



EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A SOLVENTES ORGÁNICOS
(BTXs) EN TRABAJADORES DE ESTACIONES DE GASOLINA EN
LA CIUDAD DE SINCELEJO

HÍVER MANUEL PÉREZ VARGAS

Trabajo de grado para optar al título de Magíster en Biología

Director:
MSc. Jhon Víctor Vidal Durango

UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE EDUCACIÓN Y CIENCIAS
Sincelejo
2017

Notas de aceptación:

Firma de presidente del jurado

Firma del jurado 2

Firma del jurado 3

Dedicatoria

Principalmente a Dios, todopoderoso, creador de todo cuanto existe, porque sin él nada soy.

A mi familia, quienes a pesar de las adversidades siempre han estado presentes cuando los he necesitado.

A mis profesores, quienes han sido mi modelo a seguir en mi vida académica, a cada uno de los compañeros que han hecho parte de mi vida en algún momento y que por razones diversas hoy no nos vemos.

A mi madre, Mabel Vargas y mi padre Eulises Pérez, quienes me brindaron lo necesario para impulsar en mí una formación integral.

A mis sobrinos Mauro, Anny, Danna e Isaías, quienes con su inocencia me han regalado hermosos momentos que atesoraré por siempre.

A mis abuelos maternos, que seguramente desde el cielo se alegran por mis logros personales, y a los paternos quienes aún tengo la dicha de ver a mi lado.

A Cindy Carolina, que me ha impulsado a seguir hacia adelante a pesar de los momentos grises.

Agradecimientos

A Dios por ser mi motor, y permitirme esta oportunidad de crecer a nivel académico y personal.

A mi familia, por su apoyo incondicional en cada uno de mis proyectos.

A mis compañeros de clases, de quienes aprendí aspectos positivos en su formación profesional y personal.

A cada uno de mis docentes, quienes pusieron sus conocimientos y experiencias a mi servicio y al de mis compañeros de clase.

A todas y cada una de las personas que de alguna manera han contribuido a mí en mi formación profesional y personal.

A la coordinación de la maestría en Biología de la Universidad de Sucre, por su gestión en pro de nuestro beneficio como estudiantes.

A mis evaluadores Adolfo Consuegra Solórzano y José Luis Marrugo Negrete, por sus oportunos aportes hacia el mejoramiento del presente informe de investigación.

Al MSc. Jhon Victor Vidal Durango, quien se ha convertido en el principal mentor en mi carrera profesional, y ha dedicado parte de su tiempo para instruirme durante la ejecución de este trabajo de investigación.

A todos ellos, ¡muchísimas gracias por todo!

CONTENIDO

	Pág.
1. MARCO REFERENCIAL.....	15
1.1 Características de la gasolina	15
1.2 Compuestos orgánicos volátiles y grupo de los BTXs.....	16
1.3 Patologías asociadas a BTXS.....	17
1.4 Biomarcadores de metabolitos urinarios.....	18
1.5 Índices de exposición biológica (BEI) e índices de exposición permisible (TLV).....	19
1.6 Investigaciones sobre BTXs en el contexto internacional y en Colombia.....	22
2 METODOLOGÍA	24
2.1 Tipo y sitio de estudio.....	24
2.2 Población y muestra	24
2.3 Aplicación de la encuesta higiénica ocupacional.....	24
2.4 Toma de muestras y análisis de laboratorio.	24
2.4.1 Muestreo de BTXs en aire.....	24
2.4.2 Muestreo para determinación de metabolitos urinarios de BTXs.....	25
2.5 Análisis de la información	26
3 RESULTADOS.....	27
3.1 Caracterización de la población en estudio.....	27
3.1.1 Características sociodemográficas	27
3.1.2 Experiencia laboral en las EDS.....	29
3.1.3 Percepción de la exposición ocupacional a disolventes orgánicos y condiciones laborales	31
3.1.4 Uso de elementos de protección por parte de los trabajadores de las EDS.....	32
3.2 Niveles de BTXs en muestras de aire personal de trabajadores de las EDS en Sincelejo, Sucre.....	33
3.3 Análisis de metabolitos urinarios de BTXs.....	35
3.4 Percepción de síntomas asociados a exposición a BTXs	39
4 DISCUSIÓN	41
4.1 Descripción de contexto en la ciudad de Sincelejo.....	41

4.2	Factores de riesgo en la población en estudio.....	42
4.3	BTXs en aire personal de trabajadores expuestos.....	44
4.4	Metabolitos urinarios de BTXS en la población expuesta.....	45
5	CONCLUSIONES.....	47
6	RECOMENDACIONES.....	48
7	BIBLIOGRAFÍA.....	49

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Porcentaje de hombres y mujeres encuestados en las EDS de la ciudad de Sincelejo. .	27
Figura 2. Nivel de escolaridad de los trabajadores de las EDS de la ciudad de Sincelejo.	28
Figura 3. Combustible dispensado por los trabajadores de las EDS de la ciudad de Sincelejo. Diesel (ACPM), Gasolina (GSO) y Gas Natural (GAS).....	28
Figura 4. Experiencia laboral en los trabajadores encuestados en las EDS de la ciudad de Sincelejo según sexo.	29
Figura 5. Combustible dispensado por los trabajadores de las EDS de la ciudad de Sincelejo para mujeres y hombres. Diesel (ACPM), Gasolina (GSO) y Gas Natural (GAS).	30
Figura 6. Combustible dispensado por los trabajadores de las EDS de la ciudad de Sincelejo....	30
Figura 7. Concentraciones de benceno en aire de las EDS y grupo control en la ciudad de Sincelejo.....	34
Figura 8. Concentraciones de tolueno en aire de las EDS y grupo control en la ciudad de Sincelejo.....	35
Figura 9. Concentraciones de fenol en orina de trabajadores de las EDS en Sincelejo, Sucre.....	36
Figura 10. Concentraciones de ácido hipúrico en orina de trabajadores de las EDS en Sincelejo, Sucre.	37
Figura 11. Concentraciones de ácido 3 metil hipúrico en orina de trabajadores de las EDS en Sincelejo, Sucre.....	38
Figura 12. Concentraciones de ácido 4 metil hipúrico en orina de trabajadores de las EDS en Sincelejo, Sucre.....	38

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Valores límite de exposición laboral para BTXs (tomado de Rosell, et al. 2007).....	21
Tabla 2. Valores BEIs recomendados según, ACGIH, 2007.	21
Tabla 3. Los valores de TLV de la ACGIH vigentes en el año 2007 para los agentes del grupo BTX.....	22
Tabla 4. Descripción de la percepción de los factores de riesgo según la percepción de los trabajadores de las EDS de la ciudad de Sincelejo.	32
Tabla 5. Uso de elementos de protección personal en los trabajadores encuestados en las EDS de la ciudad de Sincelejo.	33
Tabla 6. Concentraciones de BTXs en aire (mg/m^3) de las EDS y grupo control en la ciudad de Sincelejo.....	34
Tabla 7. Concentraciones de metabolitos urinarios evaluados en los trabajadores de las Estaciones de Servicio en la ciudad de Sincelejo.	35
Tabla 8. Porcentaje de casos en los que se sobrepasan los límites de referencia.	36
Tabla 9. Percepción de síntomas presentados por los trabajadores de las EDS encuestados.	39

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Bombas de muestreo personal Gilian® Modelo LFS – 113DC utilizadas para monitoreo de BTXs en aire.....	54
Anexo 2. Evidencias de los muestreos realizados en las EDS de la ciudad de Sincelejo, Sucre..	55
Anexo 3. Pruebas de normalidad de concentraciones de metabolitos urinarios de BTXs.....	58
Anexo 4. Pruebas de comparación no paramétricas de Kruskal Wallis para los datos de metabolitos de BTXs.....	59
Anexo 5. Prueba W de Mann -Whitney (Wilcoxon)	61

RESUMEN

Los BTXs son compuestos orgánicos volátiles (COVs) conformado por el benceno, tolueno e isómeros del xileno, que son componentes principales de la gasolina, y pueden ocasionar efectos nocivos en la salud de las personas expuestas. En Sincelejo existe una cantidad importante de estaciones de servicio de gasolina, en las cuales los trabajadores se exponen a diario a estos compuestos, situación que se acentúa debido a que en la mayoría de los casos, esta actividad se ejerce sin las medidas de protección necesaria; por tal razón, este proyecto tuvo como objetivo evaluar la exposición ocupacional a BTXs mediante la captura y análisis de muestras ambientales y biomarcadores de exposición (concentraciones de metabolitos urinarios) en trabajadores de las estaciones de servicio de gasolina.

En esta investigación se realizó un muestreo intencionado para un total de 89 trabajadores de las estaciones de gasolina (EDS) en la ciudad de Sincelejo, de ellos, se escogieron 15 trabajadores para realizar análisis de benceno, tolueno y xilenos en aire personal, y de metabolitos urinarios de estos compuestos (ácido hipúrico para tolueno, 3 metil hipúrico y 4 metil hipúrico para xilenos).

