0044	

AUR = Unidad de riesgo cancerígeno por inhalación (Air Unit Risk en inglés).

RfD = Dosis de referencia.

MF = Factor de modificación.

UF = Factor de incertidumbre

CP = Coeficiente de peligrosidad

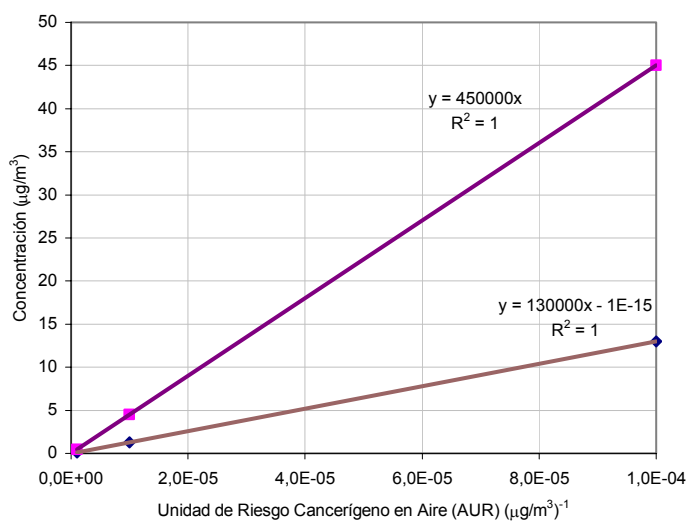
(1) Obtenidos de la base de datos IRIS (USEPA, 2006)

(2) Calculado a partir de la regresión lineal propuesta en la Red IRIS (USEPA, 2006)

(3) Calculado a partir de Unidades de Riesgo en Aire (Air Unit Risk) publicadas en la Red IRIS (USEPA, 2006)

En la Tabla 10 se muestra los datos que se ha utilizado para determinar el riesgo cancerígeno y no cancerígeno. Para facilitar el proceso de cálculo, se ha tomado como base de cálculo $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de benceno, etilbenceno, tolueno y xilenos para determinar el *riesgo cancerígeno total mínimo y máximo* y el *coeficiente de peligrosidad total* (efectos no cancerígenos). En la bibliografía existen diferentes métodos para determinar AUR mínimo y máximo. En la

Tabla 10 se indican los tres métodos diferentes propuestos por U.S. EPA, que como puede apreciarse proporcionan valores similares. Estos valores se multiplican por las concentraciones registradas en cada una de las estaciones de servicio, en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para obtener los valores de riesgo en cada punto de muestreo. Los resultados del riesgo calculado están recogidos en la Tabla 14.



AUR ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Concentración de benceno mínima ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Concentración de benceno máxima ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
0,0001	13	45
0,00001	1,3	4,5
0,000001	0,13	0,45

Gráfico 1. Correlación para el cálculo del Riesgo Cancerígeno en Aire (Air Unit Risk). U.S.EPA, 2006.

En el Gráfico 1 se muestra la correlación propuesta en la base de datos IRIS (U.S. EPA, 2006) para determinar el riesgo cancerígeno asociado a diferentes concentraciones ambientales de benceno. Para cada valor de concentración se tiene un valor mínimo y máximo de unidad de riesgo cancerígeno en aire. Este intervalo refleja las incertidumbres asociadas a la estimación de este riesgo.

5. RESULTADOS

5.1. Muestreo ambiental

5.1.1. Concentración de BTEXs en los puntos de muestreo

Las concentraciones de benceno en los puntos de muestreo se representan en el Gráfico 2. Para cada punto de muestreo se representa los resultados obtenidos en el laboratorio de Quito (UIO) y en el laboratorio de Passam en Suiza (PAS).

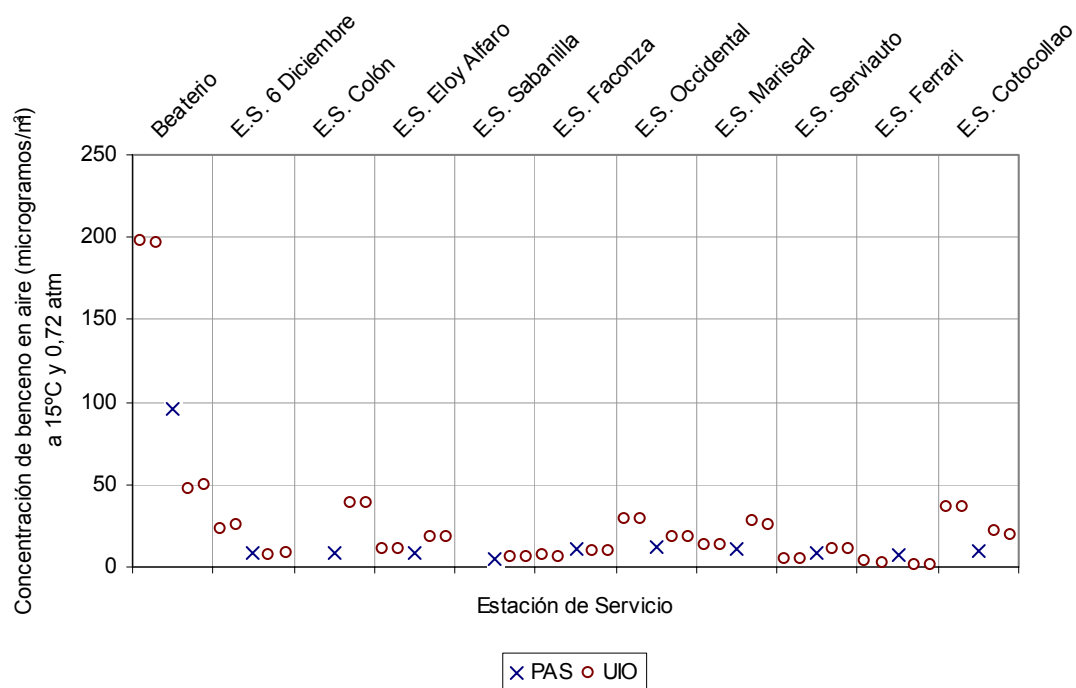


Gráfico 2. Concentración de benceno en las estaciones de servicio. Elaboración propia.

Las concentraciones de etilbenceno en los puntos de muestreo se representan en el Gráfico 3. Para cada punto de muestreo se representa los resultados obtenidos por el laboratorio de Passam en Suiza (PAS). No se pudo analizar etilbenceno en el laboratorio de Quito porque no fue posible conseguir un estándar de calibración adecuado durante el tiempo disponible para el proyecto.

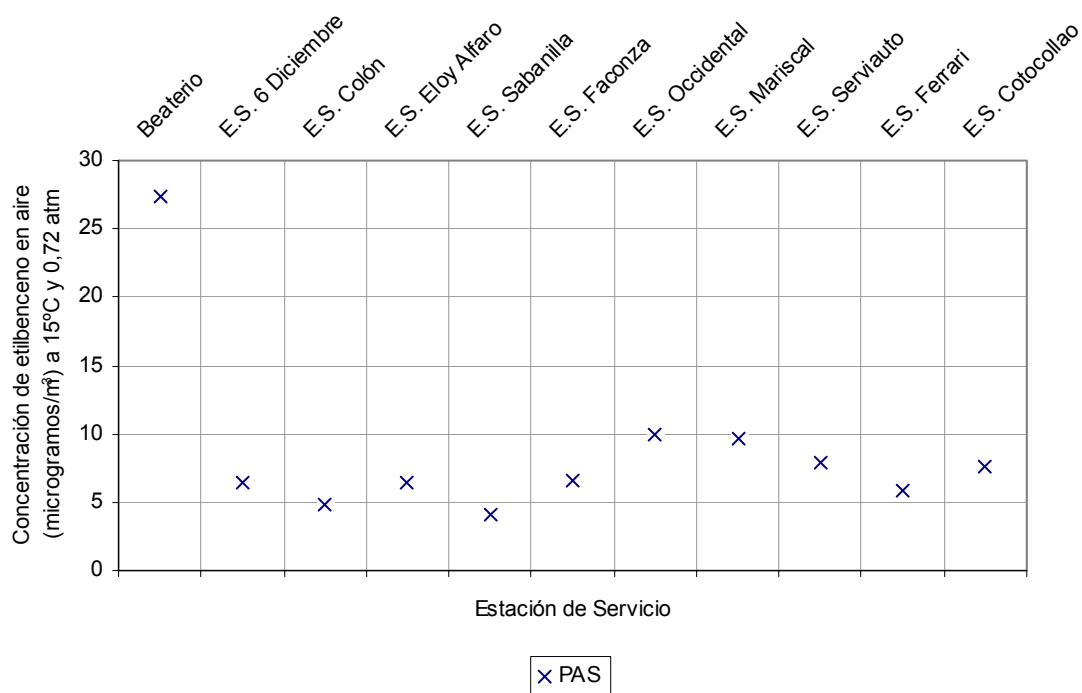


Gráfico 3. Concentraciones de etilbenceno por estación de servicio. Elaboración propia.

Las concentraciones de tolueno en los puntos de muestreo se representan en el Gráfico 4. Para cada punto de muestreo se representa los resultados obtenidos en el laboratorio de Quito (UIO) y en el laboratorio de Passam en Suiza (PAS).

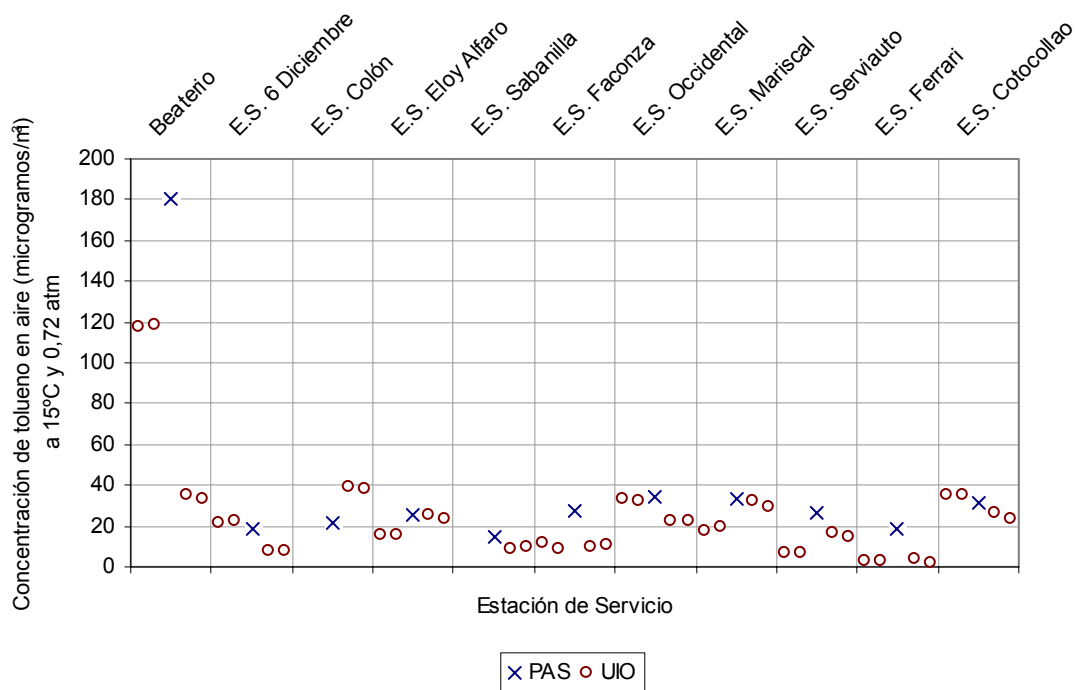


Gráfico 4. Concentraciones de tolueno por estación de servicio. Elaboración propia.

Las concentraciones de xilenos en los puntos de muestreo se representan en el Gráfico 5. Para cada punto de muestreo se representa los resultados obtenidos en el laboratorio de Quito (UIO) y en el laboratorio de Passam en Suiza (PAS).

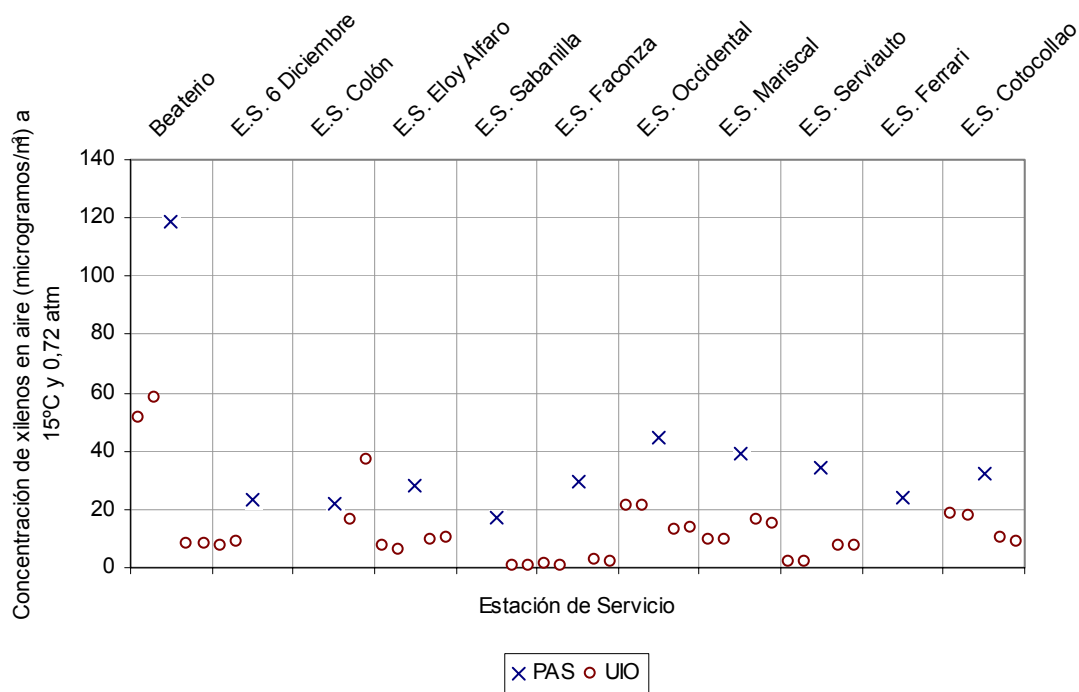


Gráfico 5. Concentraciones de xilenos por estación de servicio. Elaboración propia.

5.1.2. Análisis de varianza

5.1.2.1. Comparación entre laboratorios

La variable más importante para la evaluación de la exposición a BTEX es la *concentración ambiental promedio* en el lugar de muestreo. Como se puede observar en el Gráfico 2, Gráfico 4 y Gráfico 5, se dispone de tres análisis de benceno, tolueno y xilenos en cada punto de muestreo. De estos valores, dos se han realizado en el laboratorio de Quito y uno en el laboratorio de Passam en Suiza. Para determinar los promedios obtenidos en cada uno de los laboratorios son comparables desde el punto de vista estadístico, se ha realizado un Análisis de Varianza (ANOVA) (Pagano, 2001). Los resultados detallados el análisis de varianza se incluyen en el Anexo 8.1. Los principales resultados obtenidos en el análisis ANOVA son los siguientes:

(1) Considerando el factor LABORATORIO, se puede afirmar que no existe diferencias significativas entre las medias de la concentración en aire de benceno y tolueno

obtenidas en los laboratorios de Quito y Suiza con un nivel de confianza del 95%. En el caso de los xilenos, sí existe diferencias significativas (Ver Anexo 8.1)

(2) Considerando el TIPO DE ESTACIÓN, existe diferencias significativas entre las medias de concentración en aire de benceno y tolueno obtenidas en estaciones de servicio industriales y comerciales con un nivel de confianza del 95%, mientras que no existe diferencias significativas en el caso de los xilenos (Ver Anexo 8.2).

(3) Considerando las diferencia entre las ESTACIONES COMERCIALES, se puede afirmar que existe diferencias significativas dentro de este grupo con un nivel de confianza del 95% (Ver Anexo 8.3).

El análisis de varianza nos indica que las concentraciones de xilenos determinadas en Quito no son suficientemente confiables para incorporarlas en el proceso de evaluación del riesgo cancerígeno y no cancerígeno. Por tanto, para la caracterización del riesgo se ha utilizado los promedios de las concentraciones de benceno y tolueno obtenidas en los laboratorios de Quito y Suiza, mientras que para caracterizar el riesgo asociado a la exposición a etilbenceno y xilenos se ha utilizado únicamente los valores obtenidos en el laboratorio de Suiza.

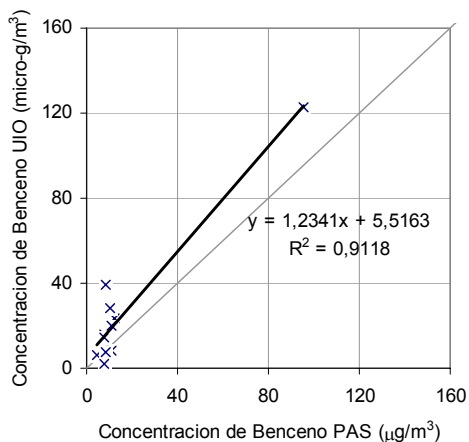
La correlación lineal existente entre los datos obtenidos en los laboratorios de Quito y Suiza se muestra en el Gráfico 6, Gráfico 7, y Gráfico 8.

En el caso del benceno, considerando las estaciones industriales y comárcales, el coeficiente de correlación lineal es $R^2 = 0.91$, para tolueno es $R^2 = 0.77$ y para xilenos $R^2 = 0.45$. Por otra parte, la pendiente de las rectas fue de $p=1,23$ para benceno, $p=0.37$ para tolueno y $p=0.45$ para xilenos.

Considerando únicamente las estaciones comerciales en la correlación, se obtiene $R^2 = 0.17$ y $p=2.16$ para benceno; $R^2=0.77$ y $p=0.37$ para tolueno; y $R^2=0.048$ y $p=2.12$ para xilenos.

Estos resultados sugieren que los valores de concentración de benceno obtenidos en Quito y Suiza son bastante parecidos, mientras que existen mayores diferencias para los resultados de tolueno y xilenos. Esta afirmación es coherente con los resultados obtenidos en el análisis ANOVA descrito anteriormente. Además, las pendientes de las rectas de correlación nos indican que el Laboratorio de Quito ha infravalorado las concentraciones de tolueno y xilenos frente al Laboratorio de Suiza, al tiempo que ha sobreestimado las concentraciones de benceno.

ESTACIONES COMERCIALES E INDUSTRIALES



ESTACIONES COMERCIALES

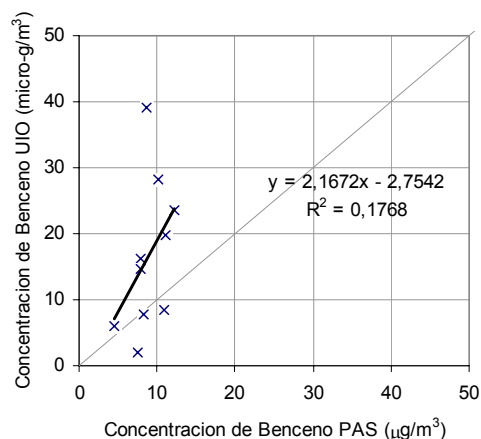
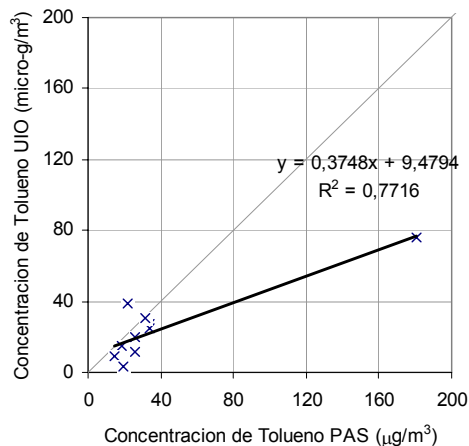


Gráfico 6. Correlación lineal entre las concentraciones de benceno determinadas en el laboratorio de Quito (UIO) y el laboratorio de Suiza (PAS). Elaboración propia.