Se pudo establecer que las concentraciones de benceno en personas expuestas sobrepasan los niveles de referencia establecidos por la AGCIH (2007); así como para los metabolitos urinarios de tolueno y xileno, situación que se acentúa debido al no uso de elementos de protección personal, lo que evidencia el riesgo potencial de alteraciones en la salud a los que están expuestos los trabajadores de las estaciones de gasolina en la ciudad de Sincelejo por la presencia de BTXs en aire y metabolitos urinarios.

Palabras Claves: Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs), BTXs, Gasolina, estaciones de servicio (EDS), metabolitos urinarios.

ABSTRACT

BTXs are volatile organic compounds (VOCs) formed by benzene, toluene and xylene isomers, are major components of gasoline, which can cause harmful effects on the health of people exposed. In Sincelejo there is a significant number of petrol service stations, in which workers are daily exposed to these compounds, situation that is accentuated because in most cases this activity is carried out without the necessary protection measures. For this reason, this project aimed to evaluate the occupational exposure to BTXs by capturing and analyzing environmental samples and biomarkers of exposure (concentrations of urinary metabolites) in workers of gasoline service stations.

In this investigation an intentional sampling was carried out for a total of 89 workers of the gas stations (EDS) in the city of Sincelejo, of them, 15 workers were chosen to perform analyzes of benzene, toluene and xylenes in personal air, and urinary metabolites of these compounds (hippuric acid for toluene, 3 methyl hypuric and 4 methyl hypuric for xylenes).

It was established that the concentrations of benzene in exposed persons exceed the reference levels established by the AGCIH (2007); as well as for the urinary metabolites of toluene and xylene, a situation that is accentuated by the non-use of personal protection elements, which shows the potential risk of health alterations to which the workers of the gas stations are exposed in the city of Sincelejo due to the presence of BTXs in air and urinary metabolites.

Key words: Volatile Organic Compounds (VOCs), BTXs, Gasoline, Gas Stations, urinary metabolites.

INTRODUCCIÓN

Los BTXs son un grupo de hidrocarburos aromáticos conformado por el benceno, tolueno y los tres isómeros del xileno (o-xileno, m-xileno y p-xileno). Generalmente son líquidos incoloros o ligeramente amarillos, de bajo peso molecular y fácil volatilización. Sus principales usos radican en la síntesis química y como disolventes en mezclas como la gasolina, pinturas, pigmentos y barnices, entre otros.

La exposición a BTXs está asociada a trastornos no específicos del sistema nervioso debido a su liposolubilidad, son teratógenicos y genotóxicos, al punto que el benceno es reconocido por la IARC, ATSDR y la ACGIH como carcinogénico en humanos. A nivel mundial se ha documentado que la exposición ocupacional a benceno se encuentra asociada a la leucemia aguda no linfocítica y una variedad de otros desórdenes hematológicos (US-EPA, 2006), inmunológicos, neurológicos y reproductivos (ATSDR, 2007), incluso, por ser cancerígeno, se recomienda que no hay valores límites permisibles de exposición; es decir, el grado de exposición al mismo debe ser cero.

Una de las formas de exposición ocupacional más frecuente a BTXs está dada por actividades relacionadas con la manipulación de petróleo y sus derivados, entre estas se encuentra el desarrollo de labores en las Estaciones de Servicio (EDS). Los trabajadores de las EDS presentan una exposición continua a concentraciones significativas de benceno, tolueno y xilenos (componentes importantes de dicho combustible); lo que genera un riesgo potencial a la salud de dichas personas, en especial, teniendo en cuenta que en la mayoría de los casos, estas actividades se realizan sin el uso de elementos de protección necesarios para evitar o disminuir la cantidad de compuestos orgánicos que ingresan al organismo por vía respiratoria.

Es importante mencionar que el tolueno y xileno aún no han sido relacionados como agentes cancerígenos, sin embargo, su estudio es de gran importancia debido a que son compuestos causantes de una variedad de efectos agudos y crónicos sobre el sistema nervioso central. Asimismo, se estudian junto al benceno debido a las similitudes en su estructura química, y a que comparten las mismas fuentes de exposición ocupacional, en este caso como componentes de la gasolina. Estos efectos se han estudiado mediante varias metodologías de biomonitorio, las

cuales son de vital importancia en el estudio de exposición a agentes contaminantes y que son muy útiles para medir los niveles de exposición a BTXs. Estas técnicas se agrupan en biomarcadores de exposición, de efecto y de susceptibilidad. Para efectos de nuestro interés son importantes los biomarcadores de exposición, los cuales hacen referencia a la presencia de sustancia exógenas o de sus metabolitos en el organismo y consisten en la medición de los niveles de los mismos en fluidos o tejidos corporales (orina, sangre, etc.), y que dan un indicio de la exposición real a estas fuentes de contaminación, y que en un lapso de tiempo pueden ser índice de un efecto grave en la salud de las personas expuestas.

En la ciudad de Sincelejo han proliferado en los últimos años un gran número de estaciones de gasolina, y casi de la misma forma se ha evidenciado una mayor participación del género femenino en estas actividades. Los trabajadores de la EDS se exponen a diario a concentraciones significativas de BTXs, lo que hace necesario evaluar estos niveles, dado que a futuro éstos pueden conllevar a la generación de enfermedades profesionales que van desde efectos agudos como irritación en ojos, piel y mucosas, hasta efectos de mayor importancia como los son daños a nivel del sistema nervioso central e incluso cáncer (en el caso del benceno). A estas consideraciones se suma que dichas actividades generalmente se llevan a cabo sin los elementos de protección necesarios, para evitar la excesiva exposición a dichos solventes. Sin embargo, no se ha evaluado el riesgo químico en los trabajadores de estos establecimientos, por lo que surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es el riesgo en la salud de los trabajadores que laboran en estaciones de gasolina en la ciudad de Sincelejo debido a la exposición a BTXs?

Para responder a esta pregunta se planteó el siguiente objetivo general:

Evaluar la exposición a BTXs en trabajadores de estaciones de gasolina en la ciudad de Sincelejo, mediante la determinación de compuestos orgánicos en aire y biomarcadores urinarios, con el propósito de establecer posibles riesgos en la salud de la población expuesta.

Y como objetivos específicos:

- Caracterizar la población expuesta de acuerdo a la información recolectada en la encuesta higiénica ocupacional.
- Determinar las concentraciones ambientales de BTXs en los sitios de estudio y

relacionarlas con los valores límites tolerables.

- Establecer las concentraciones de metabolitos urinarios de BTXs en trabajadores de gasolina en la ciudad de Sincelejo y relacionarlas con los límites de exposición permisibles.
- Establecer los riesgos asociados a la población trabajadora teniendo en cuenta las concentraciones ambientales y de biomarcadores hallados, así como con las condiciones locativas y operativas de cada sitio de estudio.

Después de la realización de este trabajo de investigación se podrá tener una aproximación real del riesgo ocupacional debido a la exposición a BTXs de los trabajadores de gasolineras de la ciudad de Sincelejo, así como asociar las variables operativas y locativas de estos establecimientos con la exposición ambiental, la concentración de biomarcadores urinarios en trabajadores, lo que permitirá establecer un primer paso hacia el diseño y ejecución de planes y estrategias de vigilancia y control de la exposición a estos contaminantes.

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 Características de la gasolina

Una de las mayores fuentes de contaminación ambiental en el planeta responde al uso de la energía y el acelerado desarrollo industrial, que trae consigo el uso exhaustivo del petróleo y sus derivados, cuyos procesos de explotación, tratamiento y uso contribuyen a la liberación de compuestos que contaminan el ambiente. La gasolina es uno de los derivados del petróleo, cuyos componentes representan un gran potencial de riesgo ambiental debido a su fácil liberación al medio ambiente y amplia toxicidad carcinogénica (García, De la Torre, Garza, & Acuña, 2006). Este combustible se encuentra formado por una mezcla compleja de 200 a 300 hidrocarburos alifáticos y aromáticos que se constituye por fracciones combustibles provenientes de distintos procesos de refinación del petróleo, tales como destilación atmosférica, ruptura catalítica, ruptura térmica, alquilación, reformado catalítico y polimerización (Periago, Zambudio, & Prado, 1997).

Los compuestos aromáticos generan ciertas ventajas técnicas a la gasolina, estas incluyen una reducción de la capacidad antidetonante del combustible, lo que conlleva a un mayor rendimiento del mismo (González & Rojas, 2008; Faust., y otros, 2004). Sin embargo, estos compuestos, especialmente el benceno, tolueno e isómeros del xileno, grupo conocido como BTXs, están relacionados con serias patologías en la población trabajadora expuesta. El xileno ha sido asociado a depresión del sistema nervioso central, irritación dérmica y daños a hígado y riñones (NIOSH, 1994) (Brigden, Labunska, Stringer, Johnston, Santillo, & Ashton, 2000), asimismo, el tolueno se ha relacionado con depresión del sistema nervioso central, así como con irritación en los ojos y efectos narcóticos (Costa, Pasqualeb, Silvarib, Catania, & Barbaro, 2006) (Almirall, Franco, Martínez, Noriega, Villegas, & Méndez, 2000), mientras que el benceno se ha relacionado con efectos nocivos en la médula ósea, daños al sistema inmunológico y es catalogado por la Agencia Internacional para estudios del Cáncer IARC, como cancerígeno comprobado (Green & Rudel, 2003; ICONTEC, 1997).