ESTACIONES COMERCIALES E INDUSTRIALES



ESTACIONES COMERCIALES

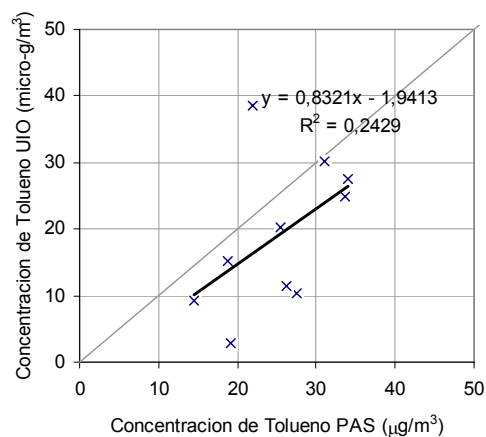


Gráfico 7. Correlación lineal entre las concentraciones de tolueno determinadas en el laboratorio de Quito (UIO) y el laboratorio de Suiza (PAS). Elaboración propia

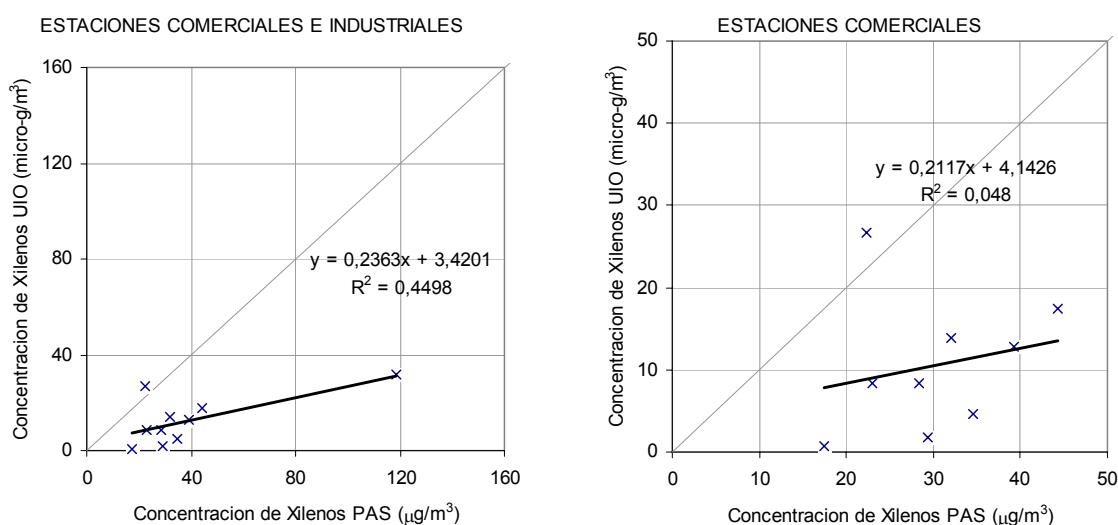


Gráfico 8. Correlación lineal entre las concentraciones de xilenos determinadas en el laboratorio de Quito (UIO) y el laboratorio de Suiza (PAS). Elaboración propia

5.1.2.2. Comparación entre estaciones de servicio comerciales e industriales

Mediante un análisis de la varianza ANOVA se ha determinado que existen diferencias significativas entre las concentraciones de benceno y tolueno medidas en la estación de servicio industrial y las estaciones de servicio comerciales (con un nivel de confianza del 95%). Sin embargo, no se ha detectado diferencias significativas entre las concentraciones de xilenos. Los resultados de este análisis se incluyen en el Anexo 8.2.

5.1.2.3. Comparación entre estaciones de servicio comerciales

Mediante un análisis de la varianza ANOVA se ha determinado que existen diferencias significativas entre las concentraciones de BTEX de las estaciones comerciales con un nivel de confianza del 95%.

5.1.3. Concentración promedio de BTEXs en los lugares de muestreo.

En la Tabla 11 se muestran las concentraciones promedio de benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos registradas en los diferentes lugares de muestreo. Estas concentraciones han sido utilizadas para la caracterización del riesgo cancerígeno y no cancerígeno que se resume en la Tabla 14.

La concentración máxima (a 15°C y 0.72 atm) se registró en la estación de servicio industrial (El Beaterio) con 117.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de benceno (49 ppb_v), 97.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de tolueno (35 ppb_v), 27.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de etilbenceno (8 ppb_v), 25.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de p-xileno (8 ppb_v), 67.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de m-xileno (21 ppb_v) y 24.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de o-xileno (8 ppb_v). El total de xilenos fue de 118.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (37 ppb_v).

La concentración promedio en las estaciones de servicio comerciales fue de 13.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de benceno (6 ppb_v), 23.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de tolueno (8 ppb_v), 7.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de etilbenceno (2 ppb_v), 8.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de p-xileno (3 ppb_v), 17.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de m-xileno (5 ppb_v) y 6.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de o-xileno (2 ppb_v). La concentración total de xilenos fue de 32.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (10 ppb_v).

Tabla 11. Concentraciones promedio de BTEXs utilizadas en la caracterización del riesgo para la salud. Elaboración propia.

Concentraciones de BTEX en los lugares de muestreo												
Cod	Sitio	Inicio	Fin	Tiempo	Tiempo	Benceno promedio (PAS+UIO)	Tolueno promedio (PAS+UIO)	Etilbenceno (PAS)	p-xileno (PAS)	m-xileno (PAS)	o-xileno (PAS)	Xilenos (PAS)
		fecha / hora	fecha / hora	horas	días	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
1	1	15-11-05 8:15	29-11-05 9:35	337,3	14,1	117,2	97,0	27,3	25,7	67,8	24,9	118,4
2	2	30-11-05 6:35	18-12-05 10:00	435,4	18,1	14,5	15,9	6,5	6,8	11,8	4,4	23,0
3	3	30-11-05 8:37	18-12-05 10:23	433,8	18,1	29,0	33,0	4,8	5,5	12,4	4,4	22,2
4	4	30-11-05 9:00	18-12-05 11:21	434,3	18,1	13,3	21,3	6,5	6,7	15,8	5,8	28,4
5	5	30-11-05 9:25	18-12-05 11:37	434,2	18,1	5,5	11,0	4,0	4,7	9,4	3,3	17,4
6	6	1-12-05 7:30	18-12-05 11:05	411,6	17,1	8,9	13,8	6,6	6,8	16,4	6,1	29,4
7	7	1-12-05 8:20	18-12-05 12:45	412,4	17,2	21,3	28,8	10,0	10,4	24,3	9,6	44,3
8	8	1-12-05 9:47	18-12-05 14:28	412,7	17,2	18,0	26,7	9,6	10,2	21,1	8,0	39,3
9	9	1-12-05 10:20	18-12-05 14:52	412,5	17,2	7,9	14,3	7,9	8,4	18,7	7,4	34,5
10	10	3-12-05 10:50	18-12-05 11:59	361,1	15,0	3,2	6,1	5,9	6,6	12,7	4,7	23,9
11	11	3-12-05 11:20	18-12-05 12:19	361,0	15,0	24,6	30,4	7,5	7,6	17,9	6,5	32,0
12	12	3-12-05 12:10	18-12-05 9:45	357,6	14,9	10,6	23,4	6,3	6,5	13,5	5,0	25,0
13	13	3-12-05 14:45	18-12-05 15:20	360,6	15,0	8,7	26,0	7,4	7,8	18,3	6,8	32,8
14	14	3-12-05 15:15	18-12-05 15:30	360,3	15,0	12,7	52,9	15,9	15,8	39,4	15,7	70,9
15	15	3-12-05 16:00	18-12-05 16:00	360,0	15,0	10,2	28,1	10,2	9,6	16,8	6,4	32,7
Promedio Estaciones Industriales				337,3	14,1	117,2	97,0	27,3	25,7	67,8	24,9	118,4
Promedio Estaciones Comerciales				396,3	16,5	13,4	23,7	7,8	8,1	17,7	6,7	32,6
% cada BTEX Estaciones Industriales				-	-	33%	27%	8%	7%	19%	7%	33%
% cada BTEX Estaciones Comerciales				-	-	17%	31%	10%	10%	23%	9%	42%

5.2. Evaluación de la exposición

5.2.1. Caracterización del escenario de exposición

5.2.1.1. Clima

El clima del Distrito Metropolitano de Quito es muy variado, pues va de acuerdo al relieve irregular que posee la región. A pesar de la diversidad de climas puede establecerse una temperatura media que oscila entre 13 y 16 °C (ver Tabla 12, Gráfico 9 y Gráfico 12). (Gobierno de Pichincha, 2002).

La precipitación promedio es de 102 mm (ver Gráfico 12). La humedad relativa promedio es de 70.1%, mientras que la heliofanía promedio es de 167 horas de sol al mes (ver Gráfico 11) . La velocidad del viento promedio es de 7,4 m/s y la dirección dominante NE (ver Gráfico 10) (Gobierno de Pichincha, 2002).

Tabla 12. Clima del Distrito Metropolitano de Quito. Fuente: Gobierno de Pichincha, 2002.

MES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
TEMPERATURA													
Máxima diaria promedio mensual (°C)	23.6	24.2	24.3	23.8	23.5	24.6	23.7	24.4	24.6	24.6	24.4	23.5	24.12
Diaria promedio (°C)	14.5	14.7	14.7	14.8	14.9	14.6	15.0	15.3	15.1	14.7	14.4	14.5	14.78
Mínima diaria promedio mensual (°C)	8.4	7.0	7.9	8.2	6.3	7.3	6.9	6.8	6.7	5.7	6.8	6.9	7.08
PRECIPITACIONES													
Precipitaciones mm	104.5	121.0	154.7	165.7	131.9	66.7	25.6	36.7	79.3	117.0	121.7	94.3	101.59
HUMEDAD RELATIVA													
Máxima diaria promedio mensual (%)	80	80	78	79	81	78	66	64	72	73	78	80	75.75
Diaria Promedio (%)	74	73	75	76	74	71	60	58	64	71	74	72	70.17
Mínima diaria promedio mensual (%)	65	68	73	72	68	68	51	53	59	69	67	68	65.08
VIENTOS: INTENSIDAD Y DIRECCIÓN PREDOMINANTE													
Velocidad máxima (m/s)	6	6	5	7	6	6	10	10	18	8	8	20	9.17
Velocidad mínima (m/s)	6	4	5	6	4	4	6	6	9	6	5	6	5.58
Dirección promedio	N	NE	N	N	NE	S	S	NE	S	NE	NE	NE	NE
NUBOSIDAD													
Octavo de cielo cubierto	6	6	6	6	6	5	4	5	5	5	6	6	5.50
HELIOFANÍA													
Horas de sol al mes	153.7	133.2	114.1	137.1	148.3	155.3	208.9	213.7	171.9	167.3	167.4	193.1	163.67

5.2.1.2. Geología

Rocas volcano-sedimentarias marinas de composición andesita-basáltica con intercalaciones de metasedimentos de edad cretácica caracterizan la zona. También se encuentran zonas recubiertas de rocas volcano-clásticas, conglomerados, lutitas, toboas y rocas sedimentarias marinas, tipo fliish-caliza. El Este de la ciudad se caracteriza por rocas volcánicas continentales del pleistoceno-holoceno de composición andesita-liparítico (Gobierno de Pichincha, 2002).

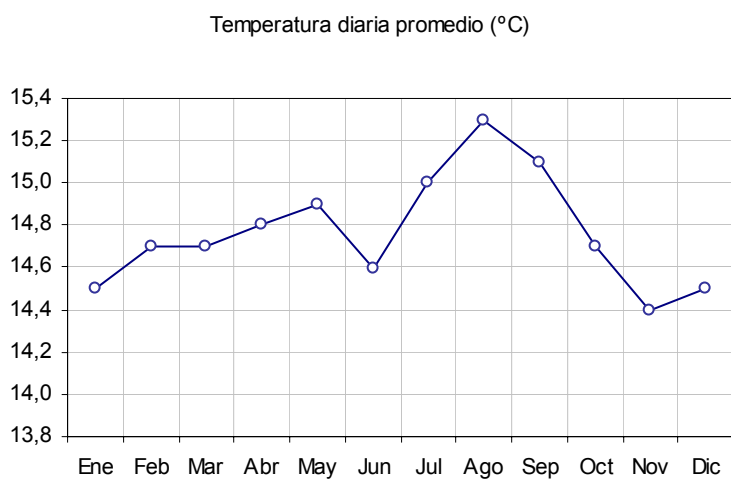


Gráfico 9. Temperatura promedio mensual en el Distrito Metropolitano de Quito.
Fuente: Gobierno de Pichincha, 2002.

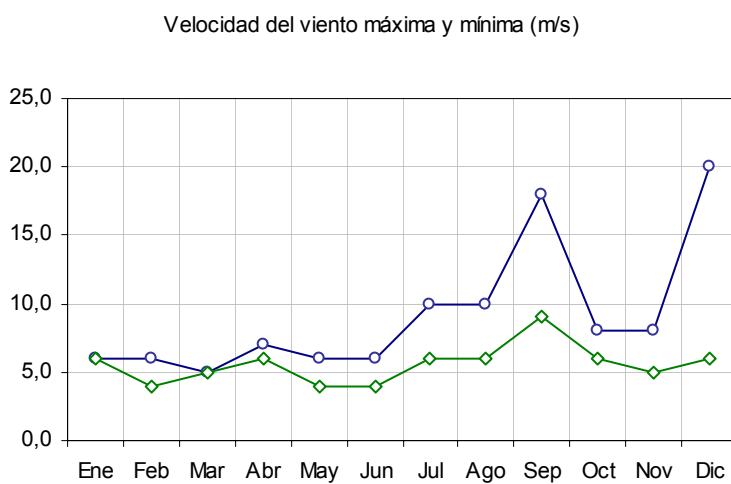


Gráfico 10. Velocidad del viento promedio en el Distrito Metropolitano de Quito.
Fuente: Gobierno de Pichincha, 2002.

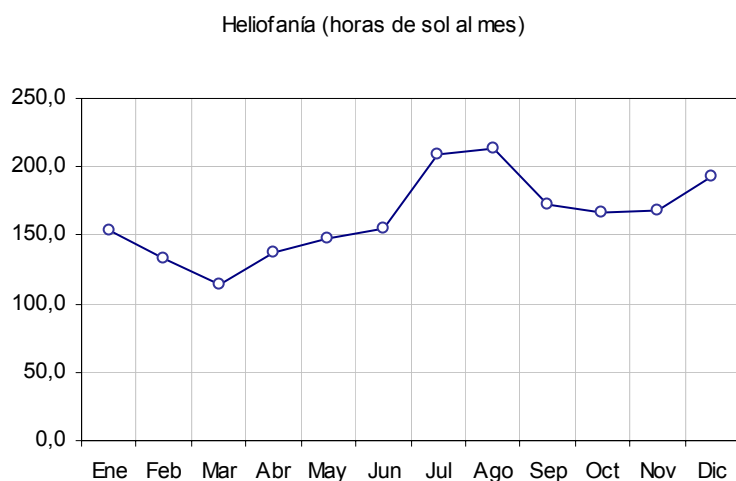


Gráfico 11. Heliofanía (horas de sol al mes) en el Distrito Metropolitano de Quito.

Fuente: Gobierno de Pichincha, 2002.

5.2.1.3. Hidrología

Al Este de la ciudad de Quito, se localiza la microcuenca del río Cinto, siendo sus cauces principales los ríos Mindo, Cinto y Saloya, con patrones de drenaje radial y angular, y desembocadura en la subcuenca del río Blanco (Gobierno de Pichincha, 2002).

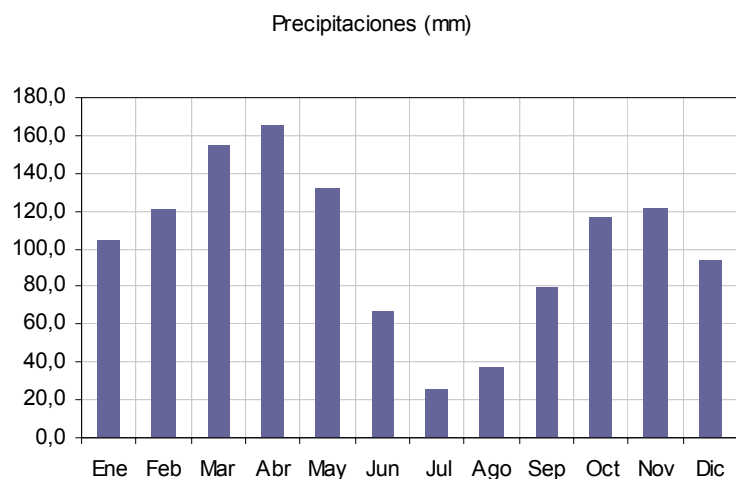


Gráfico 12. Precipitaciones promedio mensuales en el Distrito metropolitano de Quito.

Fuente: Gobierno de Pichincha, 2002.

5.2.1.4. Geomorfología

Su relieve es heterogéneo, se encuentran pendientes desde 3% hasta mayores de 30%. El gravén interandino, en la parte central de la sierra, incluye la cubeta de Quito; el relieve en general es plano, con una pendiente promedio del 3% (Gobierno de Pichincha, 2002).

5.2.1.5. Suelos

Se encuentra los siguientes tipos de suelo dentro del Distrito Metropolitano de Quito (Gobierno de Pichincha, 2002).:

- (1) Suelos negros, limosos limo- arenosos, derivados de materiales piroclásticos, con menos de 3% de arcilla, con presencia de arena muy fina.
- (2) Suelos alofánicos derivados de materiales piroclásticos, de textura pseudo limosas con gran capacidad de retención de agua, saturación de bases < 50%, generalmente de color negro, profundos.
- (3) Suelos arenosos derivados, de materiales piroclásticos poco materializados, sin evidencia de limo, baja retención de humedad
- (4) Suelos franco a franco- arenosos profundos.

5.2.2. Rutas y vías probables de exposición

La población potencialmente expuesta a las emisiones evaporativas de las estaciones de servicio es:

- (1) Población residencial que vive en las zonas próximas a las estaciones de servicio.
- (2) Población comercial/industrial que trabaja en las proximidades de las estaciones de servicio.

Las rutas y vías probables de exposición los distintos tipos de población expuesta se resumen en la Tabla 13.

Tabla 13. Rutas y vías probables de exposición a BTEXs para distintos tipos de población potencialmente expuesta. Adaptado de U.S. EPA, 1989.

Ruta de exposición	Vía de Exposición	Población residencial	Población comercial / industrial
AGUA SUBTERRÁNEA	Ingestión	NP	NP
AGUA SUBTERRÁNEA	Cutánea	NP	NP
AGUA SUPERFICIAL	Ingestión	NP	NP
AGUA SUPERFICIAL	Cutánea	NP	NP
SUELO / POLVO	Ingestión accidental	NP	NP
SUELO / POLVO	Cutánea	NP	NP
AIRE	Inhalación de vapores dentro de edificios	V	T
AIRE	Inhalación de vapores fuera de edificios	V	T
AIRE	Inhalación de partículas dentro de edificios	NP	NP
AIRE	Inhalación de partículas fuera de edificios	NP	NP
.COMIDA	Ingestión de pescado	NP	NP
COMIDA	Ingestión de carne	NP	NP
.COMIDA	Ingestión de huevos	NP	NP
COMIDA	Ingestión de verduras	NP	NP

V = exposición durante toda la vida

T = exposición de adultos durante el periodo de vida laboral

NP = no es probable que ocurra.

5.3. Caracterización del riesgo

5.3.1. Efectos cancerígenos

El benceno es un contaminante que provoca riesgos cancerígenos cuando la exposición crónica supera un determinado nivel. En este estudio se ha calculado el incremento del riesgo individual de padecer cáncer como consecuencia de la exposición de un trabajador de las gasolineras durante su periodo de vida. Los resultados del incremento del riesgo individual se muestran en la Tabla 14.

El riesgo individual máximo admisible es de 10^{-6} según la U. S. EPA, es decir, de uno en un millón (U. S. EPA, 1989; Moreno Grau, 2003; Peña. 2001). Para apreciar mejor el incremento del riesgo individual de padecer cáncer se ha calculado el cociente entre el incremento del riesgo individual y el riesgo máximo admisible. Los valores de este cociente se muestran en la Tabla 14, y se representan gráficamente en el Gráfico 13.

Tabla 14. Valor de riesgo cancerígeno y no cancerígeno asociado a la exposición a BTEX. Elaboración propia.

Sitio	Riesgo cancerígeno				Riesgo no cancerígeno cancerígeno				
	Benceno [Probabilidad individual]		Benceno (aumento del riesgo admisible 10^{-6})		Benceno	Tolueno	Etilbenceno	Xilenos	Total
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	CP	CP	CP	CP	CP
Beaterio	2,56E-05	8,85E-05	26	88	3,83E-01	1,90E-03	2,68E-03	1,16E-01	5,04E-01
E.S. 6 Diciembre	3,16E-06	1,09E-05	3	11	4,74E-02	3,12E-04	6,37E-04	2,26E-02	7,10E-02
E.S. Colón	6,32E-06	2,19E-05	6	22	9,49E-02	6,48E-04	4,69E-04	2,18E-02	1,18E-01
E.S. Eloy Alfaro	2,91E-06	1,01E-05	3	10	4,37E-02	4,17E-04	6,37E-04	2,78E-02	7,25E-02
E.S. Sabanilla	1,19E-06	4,14E-06	1	4	1,79E-02	2,16E-04	3,96E-04	1,71E-02	3,56E-02
E.S. Faconza	1,93E-06	6,69E-06	2	7	2,90E-02	2,71E-04	6,45E-04	2,88E-02	5,87E-02
E.S. Occidental	4,63E-06	1,60E-05	5	16	6,95E-02	5,66E-04	9,82E-04	4,34E-02	1,15E-01
E.S. Mariscal	3,92E-06	1,36E-05	4	14	5,88E-02	5,23E-04	9,45E-04	3,85E-02	9,88E-02
E.S. Serviauto	1,72E-06	5,97E-06	2	6	2,59E-02	2,81E-04	7,76E-04	3,39E-02	6,08E-02
E.S. Ferrari	6,87E-07	2,38E-06	1	2	1,03E-02	1,21E-04	5,79E-04	2,34E-02	3,44E-02
E.S. Cotocollao	5,36E-06	1,86E-05	5	19	8,04E-02	5,96E-04	7,40E-04	3,14E-02	1,13E-01
E.S. Batán 2	2,31E-06	8,00E-06	2	8	3,47E-02	4,59E-04	6,23E-04	2,45E-02	6,03E-02
E.S. Panamericana km 7	1,89E-06	6,54E-06	2	7	2,83E-02	5,10E-04	7,25E-04	3,22E-02	6,18E-02
E.S. Panamericana km 8	2,77E-06	9,58E-06	3	10	4,15E-02	1,04E-03	1,56E-03	6,96E-02	1,14E-01
E.S. Sol Naciente	2,21E-06	7,66E-06	2	8	3,32E-02	5,52E-04	1,00E-03	3,21E-02	6,69E-02
Promedio estaciones industriales	2,56E-05	8,85E-05	26	88	3,83E-01	1,90E-03	2,68E-03	1,16E-01	5,04E-01
Promedio estaciones comerciales	2,93E-06	1,01E-05	4	15	4,40E-02	4,65E-04	7,65E-04	3,19E-02	7,71E-02

CÁLCULO DEL RIESGO CANCERÍGENO
Cociente entre el incremento del riesgo de padecer cáncer en cada sitio de muestreo y el riesgo máximo admisible (10^{-6})

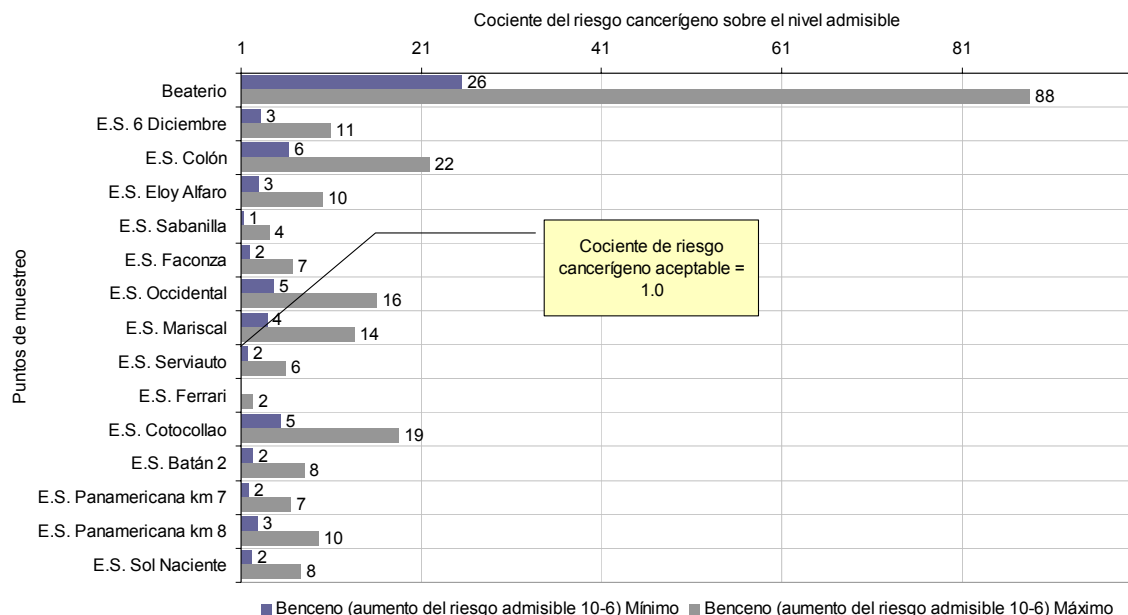


Gráfico 13. Cociente entre el incremento del riesgo de padecer cáncer en cada sitio de muestreo y el riesgo máximo admisible (valores mínimos y máximos). Elaboración propia.

En cuanto al riesgo cancerígeno, se determinó que existe un incremento del riesgo cancerígeno (IRC) de 28-88 individuos por millón mientras que en las estaciones de servicio comerciales se ha registrado un IRC de 4-15 individuos por millón. La U.S. EPA considera que como inadmisibles un incremento del riesgo de padecer cáncer superior a 1 por millón de individuos (10^{-6}).

5.3.2. Efectos no cancerígenos

Los efectos no cancerígenos totales se resumen en la Gráfico 14. Se considera que los índices de peligrosidad total que superan la unidad provocan daños no reversibles en los seres humanos. Se obtuvo un coeficiente de peligrosidad total (CP) de 0.504 en estaciones de servicio industriales y de 0.077 en estaciones de servicio comerciales. El riesgo no cancerígeno es admisible en todas las estaciones de muestreo (inferior a la unidad). En el Gráfico 14 se representa el coeficiente de peligrosidad total para cada estación de servicio.

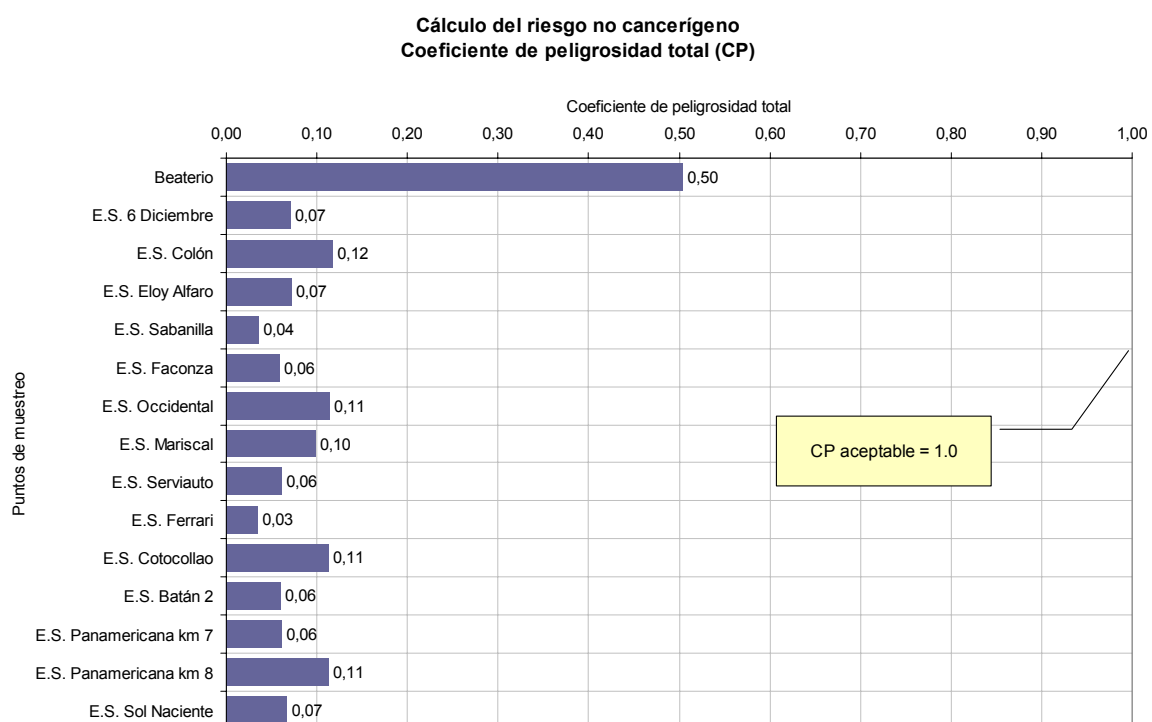


Gráfico 14. Coeficiente de peligrosidad total en cada estación de servicio. Elaboración propia.

Cada uno de los BTEX tiene una contribución diferente al riesgo no cancerígeno. En el Gráfico 15 se muestra la contribución del benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos al índice de peligrosidad total. Puede observarse que la contribución principal es la del benceno y xilenos en todas las estaciones de servicio.

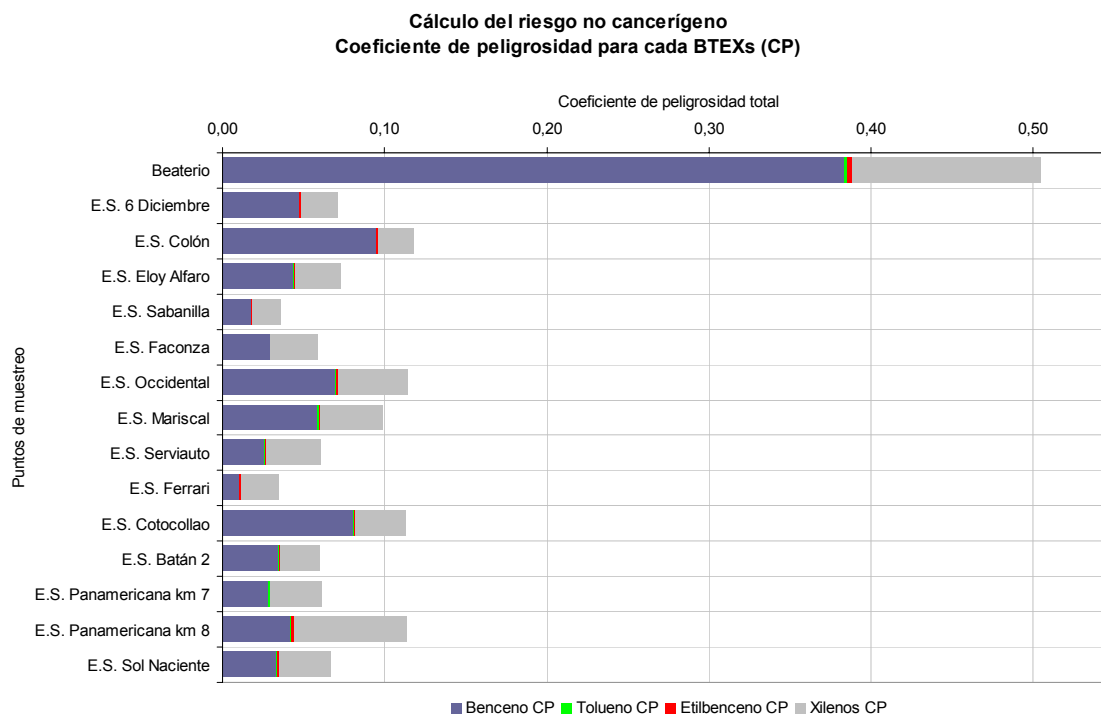


Gráfico 15. Coeficiente de peligrosidad para cada BTEXs. Elaboración propia.

En el Gráfico 16 se muestra la contribución promedio de cada BTEX al riesgo no cancerígeno en las estaciones de servicio industriales. El 76% del coeficiente de peligrosidad total está asociado al benceno, el 23% está asociado a los xilenos, el 0.5 % a etilbenceno y el 0.4 % a tolueno.

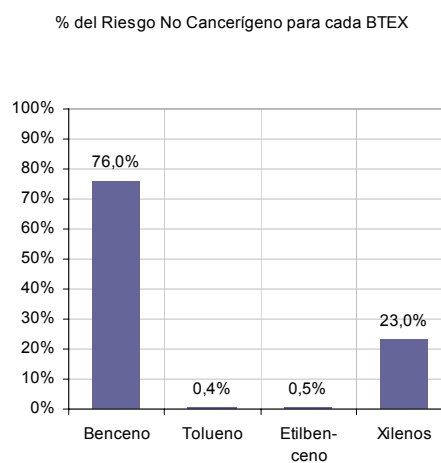
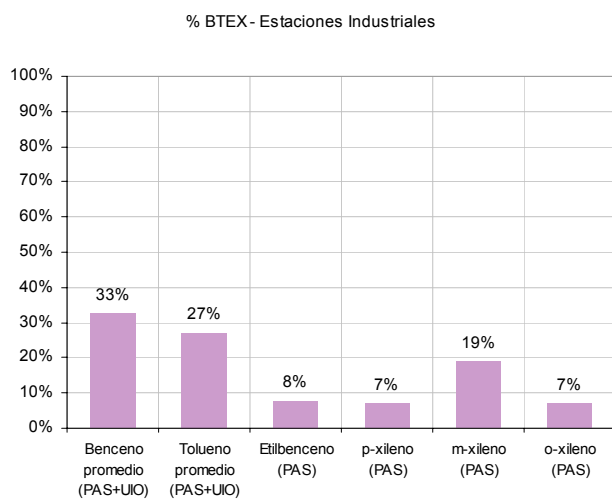


Gráfico 16. Proporción del riesgo no cancerígeno asociada a cada BTEXs (Estaciones de Servicio Industriales). Elaboración propia.

En el Gráfico 17 se muestra la contribución promedio de cada BTEX al riesgo no cancerígeno en las estaciones de servicio comerciales. El 54.3 % del coeficiente de peligrosidad total está asociado al benceno, el 44.0 % está asociado a los xilenos, el 1.1% a etilbenceno y el 0.6 % a tolueno.

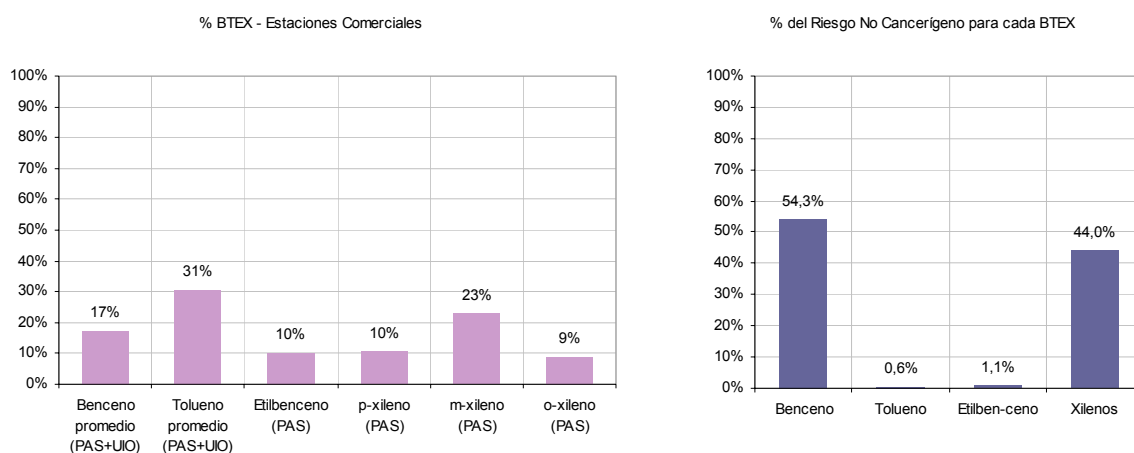


Gráfico 17. Proporción del riesgo no cancerígeno asociada a cada BTEXs (Estaciones de Servicio Comerciales). Elaboración propia.

6. DISCUSIÓN

6.1. Riesgos para la salud

La caracterización del riesgo cancerígeno que se han obtenido mediante la aplicación de la metodología propuesta por la U.S. EPA revela que existen riesgos cancerígenos individuales mayores a los admisibles en todas las estaciones de servicio. El riesgo es de 4 a 15 veces superior al admisible (de 1 entre un millón) en las estaciones comerciales y de 26 a 88 veces superior al admisible en la estación industrial (Ver Tabla 14 y Gráfico 13). En otras palabras, en la estación de servicio industrial, que es el punto de muestreo con mayor concentración de benceno, se podría registrar un incremento máximo de 1 caso de cáncer por cada diez mil trabajadores debido a las concentraciones de benceno.

En cuanto a los riesgos no cancerígenos, se ha obtenido un valor de riesgo inferior al máximo admisible en todas las estaciones de servicio, tanto industriales como comerciales.

Los resultados para el *riesgo cancerígeno* contrastan con los límites permisibles de exposición propuestos por la NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health), OSHA (Occupational Safety & Health Administration) o ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). Por ejemplo, el límite permisible de exposición a benceno de la OSHA es de 1 ppm, mientras que el de la NIOSH es de 0,1 ppm medidos como TWA, es decir, que los promedios durante 8 horas no pueden superar esta concentración. Una concentración de 1 ppm de benceno equivale a 2380 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (a 0.72 atm y 15°C), mientras que una de 0,1 ppm equivale a 238 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Estas concentraciones son muy superiores a las medidas en las estaciones de servicio industriales y comerciales de Quito. Sin embargo, si calculamos el riesgo cancerígeno asociado a una concentración promedio de 1 ppm en el ambiente de trabajo (en las condiciones de este estudio) obtenemos un incremento del riesgo cancerígeno de 519 a 1796 veces el riesgo admisible (de 1 en un millón), es decir, un incremento de 5 a 18 casos de cáncer por cada 10.000 trabajadores. Este resultado, claro está, asume que los trabajadores no están utilizando ningún equipo de protección de protección personal y que respiran directamente el aire contaminado con benceno.