En Colombia, éste combustible está regulado por la norma ASTM 4814 / NTC 1380 (Norma Técnica Colombiana) y la Resolución 1565 de Diciembre 27 de 2004, donde se indica que la gasolina corriente está diseñada para utilizarse en motores de combustión interna de encendido

por chispa y de baja relación de compresión (menor de 9:1); (MINAMBIENTE, 2004); de igual manera se indica que la gasolina corriente distribuida en el país puede tener como máximo una concentración de compuestos aromáticos de 0,28 ml/ml (benceno=0,01 ml/ml), mientras que la gasolina extra tiene como límites de concentración 0,35 ml aromáticos/ml (0,02 ml/ml de benceno).

1.2 Compuestos orgánicos volátiles y grupo de los BTXS

Los compuestos orgánicos volátiles (COV's) son una clase importante de contaminantes del aire encontrados en la atmósfera de todas las áreas urbanas e industriales (González, Sandoval, García, Ramos, Hernández, & Arriaga, 2009). Dentro de este grupo de compuestos se encuentran los denominados BTXS, que son compuestos aromáticos monocíclicos, que incluyen al benceno, tolueno (que es un derivado mono-sustituido del benceno en el cual un hidrógeno es sustituido por un grupo metilo) y xileno (que es un derivado di-sustituido del benceno, en el cual dos grupos metilo, rempazan a dos hidrógenos de carbonos diferentes, lo que da como origen tres isómeros: o-xileno, m-xileno y p-xileno) (Barbosa, Boanares, Wasner, & Braga, 2010). Las principales fuentes de estos 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 de las series más bajas. Estas compuestos químicas presentan la propiedad de ser afines a sustancias de naturaleza lipídica, tienen un amplio uso en la fabricación de pinturas, colas o adhesivos, desengrasantes, agentes limpiadores, en la producción de polímeros, plásticos, textiles, productos agrícolas, farmacéuticos y como componente importante de la gasolina. (González, Sandoval, García, Ramos, Hernández, & Arriaga, 2009).

A temperatura ambiente, los BTXS son líquidos transparentes, volátiles e inflamables, que forma mezclas explosivas con el aire, poseen además olor dulce e irritante característico en compuestos con anillos bencénicos. El Benceno es un líquido incoloro o amarillo claro, su punto de fusión es de 5.5 °C y ebulle a 80.1 °C, es un compuesto altamente inflamable y se volatiliza muy rápido en el aire (presión de vapor 75 mmHg a 25 °C), se disuelve poco en agua por sus características no polares, aunque es muy soluble en la mayoría de solventes orgánicos. Por su parte el xileno es un líquido incoloro, de olor dulce y altamente inflamable, se encuentra naturalmente en el petróleo y

en alquitrán (EPA, 2003); los puntos de fusión para sus diferentes isómeros, orto, meta y para-xileno son -25, -48, y 13 °C respectivamente, mientras que sus puntos de ebullición en el mismo orden son 144, 139 y 138 °C y presentan una presión de vapor media de 6.0 mmHg a 20 °C (EPA, 1994). El tolueno está presente en el petróleo crudo, que es por mucho la fuente principal de donde se obtiene; también se genera en el proceso de manufactura del coque a partir de carbón formando parte del alquitrán y como producto del metabolismo del árbol de Tolú donde se encuentra formando resinas (ATSDR, 2001). Presenta temperaturas de fusión y ebullición de -95 °C y 110.6 °C respectivamente, y una presión de vapor de 22 mmHg a 20 °C. Debido al carácter volátil de los compuestos mencionados, estos pueden libremente a la atmosfera y ser respirados por personas no expuestas directamente a la fuente de emisión.

A nivel toxicológico, la problemática asociada a este tipo de compuestos está dada por el carácter liposoluble de dichos compuestos, característica que les proporciona alta afinidad por los tejidos grasos del sistema nervioso central, periférico y de la médula ósea, donde sus propiedades nocivas generan alteraciones en la salud relacionadas con dichos sistemas. Lo que los hace objeto de numerosos estudios a nivel mundial, puesto que son un peligro potencial para las personas expuestas, producto de sus actividades laborales o por su cercanía a fuentes de emisión de los mismos.

1.3 Patologías asociadas a BTXS

Las propiedades físicoquímicas de los solventes como sus bajos pesos moleculares y altas presiones de vapor, facilitan su volatilización e ingreso a las personas expuestas a través de vía inhalatoria, aunque también puede estar dada por vía cutánea pero en menor proporción (MINAMBIENTE, 2004); una vez dentro del organismo, estos compuestos son rápidamente adsorbidos y transportados a la sangre (Costa, Pasqualeb, Silvarib, Barbaro, & Catania, 2006). En el organismo se distribuyen a través de los vasos sanguíneos y por ser lipofílicos se acumulan en los tejidos de acuerdo al contenido de grasa (tejido adiposo, sistema nervioso, hígado) (Rendón & Nieto, 2008) y se distribuyen a los órganos con gran flujo sanguíneo como músculo cardíaco y estriado (Ridway, Nixonb, & Leachb, 2003). De manera particular, las personas obesas tienden a acumular mayor cantidad de solvente y eliminarlo más lentamente; además, casi

todos los solventes orgánicos pueden cruzar la barrera placentaria y también se les encuentra en la leche materna (Piscoya, 2000).

El metabolismo de los BTXs se realiza a nivel hepático, por medio del sistema de oxidación microsomal y las enzimas del citocromo P450; es allí donde los solventes se pueden biotransformar a sustancias más tóxicas y afectar los sistemas respiratorio, cardiovascular y nervioso, así como generar efectos hepáticos, renales e incluso mutagénicos y carcinogénicos (Ramos, González, Olaya, Pardo, & Trillos, 2001) (Kalantzi, y otros, 2004). Las rutas principales de eliminación de estos compuestos es a través de la espiración (de compuestos sin metabolizar), la eliminación de metabolitos por la orina, o una combinación de ambos (Gotohda, Tokunagaa, Kitamura, & Kubo, 2007).

En cuanto a los efectos en la salud, podemos señalar que cada uno de los compuestos que conforman el grupo de los BTXs presenta alteraciones similares; sin embargo, algunas alteraciones son propias de cada uno de ellos. El tolueno puede generar afecciones al sistema reproductor, hipopigmentación, esclerodermia, ataxia cerebelosa, temblores severos y persistentes, discromatopsia, alteraciones en los potenciales evocados visuales con prolongación de las latencias, alteraciones en la sustancia blanca del tallo cerebral y cerebelo, ganglios basales y en la circunvolución del cíngulo (Ramos, González, Olaya, Pardo, & Trillos, 2001). En cuanto al Xileno, se ha documentado ampliamente que la exposición al mismo puede provocar toxicidad hepática y renal reversible, excitación del SNC seguido por narcosis, cambios olfativos, irritación del tracto respiratorio y edema pulmonar no cardiogénico; el contacto directo puede provocar sequedad, eritema, y piel agrietada (Ogino, Uchiho, Doukyu, Yasuda, Ishimi, & Ishikawa, 2007). Por otra parte, la exposición prolongada de benceno produce poliglobulia, anemia aplásica, leucemia y daños en la médula ósea (Saillantait, Gallissot, Morel, & Bonnet, 2003); esta sustancia está clasificada en el grupo I como carcinógeno en humanos según la International Agency for Research on Cancer (IARC) 1994 (Holecková, Piesová, Sivikova, & Dianovsk, 2004).

1.4 Biomarcadores de metabolitos urinarios

Los biomarcadores de exposición se conocen como indicadores de la dosis interna (metabolitos en orina por ejemplo) por exposición reciente a contaminantes, en los cuales la suma de las

diferentes vías de exposición proporciona información acerca de la biodisponibilidad o absorción de estos contaminantes en el ser humano (Martinez, 2006). Es importante conocer la ruta metabólica de cada compuesto para determinar los posibles efectos en la salud teniendo en cuenta los valores de referencia. El benceno es absorbido en un 80% y se excreta como fenol, ácido s-fenilmercaptúrico y ácido mucónico, siendo eliminado por orina aproximadamente en 48 horas (Pérez, Laffon, & Méndez, 2007).

Por otra parte, la principal vía de excreción del tolueno (75 % es absorbido) es la rápida oxidación a ácido benzoico, el cual es conjugado con glicina y excretado como ácido hipúrico en orina dentro de las 12 horas de exposición; dentro de límites razonables, la excreción del ácido hipúrico en orina es proporcional a la exposición al tolueno, es así que una exposición de 200 ppm de tolueno, resultaría en la excreción de 3,5 g de ácido hipúrico por litro de orina, con gravedad específica de 1,016 (Verma & Gomber, 2009). Por otra parte, el 95% del xileno absorbido tiene como ruta metabólica principal la oxidación de los ácidos metilbenzoicos, conjugados principalmente glicina para formar los ácidos o-, m- y p-metilhipúricos (ácidos tolúricos) que se excretan en la orina (Gotohda, Tokunaga, & Kubo, 2005) (Viaene, Vermier, & Godderis, 2009).