Estos resultados nos sugieren que los límites propuestos por organizaciones como OSHA o NIOSH, que son los que se aceptan a nivel internacional, son demasiado altos para operadores sin protección personal. La postura del Colegio Ramazzini es drástica en este sentido. Ellos han puesto en relieve que existe suficiente evidencia (epidemiológica) para demostrar que niveles de exposición por debajo de 0,1 ppm generan un riesgo de padecer cáncer superior al admisible (Colegio Ramazzini, 2004). El Colegio Ramazzini propone un nivel de exposición máximo de 40 ppb en el ambiente de trabajo (0,04 ppm). Esta concentración es superior a la registrada en las estaciones de servicio comerciales de Quito, con 6 ppb de benceno, y sólo es superada por la estación de servicio industrial donde se ha tomado muestras, El Beaterio, con 49 ppb de benceno. Por lo tanto, la situación de las emisiones evaporativas de compuestos orgánicos volátiles en las estaciones de servicio de Quito es relativamente poco alarmante desde el punto de vista de la salud de los trabajadores.

Un reciente diagnóstico de la Calidad del Aire en Ecuador elaborado por la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2003) revela un alto contenido de benceno en las gasolinas super (>0.6%) y extra (>1.1%) que se producen en las refinerías de Esmeraldas, Amazonas y La Libertad. Dicho informe atribuye el contenido de compuestos aromáticos y benceno a la mezcla de la gasolina con naftas importadas para subir el octanaje. Sin duda, reducir el contenido de compuestos aromáticos en las gasolinas constituye una medida de control del riesgo cancerígeno y no cancerígeno.

Otro aspecto ambiental relacionado con la emisión de compuestos orgánicos volátiles es que son precursores de la generación de ozono. Uno de los principales problemas de contaminación en la ciudad de Quito es la contaminación por ozono. De hecho, en los últimos años se ha registrado violaciones de la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire en cuanto a los límites máximos de exposición a ozono. Por esta razón, es necesario implementar medidas de control de emisiones de COVs que contribuyan al control de la contaminación por ozono. Los problemas de salud ocupacional y de contaminación atmosférica asociados a la emisión de COVs requieren de la formulación de una serie de medidas correctivas y preventivas. Algunas medidas se proponen en el siguiente apartado.

6.2. Recomendaciones

La principal recomendación de este estudio es que debe existir un marco legal sobre emisiones de compuestos orgánicos volátiles en Ecuador. La actual Norma Ecuatoriana

de Calidad del Aire recoge en su Artículo 2.1 que el benceno es un “contaminante peligroso del aire”. Sin embargo, no establece límites de emisión. Esta reglamentación debería considerar las emisiones vehiculares e industriales, al mismo tiempo que debería regular las concentraciones máximas admisibles en el ambiente de trabajo.

Por otra parte, es necesario considerar las limitaciones que se presentan en este estudio para el diseño de trabajos de investigación futuros. La principal limitación es que las concentraciones que se han medido son concentraciones promedio en el lugar de trabajo. En los últimos años se han desarrollado estudios de exposición a agentes tóxicos en el ambiente laboral que amplían el monitoreo a las diferentes situaciones que atraviesa el trabajador a lo largo del día. Por ejemplo, el estudio sobre exposición a benceno llevado a cabo por Cocheo et. al. (Cocheo, 2002) en diferentes ciudades de Europa puede ser un referente de la metodología óptima para llevar a cabo estudios de exposición. En el estudio de Cocheo se seleccionó a un conjunto de voluntarios que portaron sobre sus cuerpos los equipos de muestreo pasivo de benceno durante un periodo de tiempo determinado. Se dividió además a los voluntarios en varios grupos: estudiantes, profesores, policías, conductores de autobús y carteros. Esta técnica permite considerar la exposición real a la que está sometido el trabajador, que puede incluir valores muy bajos o muy altos a lo largo de la jornada laboral, y que no han podido ser monitoreados con los medidores estáticos utilizados en este estudio. Los medidores estáticos miden la concentración promedio a una altura aproximada de 2.5 metros desde el suelo, mientras que el dispositivo portátil registra la concentración promedio en el punto exacto donde se encuentra el trabajador.

Es interesante destacar que la concentración de BTEX en el ambiente urbano exterior e interior puede ser tan alta como la registrada en las estaciones de servicio. En el estudio de Cocheo et. al (Cocheo, 2002) citado anteriormente, se registró una concentración de benceno urbana (exterior) promedio de $7.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (a 15°C y 0.72 atm), una concentración doméstica (interior) promedio de $6.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y una concentración personal (medida directamente sobre individuos) promedio de $9.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos valores son del mismo orden que las concentraciones registradas en las estaciones de servicio comerciales de Quito. Esto nos hace pensar que el origen de la contaminación por BTEX está relacionado también con las emisiones vehiculares, responsables de la existencia de una concentración promedio urbana relativamente elevada. Por lo tanto, las medidas de control de emisiones de COVs, necesarias además para el control de la contaminación por ozono, deberían abordar las emisiones fugitivas como las que se producen en las

estaciones de servicio, las emisiones industriales, las emisiones biogénicas y las emisiones vehiculares.

Como se ha indicado anteriormente, una forma de reducir el riesgo de los trabajadores expuestos a BTEX y de minimizar la contaminación atmosférica es implantar medidas de control ambiental. Existen tres estrategias principales para la reducción de las exposiciones en el lugar de trabajo a compuestos cancerígenos o tóxicos: (1) la eliminación de la sustancia; (2) la reducción de la exposición mediante la disminución de la emisión o la ventilación y (3) la protección personal de los trabajadores (OIT, 2001). La eliminación de un compuesto puede originar problemas cuando se introducen sustancias para sustituirlo, cuya toxicidad debería ser inferior a la de la sustancia sustituida. Por ejemplo, para sustituir el plomo tetra etilo de la gasolina fue necesario enriquecerla con compuestos aromáticos, entre los que podemos encontrar algunos compuestos cancerígenos como el benceno.

La reducción de la exposición en su origen es una medida que podría adoptarse en las estaciones de servicio mediante la instalación de equipos para el control y recuperación de vapores de gasolina. Sin embargo, cuando no es posible controlar la exposición ni eliminando ni reduciendo las emisiones, la única solución que queda es utilizar instrumentos de protección personal (OIT, 2001), desde mascarillas con filtro a trajes con suministro de aire. La protección personal debe considerarse como último recurso, y sólo se utilizará cuando fracasen las otras dos medidas de control.

En consecuencia, desde el punto de vista de la salud laboral, es necesario que los trabajadores de las estaciones de servicio industriales utilicen una máscara provista de filtros para retener vapores de compuestos orgánicos volátiles. A pesar de que el uso de mascarilla es ya un requisito en este tipo de instalaciones, sería recomendable asegurar que los trabajadores la usen adecuadamente y de forma cotidiana. Es común que laboren operarios de empresas contratistas de transporte de combustibles en las estaciones de servicio industriales. Dado que existe un menor control sobre los procedimientos de seguridad de este personal, es necesario fortalecer el uso de equipos de protección personal por parte de los contratistas. Esto puede lograrse mediante un programa de capacitación adecuado y a través de vigilancia continua.

Para diseñar medidas exitosas de prevención y control de emisiones de BTEX deberían llevar a cabo análisis de costo-beneficio. Estos estudios permitirían medir formalmente los costos de la reducción de la contaminación por BTEX frente a los beneficios obtenidos (OMS, 2004). Se trata de reducir las emisiones contaminantes hasta que los

costos y los beneficios se igualen. En este sentido, algunos costos y beneficios son fáciles de medir porque están asociados a soluciones técnicas (por ejemplo, costos asociados a la implementación de equipos para controlar las pérdidas por evaporación de combustibles y beneficios por la disminución del uso de servicios médicos y hospitalarios), mientras que otras medidas no técnicas son más difíciles de medir.

7. REFERENCIAS

- COLEGIO RAMAZZINI, 2004. *Call for a Reduction of Exposure to Benzene to the Lowest Possible Level. Eighth Collegium Ramazzini Statement.* <http://www.collegiumramazzini.org>
- CORPAIRE. 2005: 1. *Informe Anual 2005. La Calidad del Aire en Quito.* Corporación para el Mejoramiento del Aire en Quito. Enero 2005.
- CORPAIRE. 2005: 2. *Información en formato digital sobre la localización de las gasolineras de Quito (Archivo de ArcView).* Información interna de la CORPAIRE. Mayo 2005.
- DÍAZ BARRIGA. 1999. *Metodología de Identificación y Evaluación de Riesgos para la Salud en Sitios Contaminados.* Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. División de Salud y Ambiente. Organización Panamericana de la Salud. Oficina Sanitaria Panamericana - Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud.
- DUFFUS, J. D. 1983. *Toxicología Ambiental.* Ediciones Omega, S.A. Barcelona. España.
- GOBIERNO DE PICHINCHA, 2002. *Plan General de Desarrollo Provincial de Pichincha.* Gobierno de la Provincia de Pichincha.
- MORENO GRAY, M. D. 2003. *Toxicología ambiental. Evaluación del Riesgo para la Salud Humana.* Mc. Graw Hill. / Interamericana de España S.A.U.
- NIOSH, 2003. *Manual of Analytical Methods (NMAM). Fourth Edition.* Hydrocarbons, Aromatic: METHOD 1501, Issue 3. Dated 15 March 2003.
- OIT, 2001. *Enciclopedia de la Salud y Seguridad en el Trabajo de la Organización Internacional del Trabajo.* Edición española editada por el Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. <http://www.mtas.es/insht/EncOIT/Index.htm>
- OMS, 2004. *Guías para la Calidad del Aire.* Organización Mundial de la Salud. Departamento de Protección del Medio Humano. Programa de Salud Ocupacional y Ambiental. OPS/CEPIS/PUB/04.110.
- OPS, 2003. *Diagnóstico preliminar. Gestión de Calidad del Aire. Ecuador.* Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud y Ministerio del Ambiente del Ecuador. Junio 2003.

- PAGANO, M. 2001. *Principios de Bioestadística*. Thomson Learning. 2ª Edición en español.
- PEÑA, CARLOS E., DEAN E. CARTER AND FELIX AYALA-FIERRO. 2001. *Toxicología Ambiental: Evaluación de Riesgos y Restauración Ambiental*. Distribuido por internet a través del Southwest Hazardous Waste Program. <http://superfund.pharmacy.arizona.edu/toxamb/>.
- RADIAN INTERNATIONAL. 1996. *Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México*. Volumen IV. Desarrollo del Inventario de Fuentes Puntuales. Radian Internacional. 15 de agosto de 1996.
- U.S. EPA. 1989. *Risk Assessment Guidance for Superfund. Volume I. Human Health Evaluation Manual (Part A). Interim Final*. Office of Emergency and Remedial Response. U.S. Environmental Protection Agency. EPA/540/1 -89/002 December 1989. Washington, DC 20450
- U.S. EPA. 1992. *Guidelines for Exposure Assessment*. Office of Health and Environment Assesment, Office of Research and Development. Washington, D.C. EPA/600/Z-91/001. Mayo de 1992.
- U.S. EPA. 1997. *Introduction to the Emission Inventory Improvement Program*. United States Environmental Protection Agency. Julio 1997.
- U.S. EPA. 1998. *Methodology for assessing health risks associated with multiple pathways of exposure to combustor emissions*. United States Environmental Protection Agency. Diciembre 1998.
- U.S. EPA. 2005. *Sources of Indoor Air Pollution - Organic Gases (Volatile Organic Compounds - VOCs)*. United States Environmental Protection Agency. <http://www.epa.gov/iaq/voc.html>
- U.S. EPA. 2006. *Integrated Risk Information System*. IRIS Web Site. United States Environmental Protection Agency. <http://cfpub.epa.gov/iris>. Página web consultada el 17 de febrero de 2006.
- WHO, 2000. *Air Quality Guidelines for Europe. Second Edition*. World Health Organization. Regional Office for Europe. WHO Regional Publications, European Series, No. 91. Copenhagen.

8. ANEXOS

8.1. Análisis de varianza de las concentraciones de BTEX obtenidas en el laboratorio de Quito (UIO) y en Suiza (PAS).

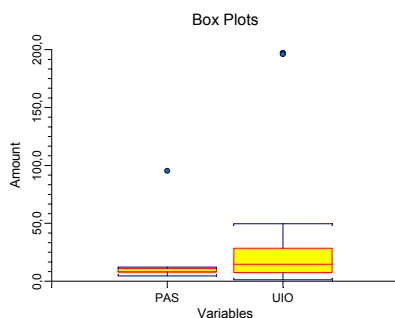
Analysis of Variance Report

Page 1
 Database C:\NCSS60\BTX06.S0
 Time/Date 01:39:23 05-14-2006
 Response C BENCENO

Tests of Assumptions Section

Assumption	Test Value	Prob Level	Decision (0,05)
Skewness Normality of Residuals	6,4466	0,000000	Reject
Kurtosis Normality of Residuals	4,9917	0,000001	Reject
Omnibus Normality of Residuals	66,4759	0,000000	Reject
Modified-Levene Equal-Variance Test	0,6282	0,431839	Accept

Box Plot Section



Expected Mean Squares Section

Source	DF	Term Fixed?	Denominator Term	Expected Mean Square
A (LABORATORIO)	1	Yes	S(A)	S+sA
S(A)	49	No		S(A)

Note: Expected Mean Squares are for the balanced cell-frequency case.

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=(0,05))
A (LABORATORIO)	1	830,5031	830,5031	0,55	0,462425	0,112267
S(A)	49	74179,02	1513,858			
Total (Adjusted)	50	75009,52				
Total	51					

* Term significant at alpha = 0,05

Analysis of Variance Report

Page 2
 Database C:\NCSS60\BTX06.S0
 Time/Date 01:39:23 05-14-2006
 Response C BENCENO

Kruskal-Wallis One-Way ANOVA on Ranks

Hypotheses

Ho: All medians are equal.

Ha: At least two medians are different.

Test Results

Method	DF	Chi-Square (H)	Prob Level	Decision(0,05)
Not Corrected for Ties	1	1,644755	0,199674	Accept Ho
Corrected for Ties	1	1,645053	0,199634	Accept Ho
Number Sets of Ties	4			
Multiplicity Factor	24			

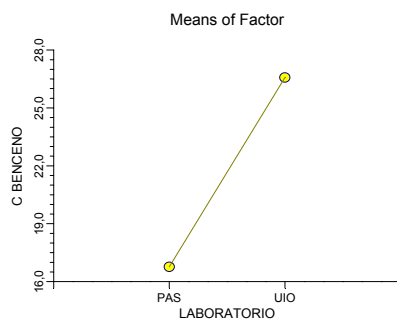
Group Detail

Group	Count	Sum of Ranks	Mean Rank	Z-Value	Median
PAS	11	230,00	20,91	-1,2825	8,7
UIO	40	1096,00	27,40	1,2825	15,25

Means and Effects Section

Term	Count	Mean	Standard Error	Effect
All	51	24,45882		0,8497772
A: LABORATORIO				
PAS	11	16,76364	11,7313	15,91386
UIO	40	26,575	6,151946	25,72522

Plots of Means Section



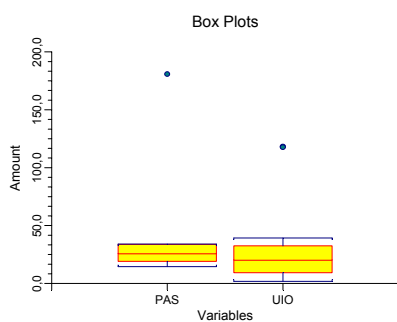
Analysis of Variance Report

Page 1
 Database C:\NCSS60\BTX06.S0
 Time/Date 01:39:23 05-14-2006
 Response C TOLUENO

Tests of Assumptions Section

Assumption	Test Value	Prob Level	Decision (0,05)
Skewness Normality of Residuals	6,0770	0,000000	Reject
Kurtosis Normality of Residuals	4,7308	0,000002	Reject
Omnibus Normality of Residuals	59,3101	0,000000	Reject
Modified-Levene Equal-Variance Test	0,2559	0,615232	Accept

Box Plot Section



Expected Mean Squares Section

Source	Term	DF	Term Fixed?	Denominator Term	Expected Mean Square
A (LABORATORIO)		1	Yes	S(A)	S+sA
S(A)		49	No		S(A)

Note: Expected Mean Squares are for the balanced cell-frequency case.

Analysis of Variance Table

Source	Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=(0,05))
A (LABORATORIO)		1	1967,441	1967,441	2,11	0,152396	0,296793
S(A)		49	45617,34	930,9661			
Total (Adjusted)		50	47584,78				
Total		51					

* Term significant at alpha = 0,05

Analysis of Variance Report

Page 2
 Database C:\NCSS60\BTX06.S0
 Time/Date 01:39:23 05-14-2006
 Response C TOLUENO

Kruskal-Wallis One-Way ANOVA on Ranks

Hypotheses

Ho: All medians are equal.

Ha: At least two medians are different.

Test Results

Method	DF	Chi-Square (H)	Prob Level	Decision(0,05)
Not Corrected for Ties	1	2,497028	0,114061	Accept Ho
Corrected for Ties	1	2,497367	0,114037	Accept Ho
Number Sets of Ties	3			
Multiplicity Factor	18			

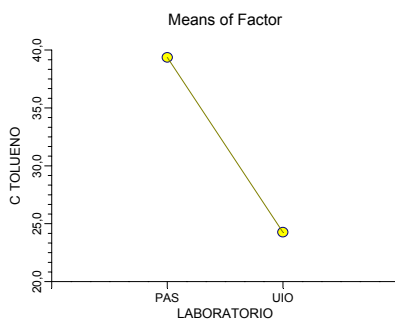
Group Detail

Group	Count	Sum of Ranks	Mean Rank	Z-Value	Median
PAS	11	355,00	32,27	1,5802	26,1
UIO	40	971,00	24,28	-1,5802	20,6

Means and Effects Section

Term	Count	Mean	Standard Error	Effect
All	51	27,51961		1,247571
A: LABORATORIO				
PAS	11	39,36364	9,199635	38,11607
UIO	40	24,2625	4,824329	23,01493

Plots of Means Section



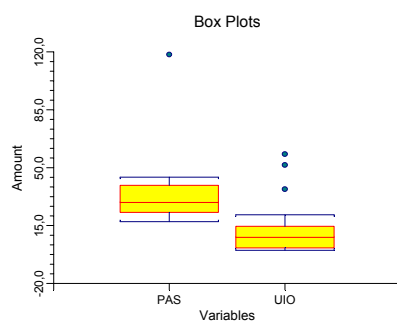
Analysis of Variance Report

Page 1
 Database C:\NCSS60\BTX06.S0
 Time/Date 01:39:23 05-14-2006
 Response C XILENOS

Tests of Assumptions Section

Assumption	Test Value	Prob Level	Decision (0,05)
Skewness Normality of Residuals	5,7544	0,000000	Reject
Kurtosis Normality of Residuals	4,6164	0,000004	Reject
Omnibus Normality of Residuals	54,4241	0,000000	Reject
Modified-Levene Equal-Variance Test	1,4139	0,240148	Accept

Box Plot Section



Expected Mean Squares Section

Source	Term	DF	Term Fixed?	Denominator Term	Expected Mean Square
A (LABORATORIO)		1	Yes	S(A)	S+sA
S(A)		49	No		S(A)

Note: Expected Mean Squares are for the balanced cell-frequency case.

Analysis of Variance Table

Source	Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=(0,05))
A (LABORATORIO)		1	6151,471	6151,471	21,03	0,000031*	0,994368
S(A)		49	14332,4	292,4979			
Total (Adjusted)		50	20483,87				
Total		51					

* Term significant at alpha = 0,05

Analysis of Variance Report

Page 2
 Database C:\NCSS60\BTX06.S0
 Time/Date 01:39:23 05-14-2006
 Response C XILENOS

Kruskal-Wallis One-Way ANOVA on Ranks

Hypotheses

Ho: All medians are equal.

Ha: At least two medians are different.