Debido a lo anterior, la exposición real a BTXs por parte de los trabajadores se puede relacionar por un análisis de los metabolitos urinarios (para benceno, fenol y ácido s-fenilmercaptúrico; para tolueno, ácido hipúrico; y para xileno, ácido metilhipúrico) y establecer los efectos clínicos a que se pueden abocar los trabajadores (Gotohda, Tokunaga, & Kubo, 2005), al mismo tiempo es importante resaltar que la evaluación a la exposición laboral a agentes químicos, consiste en estimar la magnitud del riesgo y sus características, permitiendo decidir sobre las medidas preventivas que ayuden a controlar la exposición de los trabajadores a dichas sustancias (Viaene, Vermier, & Godderis, 2009).

1.5 Índices de exposición biológica (BEI) e índices de exposición permisible (TLV)

Para determinar riesgos asociados a la exposición a contaminantes, a nivel mundial se manejan valores de concentraciones permisibles por las autoridades de salud e higiene industrial, las cuales varían según la normativa y reglamentación para cada país o región. Según la ACGIH

(American Conference of Governmental Industrial Hygienists) 2007, los índices de exposición biológicos (BEI), son valores de referencia de determinados productos químicos en el medio biológico, que se utilizan como lineamientos para la evaluación del riesgo potencial para la salud en la práctica de la higiene industrial (Viaene, Vermier, & Godderis, 2009).

Los BEI representan los niveles de la sustancia química, de uno o más de sus metabolitos, o un cambio químico reversible inducido por la sustancia, que se pueden encontrar en muestras biológicas tomadas de un trabajador sano, que haya estado expuesto a la sustancia química con un nivel de exposición de límite permisible físico (TLV) (Viaene, Vermier, & Godderis, 2009). La ACGIH 2007, define los TLV como las concentraciones de agentes químicos en el ambiente, bajo las cuales se cree que la mayoría de los trabajadores pueden estar expuestos diariamente sin efecto adverso y se determinan con base en la información obtenida de la experiencia en la industria, estudios experimentales con seres humanos y animales o de una combinación de estas tres fuentes de datos, cuando es posible.

Generalmente, existe una correlación directa entre el BEI y el TLV (ACGIH 2007) (INSHT, 2007). Sin embargo, en algunos casos se presentan inconsistencias entre la información obtenida por monitoreo del aire y la obtenida por monitoreo biológico; dichos cambios, pueden deberse a otras fuentes de exposición no ocupacional del trabajador al mismo agente químico al cual está expuesto ocupacionalmente (Varona, Cárdenas, Conde, Rossi, Idrovo, & Araque, 2001). Otras fuentes de inconsistencia pueden ser la contaminación o deterioro de la muestra después de su recolección y la variabilidad en la efectividad de los dispositivos de protección personal (uniforme de trabajo, guantes, máscaras) (Viaene, Vermier, & Godderis, 2009).

Además de lo anterior, también influyen las condiciones particulares del trabajador, su estado de salud, consumo de medicamentos, edad, género, embarazo, entre otros (Cárdenas, y otros). En Colombia, se recomienda utilizar los valores límite permisibles (TLV) establecidos por la Conferencia Americana Gubernamental de Higienistas Industriales (ACGIH), los cuales han sido adoptados en el país a través de la resolución 2400 de 1979 (Art. 154 Cáp. VIII) del Ministerio del Trabajo y Seguridad Social. La siguiente tabla muestra los TLV al igual que los Índices de Exposición Biológicos (BEI) recomendados, vigentes por la ACGIH (2007) para los agentes

químicos del grupo BTXs. Las tablas 1, 2 y 3 muestran los límites de exposición laboral, valores límites permisibles e índices de exposición biológica según algunas autoridades a nivel mundial.

Tabla 1. Valores límite de exposición laboral para BTXs.

Valores de referencia	BENCENO		TOLUENO		XILENO	
	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	Ppm	mg/m ³
MAK(a)			50	190	100	440
TLV-TWA (b)	0.5 A1(e)	1,60	50	191	100	442
VL (c)	1 C1 (f)	3,25		50	221	
VLA-ED (d)	1 C1, M2 (f)	3,25	50	221	50	221

a) La DFG (Fundación Alemana para la Investigación) no asigna valores límite a las sustancias cancerígenas como es el caso del benceno.

b) ACGIH (Conferencia Americana de Higiene Industriales). Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices. 2006

c) Real Decreto 1124/2000 y Directiva Europea 2000/39/CE

d) INSHT (instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo) Límites de Exposición Profesional 2007.

e) Cancerígeno categoría A1 por la ACGIH

f) Cancerígeno C1 Mutágeno M2

Fuente: Rosell, *et al.* 2007

Tabla 2. Valores BEIs recomendados según, ACGIH, 2007.

Agente químico	Sustancia indicadora y matriz biológica	Valor BEI
Benceno	Fenol	14 mg/L orina (Head, 1998), 25 mcg/g creatinina (ACGIH, 2007)
	Acido t, t- Mucónico en orina.	500 mcg/g creatinina. (ACGIH, 2007)
Tolueno	<i>o</i> -Cresol en orina.	0.5 mg/L orina (Head, 1998)
	Ácido hipúrico en orina.	1400 mg/L orina (OMS, 1982; Bailey, 1998) 1.6 g/g creatinina (ACGIH, 2007)
	Tolueno en sangre.	0.05 mg/L de sangre (ACGIH, 2007)
Xileno	Ácidos metilhipúricos en orina.	Presencia en orina (OMS, 1982; Bailey, 1998)

Fuente: ACGIH, 2007

Tabla 3. Los valores de TLV de la ACGIH vigentes en el año 2007 para los agentes del grupo BTX.

COMPUESTO	TLVs (ppm)		Efecto crítico (TLV) notaciones
	TWA	STEL	Según ACGIH
Benceno	0,5	2.5	Leucemia, A1: Carcinógeno humano confirmado. Piel
Tolueno	20	Presencia	Alteraciones de la visión, efectos sobre la reproducción en la mujer Piel. A4.No clasifica como carcinógeno humano.
Xileno isómeros -o,-m, -p	100	150	Irritación de los ojos y tracto respiratorio superior. Alteraciones del Sistema nervioso central A4: No clasifica como carcinógeno humano.

TWA: media ponderada en el tiempo por un periodo de 8 horas

STEEL: Límite de exposición a corto plazo (exposición continuamente durante un corto periodo de tiempo sin sufrir efectos adversos en la salud)

Fuente: ACGIH, 2007

1.6 Investigaciones sobre BTXs en el contexto internacional y en Colombia

En el mundo existen diversas investigaciones que han evaluado la exposición a BTXs en trabajadores vinculados a estaciones de gasolina, así por ejemplo, se encontró que el 20 % de los trabajadores de gasolineras en El Palmar, provincia de Murcia, España, presentaron exposiciones de benceno por encima de los límites de umbral propuestos por la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH), estipulados en 960 µg /m³, y que esta la concentración de BTXs era significativamente más alta en periodos de mayor temperatura (promedio: 29 °C) (Carballo & Mudri, 2006), asimismo, estudios epidemiológicos sugieren que los pintores vinculados a la International Brotherhood of Painters y Allied Tradesman (IBPAT), que tienen hábitos inadecuados, como fumar, son susceptibles de presentar riesgos genotóxicos debido a la exposición de BTXs (Fonseca, Heredia , & Navarrete, 2010).

En Colombia, el Instituto Nacional de Salud, ha adelantado diversos estudios sobre trabajadores expuestos a BTXs, especialmente en empresas ubicadas en la ciudad de Bogotá, encontrando que los trabajadores más expuestos presentaron niveles elevados de metabolitos de solventes orgánicos en orina (Nieto & Mejia, 2007) (ICONTEC , 1997). Más recientemente, se reportaron valores de fenol y ácido metilhipúrico que superaron los valores permisibles en un 3,3 y 50,8% respectivamente en muestras de orina de trabajadores de distintas fábricas de pintura de Bogotá (Acosta & Ortiz, 1996); asimismo, las concentraciones de benceno en aire de una de las fábricas

estaba por encima de los valores límites permisibles, en este estudio también se determinó que el 49,2% de los trabajadores presentaron micronúcleos y a través del ensayo del cometa se estableció que el 60% de los trabajadores presentaron más del 20% de sus células con rupturas de cadena sencilla en el ADN.

2 METODOLOGÍA

2.1 Tipo y sitio de estudio

La presente es una investigación exploratoria con enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo correlacional, y de corte transversal, que se desarrolló en las EDS de la ciudad de Sincelejo, Sucre, las cuales fueron identificadas mediante observación directa ubicadas en un mapa, con el propósito de establecer los sectores de mayor densidad de gasolineras dentro de la ciudad.

2.2 Población y muestra

La población de este estudio estuvo conformada por los trabajadores de las EDS de la ciudad de Sincelejo, encargados de dispensar el combustible, de los cuales se escogieron 90 personas mediante un muestreo intencionado, para la realización de la encuesta higiénica, 25 de sexo femenino y 65 de sexo masculino. De esta muestra se seleccionaron 15 trabajadores para la toma de muestras por triplicado, y la posterior realización de los análisis de concentraciones de BTXs en aire y medición de metabolitos urinarios.