Test Results

Method	DF	Chi-Square (H)	Prob Level	Decision(0,05)
Not Corrected for Ties	1	18,53706	0,000017	Reject Ho
Corrected for Ties	1	18,56815	0,000016	Reject Ho
Number Sets of Ties	3			
Multiplicity Factor	222			

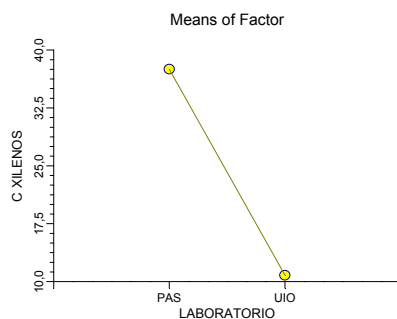
Group Detail

Group	Count	Sum of Ranks	Mean Rank	Z-Value	Median
PAS	11	474,00	43,09	4,3055	29,4
UIO	40	852,00	21,30	-4,3055	8,25

Means and Effects Section

Term	Count	Mean	Standard Error	Effect
All	51	16,58431		0,9480838
A: LABORATORIO				
PAS	11	37,52727	5,156619	36,57919
UIO	40	10,825	2,704154	9,876916

Plots of Means Section



8.2. Análisis de varianza de las concentraciones de BTEX obtenidas en las estaciones de servicio industriales y comerciales

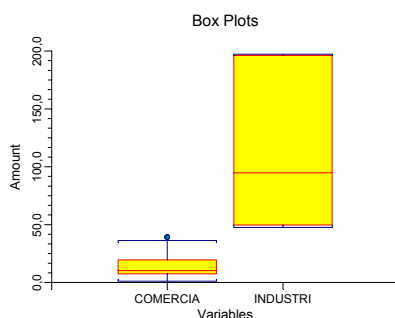
Analysis of Variance Report

Page 1
 Database C:\NCSS60\BTX06.S0
 Time/Date 01:44:46 05-14-2006
 Response C BENCENO

Tests of Assumptions Section

Assumption	Test Value	Prob Level	Decision (0,05)
Skewness Normality of Residuals	1,9284	0,053804	Accept
Kurtosis Normality of Residuals	3,8224	0,000132	Reject
Omnibus Normality of Residuals	18,3295	0,000105	Reject
Modified-Levene Equal-Variance Test	58,2149	0,000000	Reject

Box Plot Section



Expected Mean Squares Section

Source	Term	DF	Term Fixed?	Denominator Term	Expected Mean Square
A (TIPO ESTACION)	A	1	Yes	S(A)	S+sA
S(A)	S(A)	49	No		S(A)

Note: Expected Mean Squares are for the balanced cell-frequency case.

Analysis of Variance Table

Source	Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=(0,05))
A (TIPO ESTACION)	A	1	47679,05	47679,05	85,48	0,000000*	1,000000
S(A)	S(A)	49	27330,48	557,7649			
Total (Adjusted)		50	75009,52				
Total		51					

* Term significant at alpha = 0,05

Analysis of Variance Report

Page 2
 Database C:\NCSS60\BTX06.S0
 Time/Date 01:44:46 05-14-2006
 Response C BENCENO

Kruskal-Wallis One-Way ANOVA on Ranks

Hypotheses

Ho: All medians are equal.

Ha: At least two medians are different.

Test Results

Method	DF	Chi-Square (H)	Prob Level	Decision(0,05)
Not Corrected for Ties	1	13,26923	0,000270	Reject Ho
Corrected for Ties	1	13,27163	0,000269	Reject Ho
Number Sets of Ties	4			
Multiplicity Factor	24			

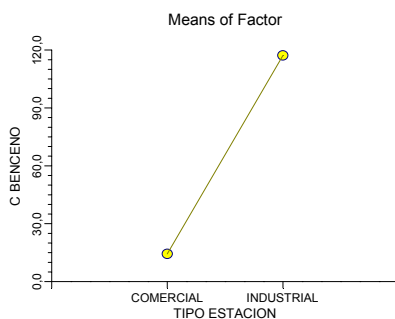
Group Detail

Group	Count	Sum of Ranks	Mean Rank	Z-Value	Median
COMERCIAL	46	1081,00	23,50	-3,6427	10,8
INDUSTRIAL	5	245,00	49,00	3,6427	95,3

Means and Effects Section

Term	Count	Mean	Standard Error	Effect
All	51	24,45882		2,579966
A: TIPO ESTACION				
COMERCIAL	46	14,37826	3,482143	11,7983
INDUSTRIAL	5	117,2	10,56186	114,62

Plots of Means Section



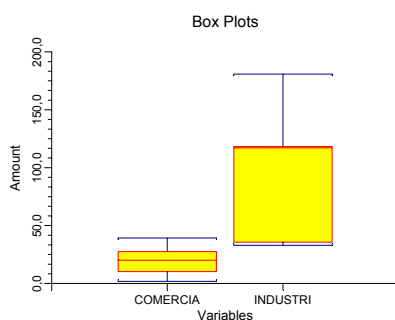
Analysis of Variance Report

Page 1
 Database C:\NCSS60\BTX06.S0
 Time/Date 01:44:46 05-14-2006
 Response C TOLUENO

Tests of Assumptions Section

Assumption	Test Value	Prob Level	Decision (0,05)
Skewness Normality of Residuals	0,8499	0,395362	Accept
Kurtosis Normality of Residuals	4,0706	0,000047	Reject
Omnibus Normality of Residuals	17,2921	0,000176	Reject
Modified-Levene Equal-Variance Test	35,2570	0,000000	Reject

Box Plot Section



Expected Mean Squares Section

Source	Term	DF	Term Fixed?	Denominator Term	Expected Mean Square
A (TIPO ESTACION)		1	Yes	S(A)	S+sA
S(A)		49	No		S(A)

Note: Expected Mean Squares are for the balanced cell-frequency case.

Analysis of Variance Table

Source	Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=(0,05))
A (TIPO ESTACION)		1	26792,1	26792,1	63,14	0,000000*	1,000000
S(A)		49	20792,68	424,3404			
Total (Adjusted)		50	47584,78				
Total		51					

* Term significant at alpha = 0,05

Analysis of Variance Report

Page 2
 Database C:\NCSS60\BTX06.S0
 Time/Date 01:44:46 05-14-2006
 Response C TOLUENO

Kruskal-Wallis One-Way ANOVA on Ranks

Hypotheses

Ho: All medians are equal.

Ha: At least two medians are different.

Test Results

Method	DF	Chi-Square (H)	Prob Level	Decision(0,05)
Not Corrected for Ties	1	11,27358	0,000786	Reject Ho
Corrected for Ties	1	11,27511	0,000786	Reject Ho
Number Sets of Ties	3			
Multiplicity Factor	18			

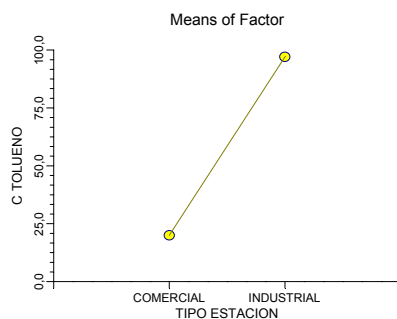
Group Detail

Group	Count	Sum of Ranks	Mean Rank	Z-Value	Median
COMERCIAL	46	1090,00	23,70	-3,3576	20,6
INDUSTRIAL	5	236,00	47,20	3,3576	117,7

Means and Effects Section

Term	Count	Mean	Standard Error	Effect
All	51	27,51961		2,294177
A: TIPO ESTACION				
COMERCIAL	46	19,96304	3,037234	17,66887
INDUSTRIAL	5	97,04	9,212387	94,74582

Plots of Means Section



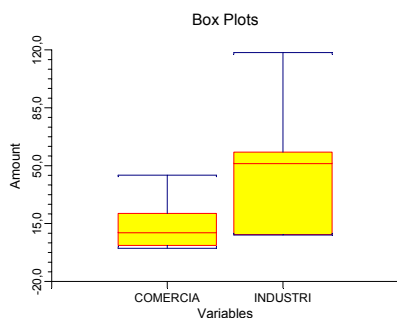
Analysis of Variance Report

Page 1
 Database C:\NCSS60\BTX06.S0
 Time/Date 01:44:46 05-14-2006
 Response C XILENOS

Tests of Assumptions Section

Assumption	Test Value	Prob Level	Decision (0,05)
Skewness Normality of Residuals	3,0025	0,002677	Reject
Kurtosis Normality of Residuals	3,4846	0,000493	Reject
Omnibus Normality of Residuals	21,1578	0,000025	Reject
Modified-Levene Equal-Variance Test	18,7567	0,000073	Reject

Box Plot Section



Expected Mean Squares Section

Source	Term	DF	Term Fixed?	Denominator Term	Expected Mean Square
A (TIPO ESTACION)	A	1	Yes	S(A)	S+sA
S(A)	S(A)	49	No		S(A)

Note: Expected Mean Squares are for the balanced cell-frequency case.

Analysis of Variance Table

Source	Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=(0,05))
A (TIPO ESTACION)	A	1	5803,415	5803,415	19,37	0,000058*	0,990700
S(A)	S(A)	49	14680,45	299,6011			
Total (Adjusted)		50	20483,87				
Total		51					

* Term significant at alpha = 0,05

Analysis of Variance Report

Page 2
 Database C:\NCSS60\BTX06.S0
 Time/Date 01:44:46 05-14-2006
 Response C XILENOS

Kruskal-Wallis One-Way ANOVA on Ranks

Hypotheses

Ho: All medians are equal.

Ha: At least two medians are different.

Test Results

Method	DF	Chi-Square (H)	Prob Level	Decision(0,05)
Not Corrected for Ties	1	3,733445	0,053333	Accept Ho
Corrected for Ties	1	3,739706	0,053134	Accept Ho
Number Sets of Ties	3			
Multiplicity Factor	222			

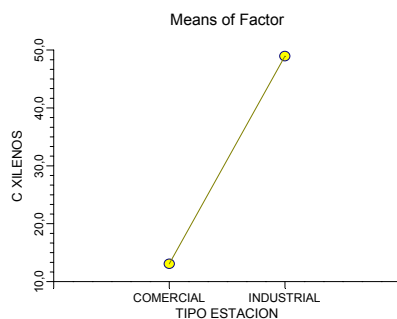
Group Detail

Group	Count	Sum of Ranks	Mean Rank	Z-Value	Median
COMERCIAL	46	1135,00	24,67	-1,9322	9,8
INDUSTRIAL	5	191,00	38,20	1,9322	51,6

Means and Effects Section

Term	Count	Mean	Standard Error	Effect
All	51	16,58431		1,215831
A: TIPO ESTACION				
COMERCIAL	46	13,06739	2,552071	11,85156
INDUSTRIAL	5	48,94	7,740815	47,72417

Plots of Means Section



8.3. Análisis de varianza de las concentraciones de BTEX obtenidas en las estaciones de servicio comerciales

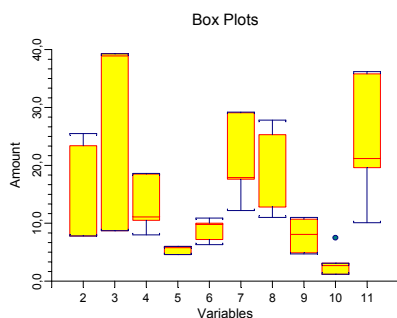
Analysis of Variance Report

Page 1
 Database C:\NCSS60\BTX06.S0
 Time/Date 01:53:20 05-14-2006
 Response C BENCENO

Tests of Assumptions Section

Assumption	Test Value	Prob Level	Decision (0,05)
Skewness Normality of Residuals	-0,9194	0,357905	Accept
Kurtosis Normality of Residuals	0,9994	0,317583	Accept
Omnibus Normality of Residuals	1,8441	0,397702	Accept
Modified-Levene Equal-Variance Test	0,9665	0,482998	Accept

Box Plot Section



Expected Mean Squares Section

Source	DF	Term Fixed?	Denominator Term	Expected Mean Square
A (COD ESTACIO)	9	Yes	S(A)	S+sA
S(A)	36	No		S(A)

Note: Expected Mean Squares are for the balanced cell-frequency case.

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=(0,05))
A (COD ESTACIO)	9	2695,786	299,5318	5,10	0,000183*	0,996866
S(A)	36	2113,452	58,707			
Total (Adjusted)	45	4809,238				
Total	46					

* Term significant at alpha = 0,05

Analysis of Variance Report

Page 2
 Database C:\NCSS60\BTX06.S0
 Time/Date 01:53:20 05-14-2006
 Response C BENCENO

Kruskal-Wallis One-Way ANOVA on Ranks**Hypotheses**

Ho: All medians are equal.

Ha: At least two medians are different.

Test Results

Method	DF	Chi-Square (H)	Prob Level	Decision(0,05)
Not Corrected for Ties	9	30,37669	0,000378	Reject Ho
Corrected for Ties	9	30,38418	0,000377	Reject Ho
Number Sets of Ties	4			
Multiplicity Factor	24			

Group Detail

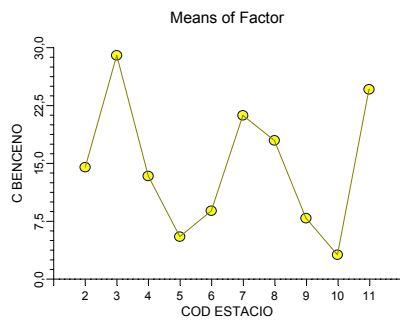
Group	Count	Sum of Ranks	Mean Rank	Z-Value	Median
2	5	118,00	23,60	0,0176	7,9
3	3	109,00	36,33	1,7128	39
4	5	132,00	26,40	0,5117	11,2
5	3	22,00	7,33	-2,1577	5,9
6	5	84,00	16,80	-1,1823	9,9
7	5	174,00	34,80	1,9939	18
8	5	162,50	32,50	1,5881	12,9
9	5	78,50	15,70	-1,3764	8,2
10	5	22,00	4,40	-3,3703	2,8
11	5	179,00	35,80	2,1704	21,3

Means and Effects Section

Term	Count	Mean	Standard Error	Effect
All	46	14,37826		3,175652
A: COD ESTACIO				
2	5	14,5	3,426573	11,32435
3	3	29	4,423686	25,82435
4	5	13,36	3,426573	10,18435
5	3	5,5	4,423686	2,324348
6	5	8,86	3,426573	5,684348
7	5	21,22	3,426573	18,04435
8	5	17,98	3,426573	14,80435
9	5	7,9	3,426573	4,724348
10	5	3,16	3,426573	-1,565217E-02
11	5	24,6	3,426573	21,42435

Analysis of Variance Report

Page 3
Database C:\NCSS60\BTX06.S0
Time/Date 01:53:20 05-14-2006
Response C BENCENO

Plots of Means Section

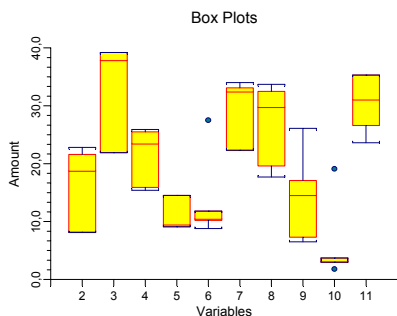
Analysis of Variance Report

Page 1
 Database C:\NCSS60\BTX06.S0
 Time/Date 01:53:20 05-14-2006
 Response C TOLUENO

Tests of Assumptions Section

Assumption	Test Value	Prob Level	Decision (0,05)
Skewness Normality of Residuals	0,8249	0,409437	Accept
Kurtosis Normality of Residuals	-1,2198	0,222552	Accept
Omnibus Normality of Residuals	2,1683	0,338193	Accept
Modified-Levene Equal-Variance Test	0,2186	0,989839	Accept

Box Plot Section



Expected Mean Squares Section

Source	Term	DF	Term Fixed?	Denominator Term	Expected Mean Square
A (COD ESTACIO)	A	9	Yes	S(A)	S+sA
S(A)	S(A)	36	No		S(A)

Note: Expected Mean Squares are for the balanced cell-frequency case.

Analysis of Variance Table

Source	Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=(0,05))
A (COD ESTACIO)	A	9	3307,604	367,5116	7,76	0,000003*	0,999973
S(A)	S(A)	36	1705,943	47,38729			
Total (Adjusted)		45	5013,547				
Total		46					

* Term significant at alpha = 0,05

Analysis of Variance Report

Page 2
 Database C:\NCSS60\BTX06.S0
 Time/Date 01:53:20 05-14-2006
 Response C TOLUENO

Kruskal-Wallis One-Way ANOVA on Ranks**Hypotheses**

Ho: All medians are equal.

Ha: At least two medians are different.

Test Results

Method	DF	Chi-Square (H)	Prob Level	Decision(0,05)
Not Corrected for Ties	9	29,04496	0,000637	Reject Ho
Corrected for Ties	9	29,05033	0,000635	Reject Ho
Number Sets of Ties	3			
Multiplicity Factor	18			

Group Detail

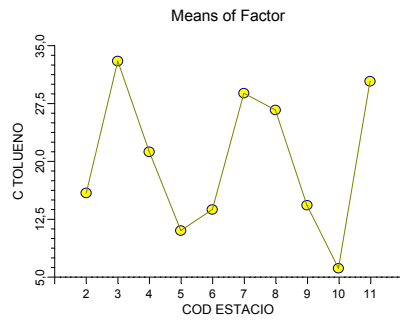
Group	Count	Sum of Ranks	Mean Rank	Z-Value	Median
2	5	88,00	17,60	-1,0411	18,8
3	3	116,00	38,67	2,0242	37,9
4	5	127,00	25,40	0,3353	23,5
5	3	36,00	12,00	-1,5348	9,5
6	5	83,00	16,60	-1,2175	10,5
7	5	173,50	34,70	1,9763	32,5
8	5	158,50	31,70	1,4469	29,8
9	5	79,00	15,80	-1,3587	14,6
10	5	32,00	6,40	-3,0174	3,1
11	5	188,00	37,60	2,4880	31,1

Means and Effects Section

Term	Count	Mean	Standard Error	Effect
All	46	19,96304		4,375507
A: COD ESTACIO				
2	5	15,9	3,078548	11,52449
3	3	33	3,974389	28,62449
4	5	21,24	3,078548	16,86449
5	3	11,03333	3,974389	6,657826
6	5	13,76	3,078548	9,384493
7	5	28,84	3,078548	24,46449
8	5	26,66	3,078548	22,28449
9	5	14,32	3,078548	9,944492
10	5	6,14	3,078548	1,764493
11	5	30,38	3,078548	26,00449

Analysis of Variance Report

Page 3
Database C:\NCSS60\BTX06.S0
Time/Date 01:53:20 05-14-2006
Response C TOLUENO

Plots of Means Section

8.4. Rectas de calibración

Tabla 15. Cálculos para la elaboración de la recta de calibración de benceno. Elaboración propia.

Benceno	D3	D5	D20	D160
Volumen Stock (μl)	3,00	4,98	20,00	160,00
Volumen CS2 (l)	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
Masa compuesto (μg)	0,66	1,09	4,38	35,06
Área #1 (adim)	526,00	669,00	1770,00	9546,00
Área #2 (adim)	525,00	644,00	1781,00	9608,00
Área #3 (adim)	519,00	620,00	1783,00	9511,00
Promedio (adim)	523,33	644,33	1778,00	9555,00
Desviación estándar (adim)	3,79	24,50	7,00	49,12
DE (% respecto del promedio)	0,7%	3,8%	0,4%	0,5%

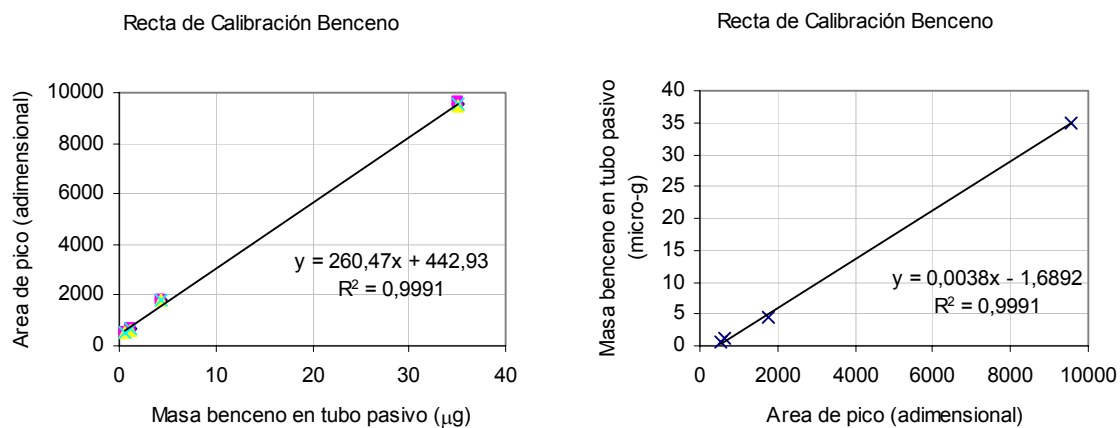


Gráfico 18. Recta de calibración del benceno. Elaboración propia.

Tabla 16. Cálculos para la elaboración de la recta de calibración de tolueno. Elaboración propia.

Tolueno	D3	D5	D20	D160
Volumen Stock (μl)	3,00	5,00	20,00	160,00
Volumen CS2 (l)	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
Masa compuesto (μg)	0,65	1,08	4,33	34,64
Área #1 (adim)	396,00	714,00	1769,00	8650,00
Área #2 (adim)	-	692,00	1735,00	8662,00
Área #3 (adim)	409,00	683,00	1756,00	8646,00
Promedio (adim)	402,50	696,33	1753,33	8652,67
Desviación estándar (adim)	9,19	15,95	17,16	8,33
DE (% respecto del promedio)	2,3%	2,3%	1,0%	0,1%

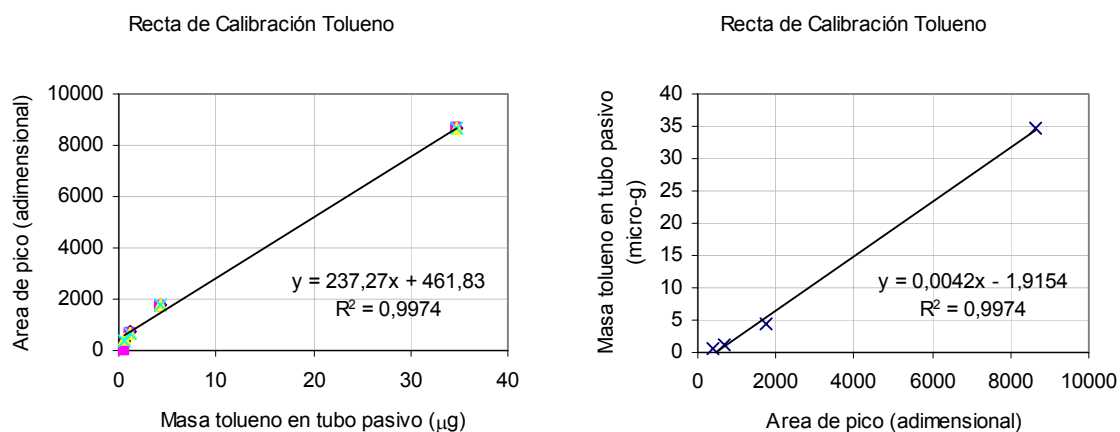


Gráfico 19. Recta de calibración de tolueno. Elaboración propia.

Tabla 17. Cálculos para la elaboración de la recta de calibración de m-xileno y p-xileno.

o-xileno				
	D3	D5	D20	D160
Volumen Stock (μl)	3,00	5,00	20,00	160,00
Volumen CS2 (l)	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
Masa compuesto (μg)	0,65	1,08	4,31	34,44
Área #1 (adim)	137,00	371,00	1371,00	8416,00
Área #2 (adim)	172,00	377,00	1414,00	8415,00
Área #3 (adim)	163,00	400,00	1488,00	8416,00
Promedio (adim)	157,33	382,67	1424,33	8415,67
Desviación estándar (adim)	18,18	15,31	59,18	0,58
DE (% respecto del promedio)	11,6%	4,0%	4,2%	0,0%

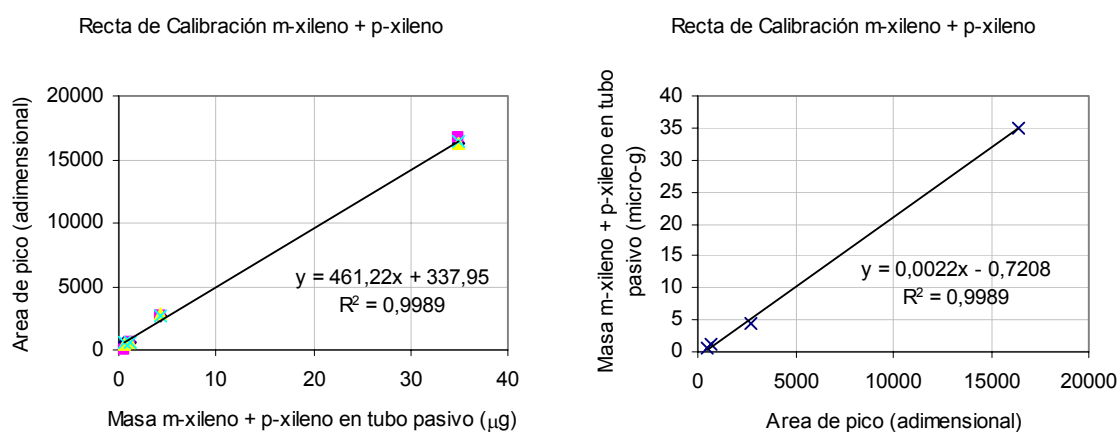


Gráfico 20. Recta de calibración de m-xileno y p-xileno.

Tabla 18. Cálculos para la elaboración de recta de calibración de o-xileno.

o-xileno	D3	D5	D20	D160
Volumen Stock (μl)	3,00	5,00	20,00	160,00
Volumen CS2 (l)	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
Masa compuesto (μg)	0,65	1,08	4,31	34,44
Área #1 (adim)	137,00	371,00	1371,00	8416,00
Área #2 (adim)	172,00	377,00	1414,00	8415,00
Área #3 (adim)	163,00	400,00	1488,00	8416,00
Promedio (adim)	157,33	382,67	1424,33	8415,67
Desviación estándar (adim)	18,18	15,31	59,18	0,58
DE (% respecto del promedio)	11,6%	4,0%	4,2%	0,0%

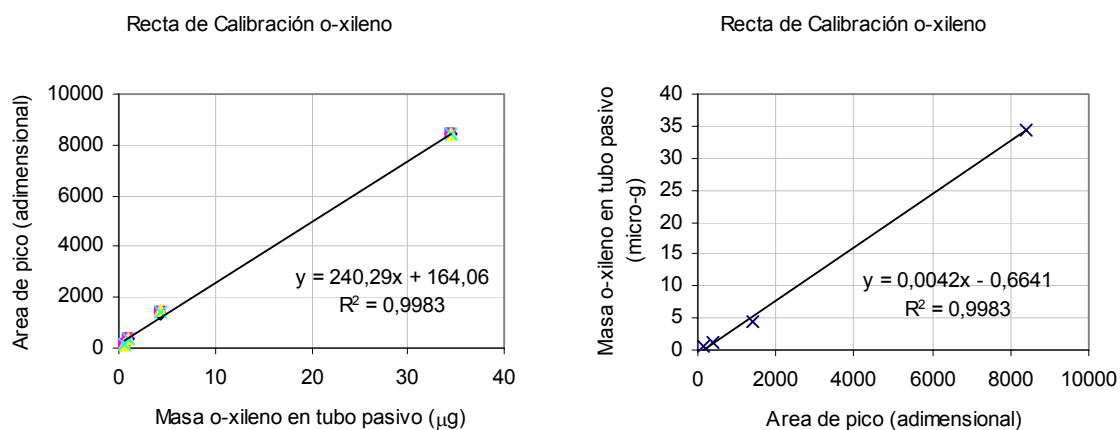


Gráfico 21. Recta de calibración de o-xileno. Elaboración propia.

8.5. Áreas de pico obtenidas por cromatografía y cálculos para obtener la concentración de BTEXs en aire.

	Cod.	Cod. Passam	Exp.		Punto de muestreo	Fecha y hora inicio	Fecha y hora final	Exposición
					Laboratorio	-	-	-
					Variable	Tiempo	Tiempo	Tiempo
Nombre archivo					Unidades	DD/MM/AA HH:MM	DD/MM/AA HH:MM	Días
BTX11.C00	1	-	#1	1	Beaterio	15/11/2005 8:05	29/11/2005 9:30	14,059
BTX11.C01	1	-	#2			15/11/2005 8:05	29/11/2005 9:30	14,059
-	2	ECU 1	#1			15/11/2005 8:15	29/11/2005 9:35	14,056
BTX12.C01	3	-	#1			15/11/2005 8:25	29/11/2005 9:40	14,052
BTX12.C02	3	-	#2			15/11/2005 8:25	29/11/2005 9:40	14,052
BTX13.C00	4	-	#1	2	E.S. 6 Diciembre	30/11/2005 6:35	18/12/2005 10:00	18,142
BTX13.C01	4	-	#2			30/11/2005 6:35	18/12/2005 10:00	18,142
-	5	ECU 2	#1			30/11/2005 6:35	18/12/2005 10:00	18,142
BTX13.C02	6	-	#1			30/11/2005 6:35	18/12/2005 10:00	18,142
BTX13.C03	6	-	#2			30/11/2005 6:35	18/12/2005 10:00	18,142
BTX13.C04	7	-	#1	3	E.S. Colón	30/11/2005 8:37	18/12/2005 10:23	18,074
BTX13.C05	7	-	#2			30/11/2005 8:37	18/12/2005 10:23	18,074
-	8	ECU 3	#1			30/11/2005 8:37	18/12/2005 10:23	18,074
BTX13.C06	9	-	#1			30/11/2005 8:47	18/12/2005 10:23	18,067
BTX13.C07	9	-	#2			30/11/2005 8:47	18/12/2005 10:23	18,067
BTX13.C08	10		#1	4	E.S. Eloy Alfaro	30/11/2005 9:00	18/12/2005 11:21	18,098
BTX13.C09	10		#2			30/11/2005 9:00	18/12/2005 11:21	18,098
-	11	ECU 4	#1			30/11/2005 9:00	18/12/2005 11:21	18,098
BTX13.C10	12		#1			30/11/2005 9:00	18/12/2005 11:21	18,098
BTX13.C11	12		#2			30/11/2005 9:00	18/12/2005 11:21	18,098
BTX13.C12	13		#1	5	E.S. Sabanilla	30/11/2005 9:25	18/12/2005 11:37	18,092
BTX13.C13	13		#2			30/11/2005 9:25	18/12/2005 11:37	18,092
-	14	ECU 5	#1			30/11/2005 9:25	18/12/2005 11:37	18,092
BTX13.C14	15	-	#1			30/11/2005 9:25	18/12/2005 11:05	18,069
BTX13.C15	15	-	#2			30/11/2005 9:25	18/12/2005 11:05	18,069
BTX13.C16	16	-	#1	6	E.S. Faconza	01/12/2005 7:25	18/12/2005 11:05	17,153
BTX13.C17	16	-	#2			01/12/2005 7:25	18/12/2005 11:05	17,153
-	17	ECU 6	#1			01/12/2005 7:30	18/12/2005 11:05	17,149
BTX13.C18	18	-	#1			01/12/2005 7:30	18/12/2005 11:05	17,149
BTX13.C19	18	-	#2			01/12/2005 7:30	18/12/2005 11:05	17,149
BTX13.C20	19	-	#1	7	E.S. Occidental	01/12/2005 8:20	18/12/2005 12:45	17,184
BTX13.C21	19	-	#2			01/12/2005 8:20	18/12/2005 12:45	17,184
-	20	ECU 7	#1			01/12/2005 8:20	18/12/2005 12:45	17,184
BTX13.C22	21	-	#1			01/12/2005 8:20	18/12/2005 12:45	17,184
BTX13.C23	21	-	#2			01/12/2005 8:20	18/12/2005 12:45	17,184

Cod. Passam	Exp.		Punto de muestreo	Benceno						Tolueno								
				Laboratorio		PAS			UIO			PAS		UIO				
				Variable	Cbtx1	Cbtx2	Area	Area EI	FCI	Cbtx3	Cbtx4	Cbtx1	Cbtx2	Area	Area EI	FCI	Cbtx3	Cbtx4
Unidades	µg/m3	µg/m3	Adim.	Adim.	Adim.	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	Adim.	Adim.	Adim.	µg/m3	µg/m3				
-	#1	1	Beaterio			15952	4505	1,69	264,3	197,3			9041	4505	1,69	157,64	117,7	
-	#2					15900	4517	1,70	262,7	196,1			9100	4517	1,70	158,30	118,2	
ECU 1	#1			127,7	95,3							242,2	180,8					
-	#1					6175	6297	2,37	63,8	47,6			4580	6297	2,37	47,64	35,6	
-	#2					6316	6217	2,34	66,6	49,7			4268	6217	2,34	44,12	32,9	
-	#1					3042	4457	1,68	31,3	23,4			2706	4457	1,68	28,89	21,6	
-	#2			3036	4163	1,57	34,2	25,5			2633	4163	1,57	30,58	22,8			
ECU 2	#1	2	E.S. 6 Diciembre	10,6	7,9						25,2	18,8						
-	#1					1575	4640	1,74	10,5	7,8			1559	4640	1,74	10,82	8,1	
-	#2					1593	4676	1,76	10,6	7,9			1583	4676	1,76	10,99	8,2	
-	#1					ND	ND	ND					ND	ND	ND	ND		
-	#2					ND	ND	ND					ND	ND	ND	ND		
ECU 3	#1			3	E.S. Colón	11,6	8,7						29,4	21,9				
-	#1					3170	3095	1,16	52,3	39,0			2969	3095	1,16	52,57	39,2	
-	#2					3170	3076	1,16	52,7	39,3			2868	3076	1,16	50,77	37,9	
-	#1					2208	5353	2,01	15,0	11,2			2641	5353	2,01	21,36	15,9	
-	#2					2223	5605	2,11	14,0	10,5			2708	5605	2,11	20,68	15,4	
ECU 4	#1	4	E.S. Eloy Alfaro			10,7	8,0						34,2	25,5				
-	#1					1996	3477	1,31	24,8	18,5			2410	3477	1,31	34,70	25,9	
-	#2					2013	3493	1,31	24,9	18,6			2249	3493	1,31	31,41	23,5	
-	#1					847	8074	3,04					1367	8074	3,04	NC		
-	#2					834	8259	3,10					1175	8259	3,10	NC		
ECU 5	#1			5	E.S. Sabanilla	6,1	4,6						19,4	14,5				
-	#1					1278	4310	1,62	7,9	5,9			1531	4310	1,62	12,15	9,1	
-	#2					1260	4232	1,59	8,0	6,0			1536	4232	1,59	12,67	9,5	
-	#1					1657	5247	1,97	9,6	7,2			2092	5247	1,97	15,86	11,8	
-	#2					1653	5550	2,09	8,4	6,3			1897	5550	2,09	11,85	8,8	
ECU 6	#1	6	E.S. Faconza			14,6	10,9						36,9	27,5				
-	#1					2405	6434	2,419	13,3	9,9			2367	6434	2,42	13,69	10,2	
-	#2					2425	6452	2,43	13,4	10,0			2404	6452	2,43	14,03	10,5	
-	#1					3918	5055	1,90	39,0	29,1			4066	5055	1,90	44,37	33,1	
-	#2					3965	5100	1,92	39,2	29,2			4040	5100	1,92	43,51	32,5	
ECU 7	#1			7	E.S. Occidental	16,4	12,2						45,5	34,0				
-	#1					2928	5385	2,02	24,2	18,0			3223	5385	2,02	29,89	22,3	
-	#2					2926	5465	2,05	23,6	17,6			3268	5465	2,05	29,85	22,3	

Cod. Passam	Exp.	Punto de muestreo	Etilbenceno						m-xileno							
			Laboratorio		PAS			UIO			PAS		UIO			
			Variable	Cbtx1	Cbtx2	Area	Area El	FCI	Cbtx3	Cbtx4	Cbtx1	Cbtx2	Area	Area El	FCI	Cbtx3
Unidades	µg/m3	µg/m3	Adim.	Adim.	Adim.	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	Adim.	Adim.	Adim.	µg/m3	µg/m3		
-	#1	Beaterio			ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
ECU 1	#1		36,6	27,3						90,8	67,8					
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2	E.S. 6 Diciembre			ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
ECU 2	#1		8,7	6,5						15,8	11,8					
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
ECU 3	#1	E.S. Colón	6,4	4,8					16,6	12,4						
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
ECU 4	#1		E.S. Eloy Alfaro	8,7	6,5					21,2	15,8					
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
ECU 5	#1	E.S. Sabanilla		5,4	4,0					12,6	9,4					
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
ECU 6	#1		E.S. Faconza	8,8	6,6					21,9	16,4					
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
ECU 7	#1	E.S. Occidental		13,4	10,0					32,6	24,3					
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND

Cod. Passam	Exp.	Punto de muestreo	p-xileno						o-xileno							
			Laboratorio		PAS		UIO				PAS		UIO			
			Variable	Cbtx1	Cbtx2	Area	Area El	FCI	Cbtx3	Cbtx4	Cbtx1	Cbtx2	Area	Area El	FCI	Cbtx3
Unidades	µg/m3	µg/m3	Adim.	Adim.	Adim.	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	Adim.	Adim.	Adim.	µg/m3	µg/m3		
-	#1	Beaterio			ND	ND	ND	ND	ND			1603	4505	1,6936	29,5	22,0
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			2084	4517	1,6981	40,1	29,9
ECU 1	#1		34,4	25,7						33,4	24,9					
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			730	6297	2,3673	5,4	4,1
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			703	6217	2,3372	5,2	3,9
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			583	4457	1,6756	5,4	4,0
-	#2	E.S. 6 Diciembre			ND	ND	ND	ND	ND			583	4163	1,565	6,1	4,5
ECU 2	#1		9,1	6,8						5,9	4,4					
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			325	4640	1,7444	0,7	0,5
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			NC	NC	NC	NC	
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			NC	NC	NC	NC	
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			NC	NC	NC	NC	
ECU 3	#1	E.S. Colón	7,3	5,5						5,8	4,4					
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			602	3095	1,1635	10,4	7,7
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			629	3076	1,1564	11,1	8,3
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			645	5353	2,0124	4,6	3,4
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			619	5605	2,1071	3,8	2,8
ECU 4	#1		E.S. Eloy Alfaro	9,0	6,7						7,8	5,8				
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			479	3477	1,3071	5,9	4,4
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			513	3493	1,3132	6,6	5,0
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			NC	NC	NC	NC	
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			NC	NC	NC	NC	
ECU 5	#1	E.S. Sabanilla		6,4	4,7						4,4	3,3				
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			286	4310	1,6203	0,4	0,3
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			315	4232	1,591	1,0	0,7
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			400	5247	1,9726	1,2	0,9
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			396	5550	2,0865	0,8	0,6
ECU 6	#1		E.S. Faconza	9,2	6,8						8,2	6,1				
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			557	6434	2,4188	2,0	1,5
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			561	6452	2,4256	2,1	1,6
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			1219	5055	1,9004	14,7	11,0
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			1208	5100	1,9173	14,4	10,7
ECU 7	#1	E.S. Occidental		13,9	10,4						12,9	9,6				
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			955	5385	2,0244	9,5	7,1
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			971	5465	2,0545	9,5	7,1