2.3 Aplicación de la encuesta higiénica ocupacional

A los 90 trabajadores seleccionados se les aplicó una encuesta higiénica, con el propósito de caracterizar la población respecto a datos personales, información laboral, exposición ocupacional a compuestos orgánicos y condiciones laborales, consideraciones sobre salud ocupacional, y percepción de riesgos de higiene ocupacional.

2.4 Toma de muestras y análisis de laboratorio.

2.4.1 Muestreo de BTXs en aire

El monitoreo ambiental de BTX en aire fue realizado con bombas de muestreo personal Gilian[®] Modelo LFS – 113DC (Anexo 1), en las cuales se usaron tubos de carbón activado de 100 mg/50 mg para absorción de vapores. Para los muestreos de aire personal, estos dispositivos fueron ubicados a nivel de la zona respiratoria del trabajador (**Simon, y otros, 2004**), y graduados a un flujo de aire de 0,2 L/min, y puestos a funcionar ubicando el filtro de carbón en la zona respiratoria del trabajador durante 4 horas. Las personas seleccionadas fueron categorizadas en

los siguientes grupos: 1) Hombres, Muestreo Matinal (HMM); 2) Hombres, Muestreo Vespertino (HVM); 3) Mujeres, Muestreo Matinal (MMM) y 4) Grupo Control, Matinal (GCM). Al final del muestro, los filtros de carbón eran sellados con tapones plásticos etiquetados con los datos de cada trabajador (Anexo 2.5), para posteriormente ser almacenados a una temperatura de 5°C.

Estas muestras fueron analizadas luego de un proceso de desorción en una alícuota de 2 ml de disulfuro de carbono, mediante la técnica de cromatografía de gases acoplada a espectrofotometría de masas (MS), según la metodología propuesta por "National Institute for Occupational Safety and Health" (NIOSH) (Método NIOSH 1501, 1997; Método NIOSH 127, 1977), previamente validada en el Laboratorio de Análisis Químico de la Universidad de Córdoba. Los datos de concentración en la alícuota expresadas en $\mu\text{g/mL}$ fueron transformados en mg/m^3 teniendo en cuenta el volumen total de aire muestreado [Flujo de aire (L/min) * Tiempo (min)] para el tiempo correspondiente.

2.4.2 Muestreo para determinación de metabolitos urinarios de BTXs

Para la escogencia de los trabajadores a los cuales se les realizó el análisis de metabolitos urinarios, se tuvo en cuenta el grado de exposición a BTXs, tomando como criterios de selección los siguientes:

- Haber trabajado en la empresa por lo menos durante 1 año.
- No estar expuesto a radiaciones.
- No haber recibido radioterapia o tratamiento con medicamentos quimioterapéuticos.
- No presentar enfermedades infecciosas en el último año.
- No ser fumador.

Por otra parte, como control se tomó un grupo de trabajadores que laboraban en cercanías a las EDS en la ciudad de Sincelejo, que no estuvieran expuestos directamente a BTXs de forma ocupacional, y que tuvieran en común el tránsito de automóviles y el ambiente cercano a la estación respectiva; entre ellos, vendedores de dulces, tintos, minutos, etc., ubicados de forma estacionaria en los alrededores de la fuente de emisión a una distancia no menor a de 100 metros.

Una vez seleccionados los trabajadores posterior a la aplicación de la encuesta higiénica, se procedió a tomar muestras de orina, previo consentimiento informado de cada uno de los

participantes en los muestreos. Para ello se recolectaron 2 muestras de orina de 50 mL cada una, una pre-exposición (48 horas sin exposición a solventes) y una post-exposición (8 horas después de la exposición inicial) (Acosta & Ortiz, 1996).

Los metabolitos urinarios analizados fueron los ácidos hipúrico, 3 metil-hipúrico y 4 metil-hipúrico, los cuales se determinaron por la técnica de cromatografía líquida HPLC con detector UV-VIS (Método NIOSH, 1984). Los valores de referencia en orina de personas no expuestas a solventes orgánicos tenidos en cuenta fueron de hasta 1400 mg/L para el ácido hipúrico y ausencia total para los ácidos metilhipúricos (Bailey, 1998). Como control de calidad analítico se emplearon muestras de referencia de los laboratorios BIO-RAD® y se realizaron correcciones de los resultados por densidad urinaria.

Las evidencias de los muestreos realizados en las EDS de la ciudad de Sincelejo se presentan en el Anexo 2.

2.5 Análisis de la información

Los datos de las concentraciones atmosféricas y metabolitos urinarios serán presentados como media +/- error estándar, mientras que la información obtenida en la encuesta se muestra a través de diagramas de cajas y bigotes, diagramas de sectores y tablas de porcentajes. A los datos procedentes de los análisis de laboratorio se les realizó un test de normalidad (Shapiro-Wilk) y de homogeneidad de varianza (Barlet). Debido a que los datos no siguieron una distribución normal, para comparación entre grupos fueron utilizados los test no paramétricos de comparación de Kruskal Wallis y Mann-Whitney, que compara las medianas entre todos los grupos (HMM, HMV, MMM y HGC). Los datos obtenidos fueron comparados con los valores límite considerados por las organizaciones que regulan la higiene industrial.

3 RESULTADOS

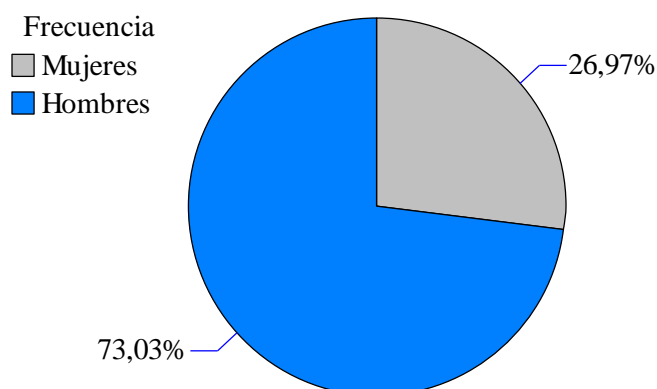
3.1 Caracterización de la población en estudio

3.1.1 Características sociodemográficas

Se encuestaron un total de 89 trabajadores de las EDS en la ciudad de Sincelejo, los cuales correspondieron en mayor parte a personas de sexo masculino (Figura 1), con edades entre los 19 y 60 años para los hombres, y de 20 a 40 en el caso de las mujeres, y pesos entre los 48,0 y 110 kg para los hombres y de 45 a 73 kg en las mujeres. De acuerdo a las características socioeconómicas de la muestra, se puede decir que se trata de una población ubicada en los estratos 1, 2 y 3, y que cerca del 50% de las mujeres y el 70% de los hombres presentan estudios de básica secundaria no finalizados, como se puede observar en la Figura 2.

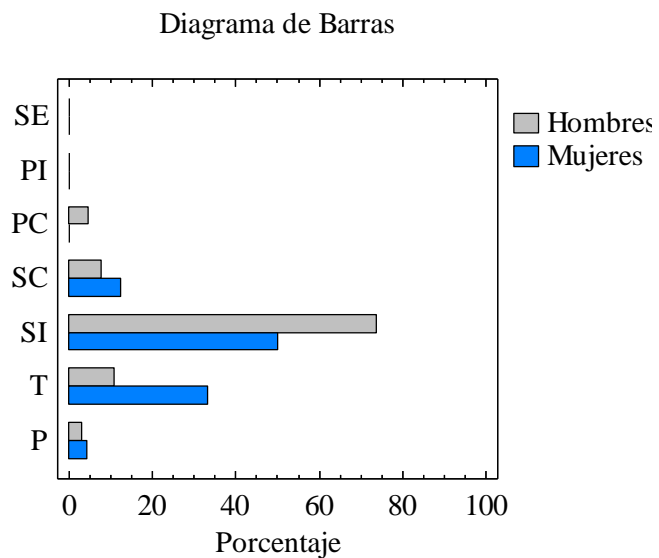
Respecto a la seguridad social, como se puede apreciar en la Figura 3, la mayoría de los trabajadores encuestados están vinculados directamente a través de la empresa, mientras que un porcentaje menor se encuentra ubicado dentro del régimen subsidiado y contributivo, y un porcentaje muy pequeño aún no se había vinculado a ninguna Entidad Promotora de Salud.

Figura 1. Porcentaje de hombres y mujeres encuestados en las EDS de la ciudad de Sincelejo.



Fuente: elaboración de acuerdo a resultados de esta investigación

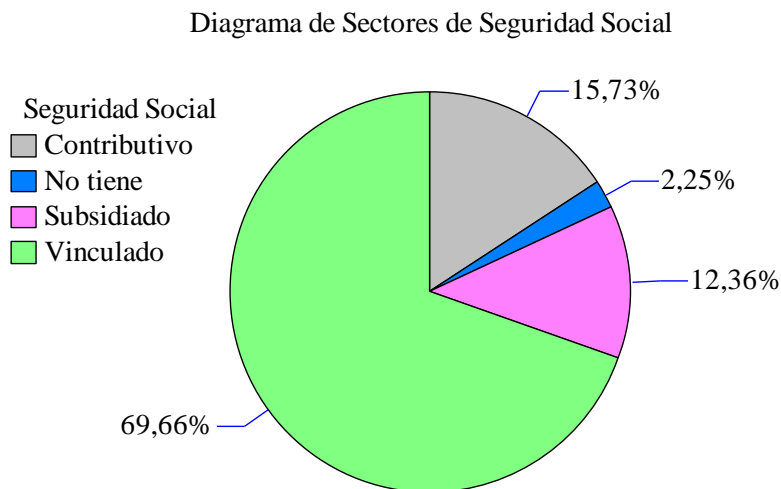
Figura 2. Nivel de escolaridad de los trabajadores de las EDS de la ciudad de Sincelejo.



Sin Estudios (SE), Primaria Incompleta (PI), Primaria Completa (PC), Secundaria Incompleta (SI), Secundaria Completa (SC), Técnico (T) y Profesional (P).

Fuente: elaboración de acuerdo a resultados de esta investigación

Figura 3. Combustible dispensado por los trabajadores de las EDS de la ciudad de Sincelejo. Diesel (ACPM), Gasolina (GSO) y Gas Natural (GAS).

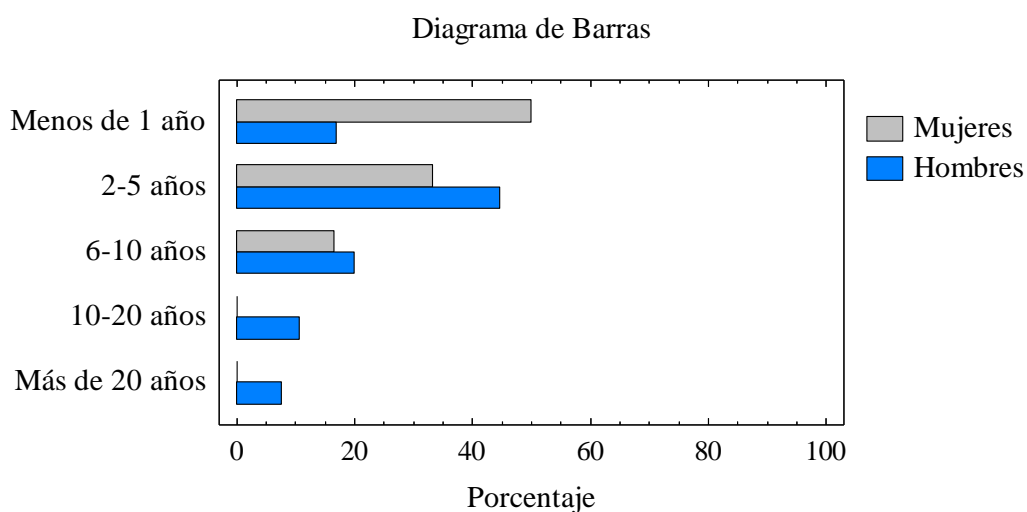


Fuente: elaboración de acuerdo a resultados de esta investigación

3.1.2 Experiencia laboral en las EDS

En relación a la experiencia laboral se tuvo en cuenta 5 rangos de clasificación, como podemos observar en la Figura 4, notándose que hay diferencias entre hombre y mujeres, dado que para los primeros, en algunos casos se excedían los 20 años de experiencia laboral, mientras que para las segundas no excedían los 10 años, dicha experiencia está fundamentada básicamente a la dispensación de combustibles, entre ellos gasolina (extra y corriente), diesel (ACPM) y gas natural, en la relación que se observa en las Figuras 5 y 6, lo que permite observar que la mayoría de los trabajadores se dedican a dispensar ya sea gasolina y diesel o gasolina y gas natural, y solo un pequeño porcentaje a dispensar solo gasolina.

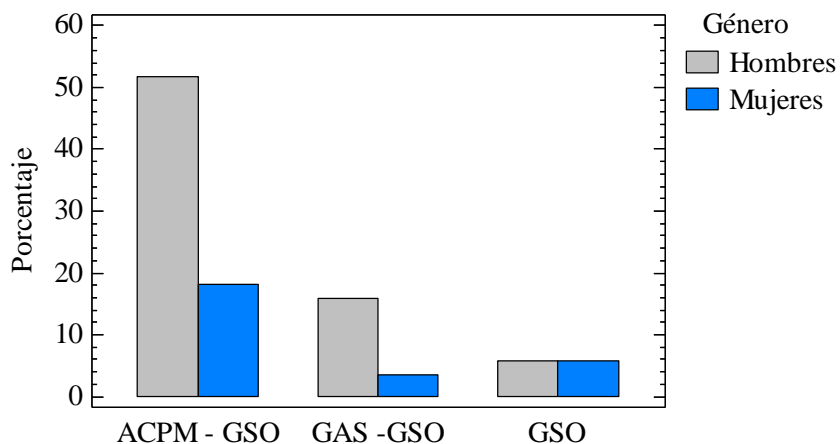
Figura 4. Experiencia laboral en los trabajadores encuestados en las EDS de la ciudad de Sincelejo según sexo.



Fuente: elaboración de acuerdo a resultados de esta investigación

Figura 5. Combustible dispensado por los trabajadores de las EDS de la ciudad de Sincelejo para mujeres y hombres. Diesel (ACPM), Gasolina (GSO) y Gas Natural (GAS).

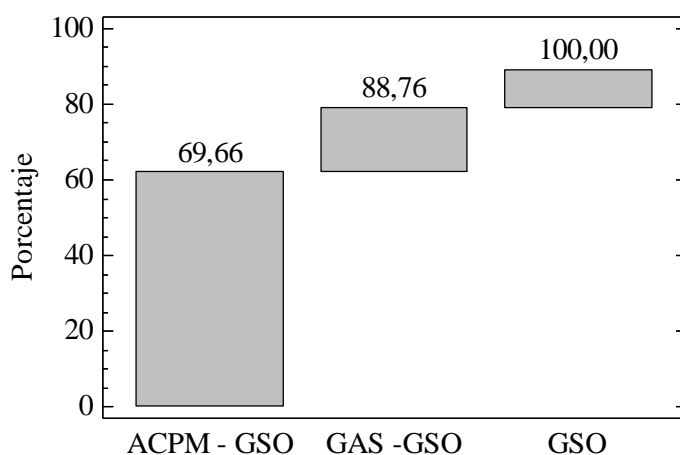
Diagrama de Barras para Combustible dispensado según Género



Fuente: elaboración de acuerdo a resultados de esta investigación

Figura 6. Combustible dispensado por los trabajadores de las EDS de la ciudad de Sincelejo.

Gráfica de Pareto para Combustible dispensado



Diesel (ACPM), Gasolina (GSO) y Gas Natural (GAS).

Fuente: elaboración de acuerdo a resultados de esta investigación

3.1.3 Percepción de la exposición ocupacional a disolventes orgánicos y condiciones laborales

En esta sección de la encuesta higiénica se indagó con los trabajadores de las EDS acerca de cinco (5) tipos de riesgo a los cuales se pueden encontrar expuestos durante el desarrollo de sus actividades laborales, entre ellos tenemos riesgo químico, riesgo biológico, riesgos psicosociales, riesgos físicos y riesgos ergonómicos, los cuales se detallan en la Tabla 4.

Respecto a los riesgos químicos, se puede destacar que las sustancias son almacenadas en sitios seguros, y que la mayoría de los encuestados dicen conocer los riesgos químicos a los que están expuestos debido a los componentes de la gasolina, asimismo, el 100 % de los trabajadores de las EDS se encuentran expuestos a respirar los vapores de dichos compuestos.

En cuanto a los riesgos biológicos, se debe anotar que el 100 % de las EDS visitadas cuentan con baño, y un 18% dice haber sufrido heridas en la piel como producto de sus actividades, dato que es importante debido a que ellos generalmente están recibiendo dinero, lo que podría generar algunas infecciones debido a la presencia de microorganismos en ellos.

En relación con los riesgos psicosociales, se puede destacar que un 58% dice sentir estrés laboral, lo que puede relacionarse con la percepción de la monotonía en las actividades, dado que son repetitivas en todos los casos, aunque con los compañeros de trabajo se siente un clima laboral agradable.

Los riesgos físicos son de consideración, debido que un alto porcentaje manifiesta sentir ruido excesivo, estar expuestos a altas temperaturas, lo que se puede relacionar con los riesgos ergonómicos, dado que el 100% de los trabajadores permanece en pie durante casi toda su jornada laboral.

Tabla 4. Descripción de la percepción de los factores de riesgo según la percepción de los trabajadores de las EDS de la ciudad de Sincelejo.