Cod. Passam	Exp.	Punto de muestreo	m-xileno + p-xileno						Xilenos							
			Laboratorio		PAS		UIO				PAS		UIO			
			Variable	Cbtx1	Cbtx2	Area	Area El	FCI	Cbtx3	Cbtx4	Cbtx1	Cbtx2	Area	Area El	FCI	Cbtx3
Unidades	µg/m3	µg/m3	Adim.	Adim.	Adim.	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	Adim.	Adim.	Adim.	µg/m3	µg/m3		
-	#1	Beaterio			3718	4505	1,6936	39,5	29,5							
-	#2				3597	4517	1,6981	37,9	28,3			ND	ND	ND	69,1	51,6
ECU 1	#1		125,2	93,5						158,6	118,4					
-	#1				1444	6297	2,3673	5,8	4,3			ND	ND	ND	11,2	8,4
-	#2				1410	6217	2,3372	5,7	4,2			ND	ND	ND	10,8	8,1
-	#1				1093	4457	1,6756	5,2	3,9			ND	ND	ND	10,6	7,9
-	#2	E.S. 6 Diciembre			1055	4163	1,565	5,5	4,1			ND	ND	ND	11,6	8,7
ECU 2	#1		24,9	18,6						30,8	23,0					
-	#1				610	4640	1,7444	0,2	0,1			ND	ND	ND	ND	
-	#2				623	4676	1,7579	0,3	0,2			ND	ND	ND	ND	
-	#1	E.S. Colón			ND	ND	ND	ND				ND	ND	ND	ND	
-	#2				ND	ND	ND	ND				ND	ND	ND	ND	
ECU 3	#1		23,9	17,9						29,8	22,2					
-	#1				1212	3095	1,1635	11,7	8,7			ND	ND	ND	22,0	16,4
-	#2			3076	3076	1,1564	38,5	28,7			ND	ND	ND	49,6	37,0	
-	#1	E.S. Eloy Alfaro			1297	5353	2,0124	5,1	3,8			ND	ND	ND	9,7	7,2
-	#2				1300	5605	2,1071	4,6	3,4			ND	ND	ND	8,4	6,3
ECU 4	#1		30,2	22,6						38,0	28,4					
-	#1				1011	3477	1,3071	7,2	5,4			ND	ND	ND	13,1	9,8
-	#2			990	3493	1,3132	6,9	5,1			ND	ND	ND	13,5	10,1	
-	#1	E.S. Sabanilla			NC	NC	NC	NC				NC	NC	NC	NC	
-	#2				NC	NC	NC	NC				NC	NC	NC	NC	
ECU 5	#1		18,9	14,1						23,3	17,4					
-	#1				559	4310	1,6203	0,1	0,1			ND	ND	ND	0,5	0,4
-	#2			558	4232	1,591	0,2	0,2			ND	ND	ND	1,2	0,9	
-	#1	E.S. Faconza			732	5247	1,9726	0,6	0,4			ND	ND	ND	1,8	1,3
-	#2				741	5550	2,0865	0,3	0,2			ND	ND	ND	1,1	0,8
ECU 6	#1		31,1	23,2						39,3	29,4					
-	#1				987	6434	2,4188	1,2	0,9			ND	ND	ND	3,3	2,4
-	#2			973	6452	2,4256	1,1	0,8			ND	ND	ND	3,2	2,4	
-	#1	E.S. Occidental			2180	5055	1,9004	14,1	10,5			ND	ND	ND	28,8	21,5
-	#2				2173	5100	1,9173	13,9	10,3			ND	ND	ND	28,2	21,1
ECU 7	#1		46,4	34,7						59,3	44,3					
-	#1				1660	5385	2,0244	8,4	6,3			ND	ND	ND	17,9	13,4
-	#2			1730	5465	2,0545	8,8	6,6			ND	ND	ND	18,3	13,7	

					Punto de muestreo	Fecha y hora inicio	Fecha y hora final	Exposición
	Cod.	Cod. Passam	Exp.		Laboratorio	-	-	-
					Variable	Tiempo	Tiempo	Tiempo
Nombre archivo					Unidades	DD/MM/AA HH:MM	DD/MM/AA HH:MM	Días
BTX13.C24	22	-	#1	8	E.S. Mariscal	01/12/2005 9:40	18/12/2005 14:28	17,200
BTX13.C25	22	-	#2			01/12/2005 9:40	18/12/2005 14:28	17,200
-	23	ECU 8	#1			01/12/2005 9:47	18/12/2005 14:28	17,195
BTX13.C26	24	-	#1			01/12/2005 9:47	18/12/2005 14:28	17,195
BTX13.C27	24	-	#2			01/12/2005 9:47	18/12/2005 14:28	17,195
BTX13.C28	25	-	#1	9	E.S. Serviauto	01/12/2005 10:20	18/12/2005 14:52	17,189
BTX13.C29	25	-	#2			01/12/2005 10:20	18/12/2005 14:52	17,189
-	26	ECU 9	#1			01/12/2005 10:20	18/12/2005 14:52	17,189
BTX13.C30	27	-	#1			01/12/2005 10:20	18/12/2005 14:52	17,189
BTX13.C31	27	-	#2			01/12/2005 10:20	18/12/2005 14:52	17,189
BTX12.C00	28	-	#1	10	E.S. Ferrari	03/12/2005 10:50	18/12/2005 11:59	15,048
BTX12.C01	28	-	#2			03/12/2005 10:50	18/12/2005 11:59	15,048
-	29	ECU 10	#1			03/12/2005 10:50	18/12/2005 11:59	15,048
BTX13.C32	30	-	#1			03/12/2005 10:50	18/12/2005 11:59	15,048
BTX13.C33	30	-	#2			03/12/2005 10:50	18/12/2005 11:59	15,048
BTX13.C34	31	-	#1	11	E.S. Cotocollao	03/12/2005 11:20	18/12/2005 12:19	15,041
BTX13.C35	31	-	#2			03/12/2005 11:20	18/12/2005 12:19	15,041
-	32	ECU 11	#1			03/12/2005 11:20	18/12/2005 12:19	15,041
BTX13.C36	33	-	#1			03/12/2005 11:20	18/12/2005 12:19	15,041
BTX13.C37	33	-	#2			03/12/2005 11:20	18/12/2005 12:19	15,041
BTX13.C38	34	-	#1	12	E.S. Batán 2	03/12/2005 12:10	18/12/2005 9:45	14,899
BTX13.C39	34	-	#2			03/12/2005 12:10	18/12/2005 9:45	14,899
-	35	ECU 12	#1			03/12/2005 12:10	18/12/2005 9:45	14,899
BTX13.C40	36	-	#1			03/12/2005 12:10	18/12/2005 9:45	14,899
BTX13.C41	36	-	#2			03/12/2005 12:10	18/12/2005 9:45	14,899
BTX13.C42	37	-	#1	13	E.S. Panamericana km 7	03/12/2005 14:45	18/12/2005 15:20	15,024
BTX13.C43	37	-	#2			03/12/2005 14:45	18/12/2005 15:20	15,024
-	38	ECU 13	#1			03/12/2005 14:45	18/12/2005 15:20	15,024
BTX13.C44	39	-	#1			03/12/2005 14:45	18/12/2005 15:20	15,024
BTX13.C45	39	-	#2			03/12/2005 14:45	18/12/2005 15:20	15,024
BTX13.C46	40	-	#1	14	E.S. Panamericana km 8	03/12/2005 15:15	18/12/2005 15:30	15,010
BTX13.C47	40	-	#2			03/12/2005 15:15	18/12/2005 15:30	15,010
-	41	ECU 14	#1			03/12/2005 15:15	18/12/2005 15:30	15,010
BTX13.C48	42	-	#1			03/12/2005 15:15	18/12/2005 15:30	15,010
BTX13.C49	42	-	#2			03/12/2005 15:15	18/12/2005 15:30	15,010
BTX13.C50	43	-	#1	15	E.S. Sol Naciente	03/12/2005 16:00	18/12/2005 16:00	15,000
BTX13.C51	43	-	#2			03/12/2005 16:00	18/12/2005 16:00	15,000
-	44	ECU 15	#1			03/12/2005 16:00	18/12/2005 16:00	15,000
BTX13.C52	45	-	#1			03/12/2005 16:00	18/12/2005 16:00	15,000
BTX13.C53	45	-	#2			03/12/2005 16:00	18/12/2005 16:00	15,000

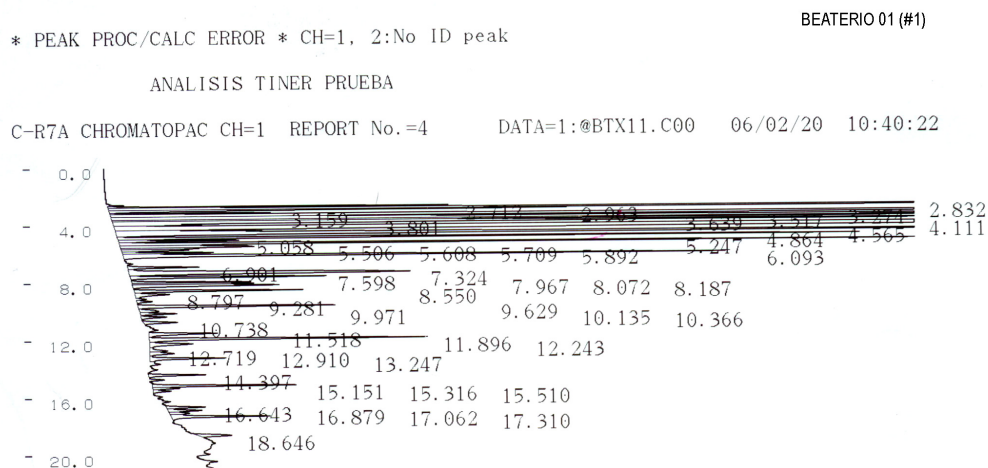
Cod. Passam	Exp.	Punto de muestreo	Benceno						Tolueno							
			PAS		UIO				PAS		UIO					
			Variable	Cbtx1	Cbtx2	Area	Area El	FCI	Cbtx3	Cbtx4	Cbtx1	Cbtx2	Area	Area El	FCI	Cbtx3
Unidades	µg/m3	µg/m3	Adim.	Adim.	Adim.	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	Adim.	Adim.	Adim.	µg/m3	µg/m3		
-	#1	E.S. Mariscal			2505	5743	2,16	17,3	12,9			2935	5743	2,16	23,72	17,7
-	#2				2528	5805	2,18	17,2	12,9			3172	5805	2,18	26,20	19,6
ECU 8	#1		14,8	11,0						45,1	33,7					
-	#1				2844	3803	1,43	37,2	27,8			3013	3803	1,43	43,49	32,5
-	#2				2827	4059	1,53	33,9	25,3			3013	4059	1,53	39,98	29,8
-	#1				1782	6637	2,50	6,5	4,9			2075	6637	2,50	9,78	7,3
-	#2	E.S. Serviauto			1766	6651	2,50	6,3	4,7			1979	6651	2,50	8,72	6,5
ECU 9	#1		11,0	8,2						35,0	26,1					
-	#1				2173	5474	2,06	14,8	11,0			2736	5474	2,06	22,94	17,1
-	#2				2160	5544	2,08	14,3	10,7			2507	5544	2,08	19,59	14,6
-	#1				1455	6532	2,46	4,1	3,1			1466	6532	2,46	4,08	3,0
-	#2				1454	6689	2,51	3,7	2,8			1502	6689	2,51	4,09	3,1
ECU 10	#1	E.S. Ferrari	10,1	7,5						25,6	19,1					
-	#1				1542	8166	3,07	1,6	1,2			1928	8166	3,07	5,02	3,7
-	#2				1534	8176	3,07	1,5	1,2			1660	8176	3,07	2,36	1,8
-	#1				4540	5483	2,06	48,4	36,2			4179	5483	2,06	47,30	35,3
-	#2				4505	5484	2,06	48,0	35,8			4179	5484	2,06	47,29	35,3
ECU 11	#1		E.S. Cotocollao	13,5	10,1						41,6	31,1				
-	#1				2291	4119	1,55	28,5	21,3			2544	4119	1,55	35,69	26,6
-	#2				2291	4362	1,64	26,3	19,6			2470	4362	1,64	31,56	23,6
-	#1				3189	5233	1,97	32,7	24,4			2744	5233	1,97	28,46	21,2
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
ECU 12	#1	E.S. Batán 2		14,2	10,6						31,3	23,4				
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
ECU 13	#1		E.S. Panamericana km 7	11,6	8,7						34,8	26,0				
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
ECU 14	#1	E.S. Panamericana km 8		17,0	12,7						70,9	52,9				
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
ECU 15	#1		E.S. Sol Naciente	13,6	10,2						37,7	28,1				
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND

Cod. Passam	Exp.	Punto de muestreo	Etilbenceno						m-xileno							
			PAS		UIO				PAS		UIO					
			Variable	Cbtx1	Cbtx2	Area	Area EI	FCI	Cbtx3	Cbtx4	Cbtx1	Cbtx2	Area	Area EI	FCI	Cbtx3
Unidades	µg/m3	µg/m3	Adim.	Adim.	Adim.	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	Adim.	Adim.	Adim.	µg/m3	µg/m3		
-	#1	E.S. Mariscal														
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
ECU 8	#1		12,9	9,6						28,2	21,1					
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2			ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND	
ECU 9	#1	E.S. Serviauto	10,6	7,9						25,1	18,7					
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
ECU 10	#1		E.S. Ferrari	7,9	5,9						17,0	12,7				
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
ECU 11	#1	E.S. Cotocollao		10,1	7,5						24,0	17,9				
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
ECU 12	#1		E.S. Batán 2	8,5	6,3						18,1	13,5				
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
ECU 13	#1	E.S. Panamericana km 7		9,9	7,4						24,5	18,3				
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
ECU 14	#1		E.S. Panamericana km 8	21,3	15,9						52,8	39,4				
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
ECU 15	#1	E.S. Sol Naciente		13,7	10,2						22,4	16,8				
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND

Cod. Passam	Exp.	Punto de muestreo	p-xileno						o-xileno							
			Laboratorio		PAS		UIO		PAS		UIO					
			Variable	Cbtx1	Cbtx2	Area	Area EI	FCI	Cbtx3	Cbtx4	Cbtx1	Cbtx2	Area	Area EI	FCI	Cbtx3
Unidades	µg/m3	µg/m3	Adim.	Adim.	Adim.	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	Adim.	Adim.	Adim.	µg/m3	µg/m3		
-	#1	E.S. Mariscal			ND	ND	ND	ND	ND			842	5743	2,159	7,0	5,2
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			874	5805	2,1823	7,3	5,4
ECU 8	#1		13,6	10,2						10,8	8,0					
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			778	3803	1,4297	11,7	8,8
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			789	4059	1,5259	10,9	8,1
-	#1	E.S. Serviauto			ND	ND	ND	ND	ND			550	6637	2,4951	1,7	1,3
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			559	6651	2,5004	1,8	1,4
ECU 9	#1		11,3	8,4						9,9	7,4					
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			738	5474	2,0579	6,0	4,5
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			765	5544	2,0842	6,3	4,7
-	#1	E.S. Ferrari			ND	ND	ND	ND	ND			NC	NC	NC	NC	
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			NC	NC	NC	NC	
ECU 10	#1		8,8	6,6						6,2	4,7					
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			351	8166	3,0699	NC	
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			337	8176	3,0737	NC	
-	#1	E.S. Cotocollao			ND	ND	ND	ND	ND			1074	5483	2,0613	12,6	9,4
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			1072	5484	2,0617	12,5	9,4
ECU 11	#1		10,1	7,6						8,7	6,5					
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			587	4119	1,5485	7,6	5,7
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			563	4362	1,6398	6,3	4,7
-	#1	E.S. Batán 2			ND	ND	ND	ND	ND			524	5233	1,9673	3,6	2,7
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
ECU 12	#1		8,7	6,5						6,7	5,0					
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#1	E.S. Panamericana km 7			ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
ECU 13	#1		10,4	7,8						9,1	6,8					
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#1	E.S. Panamericana km 8			ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
ECU 14	#1		21,2	15,8						21,0	15,7					
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#1	E.S. Sol Naciente			ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
ECU 15	#1		12,8	9,6						8,5	6,4					
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2			ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND	

Cod. Passam	Exp.	Punto de muestreo	m-xileno + p-xileno						Xilenos							
			Laboratorio		PAS		UIO				PAS		UIO			
			Variable	Cbtx1	Cbtx2	Area	Area El	FCI	Cbtx3	Cbtx4	Cbtx1	Cbtx2	Area	Area El	FCI	Cbtx3
Unidades	µg/m3	µg/m3	Adim.	Adim.	Adim.	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	Adim.	Adim.	Adim.	µg/m3	µg/m3		
-	#1	E.S. Mariscal			1501	5743	2,159	6,2	4,6							
-	#2				1442	5805	2,1823	5,6	4,2			ND	ND	ND	13,2	9,8
ECU 8	#1		41,8	31,2							52,6	39,3				
-	#1				1353	3803	1,4297	10,6	7,9			ND	ND	ND	22,3	16,7
-	#2				1362	4059	1,5259	9,7	7,2			ND	ND	ND	20,5	15,3
-	#1				927	6637	2,4951	0,6	0,4			ND	ND	ND	2,3	1,7
-	#2			921	6651	2,5004	0,5	0,4			ND	ND	ND	2,4	1,8	
ECU 9	#1	E.S. Serviauto	36,4	27,2						46,2	34,5					
-	#1				1171	5474	2,0579	4,0	3,0			ND	ND	ND	10,0	7,5
-	#2				1197	5544	2,0842	4,1	3,1			ND	ND	ND	10,4	7,7
-	#1				538	6532	2,4556	NC				ND	ND	ND	ND	
-	#2				551	6689	2,5147	NC				ND	ND	ND	ND	
ECU 10	#1		E.S. Ferrari	25,7	19,2						32,0	23,9				
-	#1				637	8166	3,0699	NC				ND	ND	ND	ND	
-	#2				629	8176	3,0737	NC				ND	ND	ND	ND	
-	#1				1933	5483	2,0613	11,9	8,9			ND	ND	ND	24,5	18,3
-	#2				1892	5484	2,0617	11,5	8,6			ND	ND	ND	24,1	18,0
ECU 11	#1	E.S. Cotocollao		34,2	25,5						42,9	32,0				
-	#1				994	4119	1,5485	6,0	4,5			ND	ND	ND	13,6	10,2
-	#2				1003	4362	1,6398	5,4	4,1			ND	ND	ND	11,8	8,8
-	#1				944	5233	1,9673	2,9	2,1			ND	ND	ND	6,5	4,8
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	
ECU 12	#1		E.S. Batán 2	26,8	20,0						33,5	25,0				
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
ECU 13	#1	E.S. Panamericana km 7		34,9	26,0						44,0	32,8				
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
ECU 14	#1		E.S. Panamericana km 8	74,0	55,2						95,0	70,9				
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
ECU 15	#1	E.S. Sol Naciente		35,3	26,3						43,8	32,7				
-	#1				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND
-	#2				ND	ND	ND	ND	ND			ND	ND	ND	ND	ND

8.6. Ejemplo de cromatogramas obtenidos en el análisis de BTEX



** CALCULATION REPORT ** * WARNING * CALERROR: 2

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
1	3	2.712	5599	1679	V			
	4	2.832	36257	7297	V			
	5	2.963	8277	2258	V			
	6	3.159	2770	791	V			
	7	3.274	155244	35266	V			
	8	3.517	85107	17738	V			
	9	3.639	16451	4328	V			
	10	3.801	35463	5869	SV			
	12	4.111	196889	20564	V			
	13	4.565	52635	8479	V			
	14	4.864	19311	3661	V			
	15	5.058	3242	594	V			
	16	5.247	21109	3949	V			
	17	5.506	6130	657	V			
	18	5.608	2066	383	V			
	19	5.709	1883	330	V			
	20	5.892	2495	448	V			
	21	6.093	19141	2970	V			
	23	6.901	2214	352	V			
	24	7.324	15952	1386	V	Benceno		
	25	7.598	5945	964	V			
	26	7.967	3799	586	V			
	27	8.072	3297	599	V			
	28	8.187	5056	722	V			
	29	8.55	5066	832	V			
	30	8.797	1595	168	V			
	32	9.281	513	76	V			
	33	9.629	6803	971	V			

34	9.971	1032	96	V	
35	10.135	1146	182	V	
36	10.366	913	128	V	
37	10.738	1291	167		
39	11.518	2614	337		
40	11.896	9041	1370	V	Tolueno
41	12.243	2128	213	V	
42	12.719	846	87	V	
43	12.91	1083	119	V	
44	13.247	2717	372	V	
47	14.397	1896	282		
49	15.151	4505	706		Butil acetato
50	15.316	838	133	V	
51	15.51	652	88	V	
55	16.643	1399	194		
56	16.879	1268	168	V	
57	17.062	910	101	V	
58	17.31	3718	489	V	m-xileno + p-xileno
59	18.646	1603	167		o-xileno

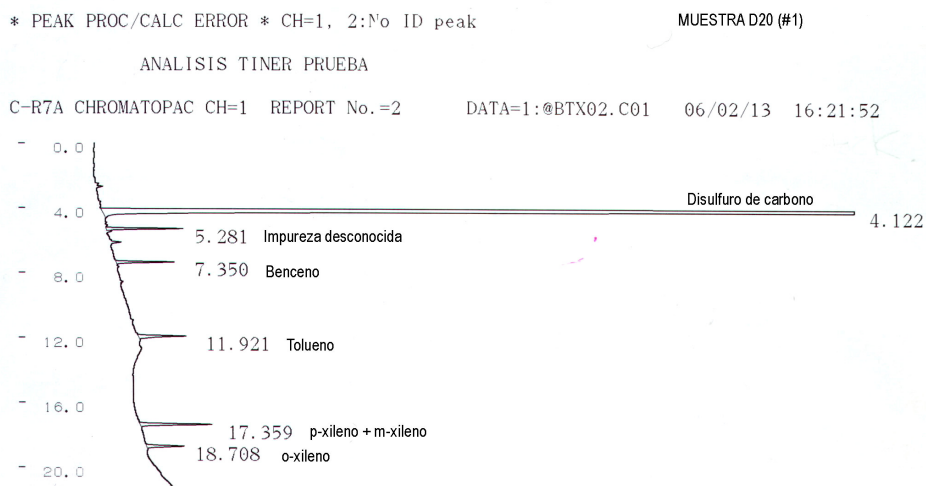
TOTAL	759910	129310	0
-------	--------	--------	---

** PEAK TIME INFORMATION **

CH	PKNO	R. TIME	I. TIME	F. TIME	A/H(sec)	RRT	NAME
1	1	2.483	2.425	2.542	4.47		
	2	2.578	2.542	2.633	3.14		
	3	2.712	2.633	2.775	3.34		
	4	2.832	2.775	2.942	4.97		
	5	2.963	2.942	3.108	3.67		
	6	3.159	3.108	3.208	3.5		
	7	3.274	3.208	3.408	4.4		
	8	3.517	3.408	3.617	4.8		
	9	3.639	3.617	3.708	3.8		
	10	3.801	3.708	4.025	6.04		
	11	3.955	3.925	4.025	3.18		
	12	4.111	4.025	4.35	9.57		
	13	4.565	4.35	4.775	6.21		
	14	4.864	4.775	5	5.28		
	15	5.058	5	5.167	5.46		
	16	5.247	5.167	5.383	5.35		
	17	5.506	5.383	5.575	9.33		
	18	5.608	5.575	5.675	5.39		
	19	5.709	5.675	5.817	5.71		
	20	5.892	5.817	5.967	5.57		
	21	6.093	5.967	6.367	6.44		
	22	6.639	6.558	6.733	5.29		
	23	6.901	6.733	7.033	6.29		
	24	7.324	7.033	7.492	11.51		
	25	7.598	7.492	7.775	6.17		
	26	7.967	7.775	8.025	6.49		
	27	8.072	8.025	8.125	5.51		
	28	8.187	8.125	8.4	7		
	29	8.55	8.4	8.692	6.09		
	30	8.797	8.692	9.042	9.51		
	31	9.119	9.042	9.192	6.03		
	32	9.281	9.192	9.425	6.74		
	33	9.629	9.425	9.792	7		
	34	9.971	9.792	10.05	10.75		
	35	10.135	10.05	10.258	6.31		
	36	10.366	10.258	10.558	7.13		
	37	10.738	10.567	10.908	7.72		
	38	11.271	11.2	11.392	5.65		
	39	11.518	11.4	11.767	7.76		
	40	11.896	11.767	12.108	6.6		
	41	12.243	12.108	12.5	10.01		
	42	12.719	12.5	12.8	9.7		
	43	12.91	12.8	13.058	9.13		
	44	13.247	13.058	13.458	7.3		

45	13.64	13.458	13.767	9.18
46	14.031	13.95	14.25	6.41
47	14.397	14.258	14.617	6.72
48	14.732	14.617	14.85	6.11
49	15.151	14.975	15.267	6.38
50	15.316	15.267	15.425	6.28
51	15.51	15.425	15.683	7.45
52	15.914	15.733	16.025	7.02
53	16.1	16.025	16.183	6.91
54	16.249	16.183	16.367	6.03
55	16.643	16.5	16.767	7.22
56	16.879	16.767	16.983	7.55
57	17.062	16.983	17.175	9.05
58	17.31	17.175	17.592	7.61
59	18.646	18.475	18.792	9.59
60	19.952	19.85	20.117	6.64
61	20.46	20.308	20.567	6.72

8.7. Ejemplo de cromatograma obtenido para la calibración (Muestra D20).



** CALCULATION REPORT ** * WARNING * CALERROR: 2

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
1	3	4.122	184555	20003				Disulfuro de carbono

r2-1

4	5.281	2236	406	Impureza desconocida
7	7.35	1715	308	Benceno
8	11.921	1734	251	Tolueno
9	17.359	2555	379	p-xileno + m-xileno
10	18.708	1341	197	o-xileno
TOTAL		194135	21544	0

** PEAK TIME INFORMATION **

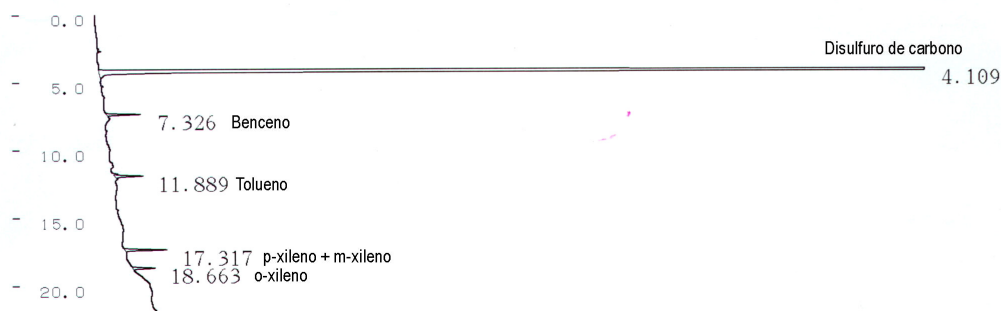
CH	PKNO	R. TIME	I. TIME	F. TIME	A/H(sec)	RRT	NAME
1	1	2.492	2.433	2.642	8.11		
	2	2.685	2.642	2.8	4.55		
	3	4.122	4.017	4.642	9.23		
	4	5.281	5.175	5.408	5.51		
	5	5.475	5.408	5.575	5.92		
	6	6.126	6.033	6.267	5.58		
	7	7.35	7.225	7.525	5.57		
	8	11.921	11.792	12.142	6.9		
	9	17.359	17.2	17.542	6.75		
	10	18.708	18.558	18.883	6.81		

* PEAK PROC/CALC ERROR * CH=1, 2:No ID peak
 * PEAK PROC/CALC ERROR * CH=1, 2:No ID peak

MUESTRA D20 (#2)

ANALISIS TINER PRUEBA

C-R7A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=1 DATA=1:@BTX03.C00 06/02/14 09:50:08



** CALCULATION REPORT ** * WARNING * CALERROR: 2

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
1	3	4.109	188098	20307	S	Disulfuro de carbono		
	6	7.326	1781	320		Benceno		
	8	11.889	1735	271	V	Tolueno		
	9	17.317	2701	404		p-xileno + m-xileno		
	10	18.663	1414	213		o-xileno		
TOTAL			195728	21516			0	

** PEAK TIME INFORMATION **

CH	PKNO	R. TIME	I. TIME	F. TIME	A/H(sec)	RRT	NAME
1	1	2.483	2.433	2.633	7.23		
	2	2.67	2.633	2.808	4.38		
	3	4.109	3.975	4.692	9.26		
	4	4.575	4.517	4.633	3.11		
	5	5.246	5.167	5.35	4.84		
	6	7.326	7.192	7.475	5.56		
	7	11.733	11.633	11.8	6.2		
	8	11.889	11.8	12.075	6.4		
	9	17.317	17.158	17.475	6.68		
	10	18.663	18.508	18.808	6.63		

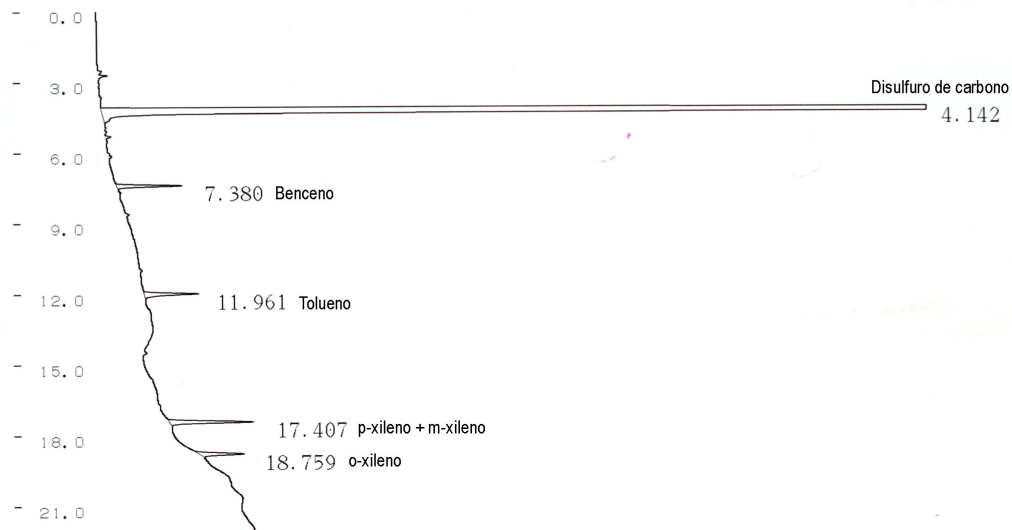
ANALISIS TINER PRUEBA

MUESTRA D20 (#3)

C-R7A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=4

DATA=1:@BTX03.C03

06/02/14 10:59:46



** CALCULATION REPORT ** * WARNING * CALERROR: 2

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
1	3	4.142	190718	20172	S			Disulfuro de carbono
	6	7.38	1783	314				Benceno
	7	11.961	1756	264				Tolueno
	8	17.407	2767	407				p-xileno + m-xileno
	9	18.759	1488	216				o-xileno
TOTAL			198511	21373			0	

** PEAK TIME INFORMATION **

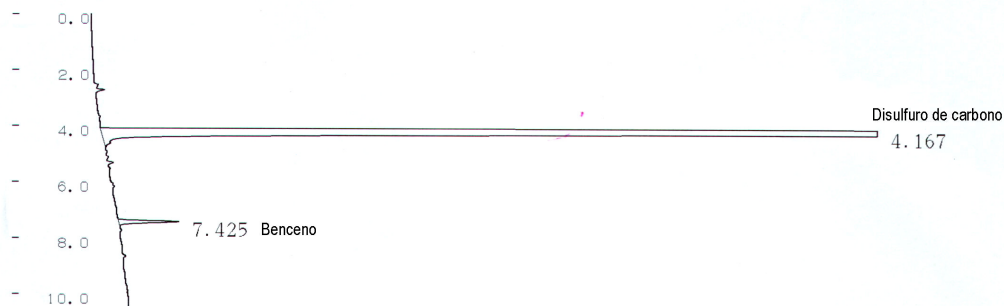
CH	PKNO	R.TIME	I.TIME	F.TIME	A/H(sec)	RRT	NAME
1	1	2.5	2.45	2.65	6.99		
	2	2.695	2.65	2.833	4.46		
	3	4.142	4.033	4.725	9.45		
	4	4.608	4.558	4.675	3.23		
	5	5.288	5.2	5.4	4.89		
	6	7.38	7.25	7.55	5.68		
	7	11.961	11.842	12.167	6.64		
	8	17.407	17.242	17.583	6.81		
	9	18.759	18.575	18.9	6.89		

* PEAK PROC/CALC ERROR * CH=1, 2:No ID peak

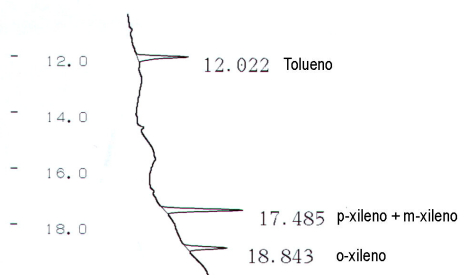
MUESTRA D20 (#4)

ANALISIS TINER PRUEBA

C-R7A CHROMATOPAC CH=1 REPORT No.=5 DATA=1:@BTX05.C01 06/02/14 15:30:28



r5-1



** CALCULATION REPORT ** * WARNING * CALERROR: 2

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
1	3	4.167	188257	19686	S	Disulfuro de carbono		
	6	7.425	1770	307		Benceno		
	7	12.022	1769	259		Tolueno		
	8	17.485	2678	397		p-xileno + m-xileno		
	9	18.843	1371	205		o-xileno		
TOTAL			195843	20854			0	

** PEAK TIME INFORMATION **

CH	PKNO	R. TIME	I. TIME	F. TIME	A/H(sec)	RRT	NAME
1	1	2.517	2.458	2.667	8.12		
	2	2.711	2.667	2.833	4.3		
	3	4.167	4.058	4.758	9.56		
	4	4.65	4.583	4.725	3.84		
	5	5.321	5.25	5.425	4.94		
	6	7.425	7.292	7.608	5.77		
	7	12.022	11.9	12.225	6.82		
	8	17.485	17.317	17.642	6.74		
	9	18.843	18.675	18.983	6.69		

8.8. Ejemplo de cálculo de la concentración de BTEX corregida.

A continuación se describe el proceso de cálculo que se ha seguido para determinar la concentración de benceno en la Muestra 18-Repetición #1 (E.S. Faconza. Ver Anexo 8.5).

Los resultados de la cromatografía son los siguientes:

Área de pico (AP) en la Muestra 18-Repetición #1 (adim) = 2405

Área del Estándar Interno (AEI) en la Muestra 18-Repetición #1 (adim) = 6434

Área del Estándar Interno en el blanco (adimensional) = 2660

Para el cálculo de la concentración de BTEX es necesario corregir en área de pico obtenida en el cromatograma para poderla sustituir en la ecuación de la recta de calibración. Para esto se define el Factor de Corrección del Estándar Interno (FCI) como sigue:

$$FCI = \frac{AEI_b}{AEI}$$

Donde

FCI = Factor de corrección del estándar interno (adimensional).

AEI = Área de pico del estándar interno (adimensional).

AEI_b = Área del estándar interno en el blanco de disulfuro de carbono utilizado para la extracción de los compuestos orgánicos volátiles (adimensional).

Para determinar el área de cálculo se utiliza la siguiente fórmula:

$$AC = AP \cdot FCI$$

Donde

AP = Área de pico de cada uno de los BTEX (adimensional).

AC = Área de cálculo (adimensional).

Sustituyendo AC en la ecuación de la recta de calibración para cada BTEX obtenemos la masa de compuesto retenida en los tubos de adsorción pasiva. A continuación se detalla el cálculo de la concentración de benceno para la muestra indicada anteriormente.

La ecuación de la recta de calibración de benceno es la siguiente (Ver Gráfico 18):

$$M_{Benceno} = 0.0038 \cdot AC - 1.6892$$

Donde M_{benceno} es la masa de benceno retenida en el tubo de absorción pasiva en μg .

Sustituyendo en las ecuaciones anteriores tenemos que:

$$FCI = \frac{AEI}{AEI_b} = \frac{6424}{2660} = 2.419$$

$$AC = \frac{AP}{FCI} = \frac{2405}{2.419} = 994.2$$

$$M_{\text{Benceno}} = 0.0038 \cdot AC - 1.6892 = (0.0038)(993.2) - 1.6892 = 2.089$$

A partir de la masa de benceno es posible determinar la concentración en aire a partir de la ecuación suministrada por el fabricante:

$$C_{\text{BTX}} = \frac{Q \cdot 10^6}{SR \cdot t}$$

Donde:

- C_{BTX} = Concentración de BTEXs en aire [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] a 25°C y 1 atm.
- Q = Cantidad de BTEXs en los tubos [μg]
- t = Tiempo de exposición [min]
- SR = Tasa de muestreo pasivo [ml/min]
- $SR_{\text{benceno}} = 6.44 \text{ ml/min}$

Para la muestra analizada tenemos que $t = 17.149$ días.

Sustituyendo en la expresión de la concentración tenemos que:

$$C_{\text{BTX}} = \frac{Q \cdot 10^6}{SR \cdot t} = \frac{2.089(\mu\text{g})10^6 \left(\frac{\text{mL}}{\text{m}^3} \right)}{6.44 \left(\frac{\text{mL}}{\text{min}} \right) 17.149(d) 24 \left(\frac{h}{d} \right) 60 \left(\frac{\text{min}}{h} \right)} = 13.14 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ a } 25^\circ\text{C y } 1 \text{ atm}$$

Las condiciones ambientales promedio de Quito son 15°C y 0.72 atm. Por lo tanto, es necesario corregir la concentración anterior a las condiciones locales de presión y temperatura. Para esto, hemos considerado que el aire se comporta como un gas ideal:

$$pV = nRT$$

Donde

- p = Presión de la mezcla (atm)
- V = Volumen de la mezcla (L)
- n = Número de moles de la mezcla (mol).

R = Constante de los gases ideales = 0.082 (atm·L)(mol·K)

T = Temperatura (K)

Considerando dos condiciones de presión y temperatura (p_1, T_1) y (p_2, T_2) podemos escribir:

$$\frac{p_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{p_2 V_2}{n_2 T_2} = R$$

La concentración molar en aire puede expresarse como $C = \frac{n}{V}$

Despejando de la expresión anterior tenemos que:

$$c_2 = c_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right) \left(\frac{T_1}{T_2} \right)$$

Sustituyendo los valores de presión y temperatura iniciales (1 atm y 25°C) y finales (0,72 atm y 15°C) tenemos lo siguiente:

$$c_2 = 13.14 \left[\frac{0.72 \text{ atm}}{1.00 \text{ atm}} \right] \left[\frac{(25 + 273.15) \text{ K}}{(14.98 + 273.15) \text{ K}} \right] = 9.78 \mu\text{g} / \text{m}^3 \text{ a } 14.98^\circ \text{C y } 0,72 \text{ atm}$$