TIPO DE RIESGO	CARACTERÍSTICA	% SI	% NO
QUÍMICOS	Almacena en sitios seguro las sustancias	98,9	1,1
	Conoce los riesgos químico del producto que maneja	67,4	32,6
	Contacto con vapores, gases	100	0
BIOLÓGICOS	Ha sufrido heridas en la piel durante el trabajo	18	82
	En su lugar de trabajo cuenta con servicio de baño	100	0
	Les brindan mantenimiento a los equipos que utilizan para la dispensación de combustibles	100	0
PSICOSOCIALES	Siente presión por la dirección o gerencia	43,8	56,2
	Las jornadas de trabajo son extensas	32,6	67,4
	Las actividades requieren alta concentración	50,6	49,4
	Siente estrés laboral	58,4	41,6
	Las actividades son repetitivas o monótonas	100	0
	Las relaciones son tensas con sus compañeros	7,9	92,1
FÍSICOS	Siente ruido en exceso	79,8	20,2
	La iluminación del lugar es adecuada	100	0
	Siente calor en exceso	68,5	31,5
	Humedad alta	69,7	30,3
ERGONÓMICOS	Siente cansancio permanente	67,4	32,6
	Utiliza pistolas de gasolina pesadas	0	100
	Trabaja de pie	100	0

Fuente: elaboración de acuerdo a resultados de esta investigación

3.1.4 Uso de elementos de protección por parte de los trabajadores de las EDS

En la Tabla 5 se resume la información relacionada con el uso de elementos de protección de los trabajadores de las EDS encuestados, notándose que casi en su totalidad usan uniformes que son proporcionados por las empresas. Se puede notar que es una característica generalizada el no uso de elementos de protección tales como guantes, máscaras de vapores y gafas de seguridad, aunque si se usan overoles y calzado de seguridad.

Tabla 5. Uso de elementos de protección personal en los trabajadores encuestados en las EDS de la ciudad de Sincelejo.

Ropa	FRECUENCIA ABSOLUTA		PORCENTAJES	
	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres
Bata	0	0	0,0	0
Uniforme	64	24	98,5	100
Contra incendio	0	0	0,0	0
Delantales	0	0	0,0	0
Ropa de calle	1	0	1,5	0
Guantes	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres
Guantes de Caucho	0	0	0,0	0
Guantes de Látex	0	0	0,0	0
Guantes de cuero	0	0	0,0	0
No	65	24	100,0	100
Respirador	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres
Vapores	0	0	0,0	0
Polvo	0	0	0,0	0
Desechable	0	0	0,0	0
No	65	24	100,0	100
Protección visual	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres
Con filtro	0	0	0,0	0
Gafas normales	5	0	7,7	0
No	60	24	92,3	100
Calzado de seguridad	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres
Si	65	24	100,0	100
No	0	0	0,0	0
Overol	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres
Si	41	12	63,1	50
No	24	12	36,9	50

Fuente: elaboración de acuerdo a resultados de esta investigación

3.2 Niveles de BTXs en muestras de aire personal de trabajadores de las EDS en Sincelejo, Sucre.

A nivel general, las concentraciones de benceno, tolueno y los tres isómeros del xileno fueron bajas respecto a los niveles de referencia presentados en el marco referencial, estos datos se presentan en la Tabla 6. A su vez, no se presentaron diferencias estadísticamente significativas de acuerdo a la prueba W de Mann-Whitney para comparación de dos muestras en ninguno de

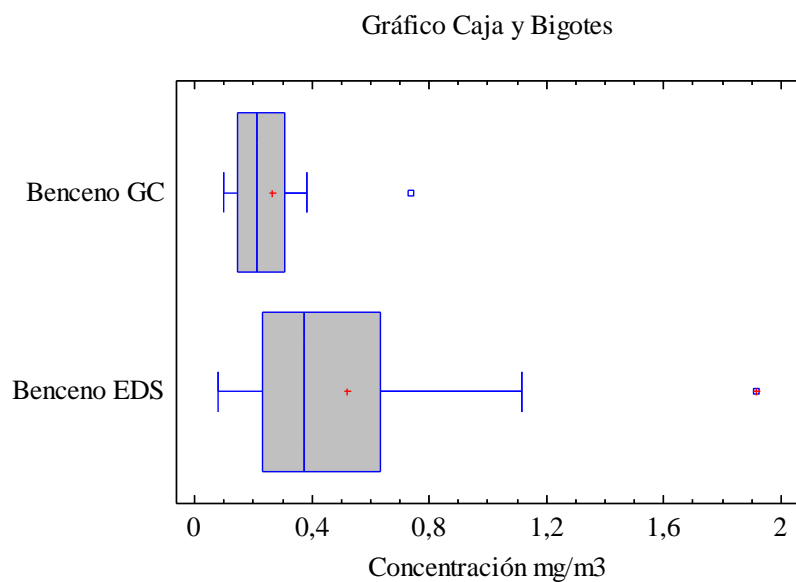
los casos, como se puede verificar en el Anexo 5. Asimismo, las figuras 7 y 8 muestran la distribución de los datos en un diagrama de cajas y bigotes para los datos de concentración de benceno y tolueno.

Tabla 6. Concentraciones de BTXs en aire (mg/m^3) de las EDS y grupo control en la ciudad de Sincelejo.

	Benceno	Tolueno	m/p-Xileno	o-Xileno
Control	0,27	0,13	0,01	0,03
EDS	0,52	0,07	0,005	0,02

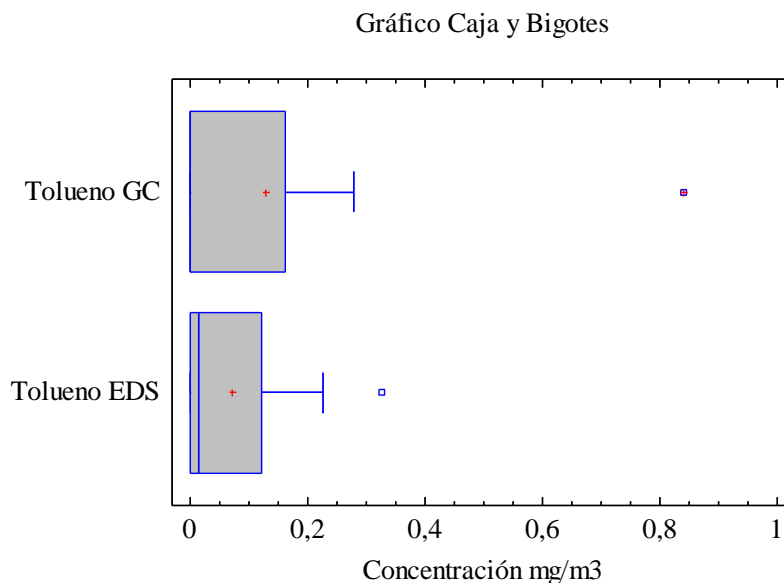
Fuente: elaboración de acuerdo a resultados de esta investigación

Figura 7. Concentraciones de benceno en aire de las EDS y grupo control en la ciudad de Sincelejo.



Fuente: elaboración de acuerdo a resultados de esta investigación

Figura 8. Concentraciones de tolueno en aire de las EDS y grupo control en la ciudad de Sincelejo.



Fuente: elaboración de acuerdo a resultados de esta investigación

3.3 Análisis de metabolitos urinarios de BTXS

Se evaluaron las concentraciones de metabolitos urinarios para tolueno (ácido hipúrico) y xileno (ácido 3 metil hipúrico y 4 metil hipúrico). Estos resultados tanto para el Pre Test, como para el Post Test, se observan en la Tabla 7, asimismo, La tabla 8 muestra los porcentajes de casos en los cuales se sobrepasaron los límites de referencia presentados en la Tabla 1.

Tabla 7. Concentraciones de metabolitos urinarios evaluados en los trabajadores de las Estaciones de Servicio en la ciudad de Sincelejo.

GRUPO		Hombres-Mañana	Hombres-Tarde	Mujeres-Mañana	Grupo Control
PRE TEST	HA	788,24 ±95,52	446,58±102,45	484,97 ± 62,26	194,2 ± 87,24
	3-MHA	306,7±22,03	264,89±35,71	245,88±40,22	78,31 ± 60,66
	4MHA	272,63±28,58	295,23±21,13	189,68 ± 41,4	78,44 ± 60,76
POST TEST	Fenol	123,70 ± 21,84	-	86,83 ± 21,84	62,079± 6,14
	HA	701,87±153,07	548,37±66,56	531,71±112,97	291,85 ± 79,76
	3-MHA	286,55±30,17	302,31±21,76	218,42±41,33	236,57±61,08
	4MHA	209,51±39,59	272,62±28,58	168,31±42,08	234,71 ± 60,6

Acido hipúrico (HA), ácido 3 metil hipúrico (3-MHA) y ácido 4 metil hipúrico (4MHA).

Fuente: elaboración de acuerdo a resultados de esta investigación

Se puede destacar que los valores referentes al grupo control siempre fueron inferiores a los correspondientes a los demás grupos de comparación. Debido a que no se presentó normalidad en los datos (Anexo 3), se hicieron pruebas de comparación no paramétricas de Kruskal Wallis (Anexo 4) para determinar diferencias entre las concentraciones de las pruebas pre y post test para los cuatro grupos en estudio, especificados anteriormente en la sección 2.4.1., mientras que las figuras 7, 8 y 9 muestran los diagramas de cajas y bigotes que ilustran la distribución, medias y medianas de las concentraciones de los metabolitos urinarios analizados

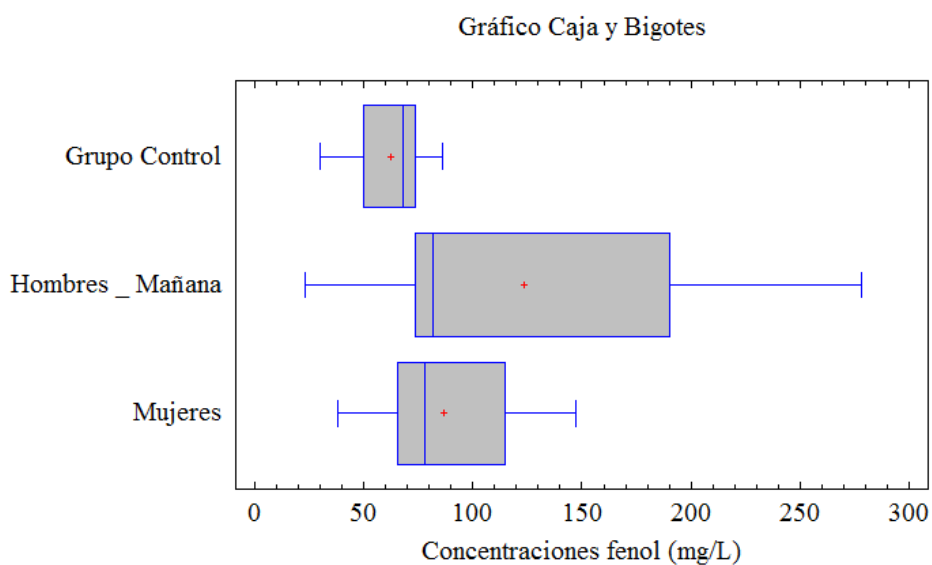
Tabla 8. Porcentaje de casos en los que se sobrepasan los límites de referencia.

MUESTRA	PRE ($\mu\text{g/mL}$)			POST ($\mu\text{g/mL}$)		
	HA	3-MHA	4MHA	HA	3-MHA	4MHA
Hombres-Mañana	6,7	93,3	86,7	0,0	86,7	66,7
Hombres-Tarde	6,7	80,0	93,3	0,0	93,3	86,7
Mujeres-Mañana	0,0	73,3	60,0	0,0	60,0	53,3
Control	0,0	25,0	25,0	0,0	75,0	75,0

Fuente: elaboración de acuerdo a resultados de esta investigación

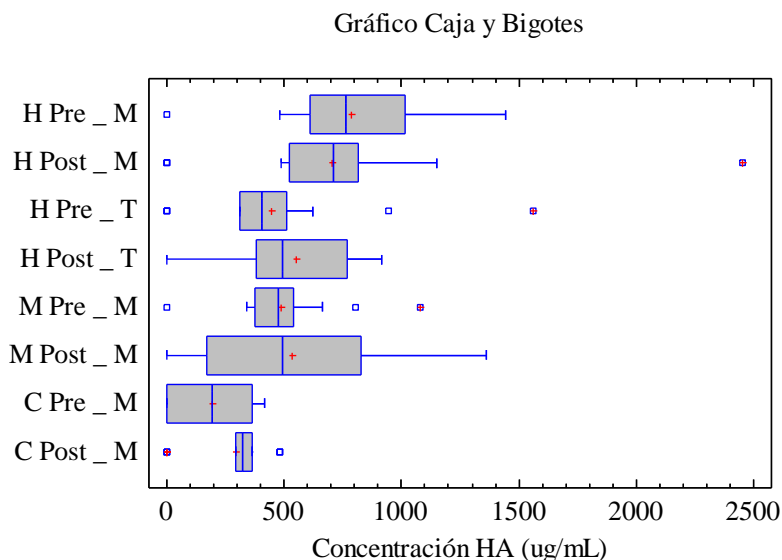
Los códigos usados por las figuras 9, 10 y 11, corresponden a una letra mayúscula inicial (H, M y C, hombres, mujeres y grupo control respectivamente), el prefijo Pre o Post (antes y después de la exposición a BTXs) y una letra final (M y T, correspondiente a mañana y tarde).

Figura 9. Concentraciones de fenol en orina de trabajadores de las EDS en Sincelejo, Sucre



Fuente: elaboración de acuerdo a resultados de esta investigación

Figura 10. Concentraciones de ácido hipúrico en orina de trabajadores de las EDS en Sincelejo, Sucre.

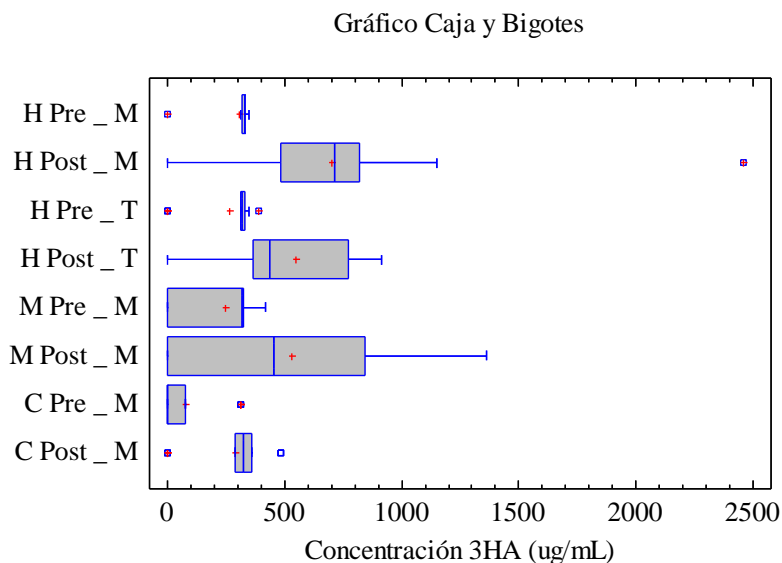


Fuente: elaboración de acuerdo a resultados de esta investigación

En la Figura 10 se puede observar que las mayores concentraciones de ácido hipúrico tanto en el pre test (H Pre_M) como en el post test (H Post_M) correspondieron al grupo de los hombres que fueron muestreados en la jornada matinal, cuyos turnos corresponden a horarios entre las 6:00 am y las 2:00 pm, mientras que las concentraciones más bajas se presentaron en el grupo control tanto en el pre test (C Pre_M) como en el post test (C Post_M).

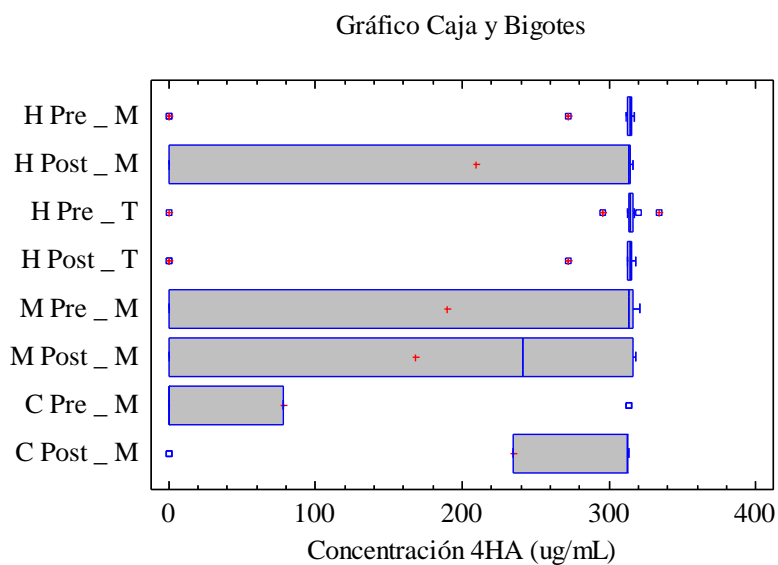
En relación al ácido 3 metil hipúrico (Figura 10), se puede destacar que las concentraciones medidas en los post test siempre fueron superiores a las medidas en el pre test. Asimismo, en la Figura 11, se puede notar que las mayores concentraciones de ácido 4 metil hipúrico fueron mayores en el grupo de los hombres muestreados en la jornada matinal, valores que se pueden verificar en la Tabla 7.

Figura 11. Concentraciones de ácido 3 metil hipúrico en orina de trabajadores de las EDS en Sincelejo, Sucre.



Fuente: elaboración de acuerdo a resultados de esta investigación

Figura 12. Concentraciones de ácido 4 metil hipúrico en orina de trabajadores de las EDS en Sincelejo, Sucre.



Fuente: elaboración de acuerdo a resultados de esta investigación

3.4 Percepción de síntomas asociados a exposición a BTXS

Para identificar algunos síntomas relacionados con la exposición a BTXs, se indagó con los encuestados acerca de la aparición de algunos síntomas. Los primeros de ellos fueron síntomas muscarínicos, que se refieren a la acción de la muscarina, un alcaloide que imita las acciones estimuladoras de la acetilcolina sobre la musculatura lisa y glándulas, dentro de ellos tenemos mareo, tos, bronco constricción y conjuntivitis. Asimismo, se tuvo en cuenta la aparición de síntomas nicotínicos como la cefalea, debilidad general, temblor y dolor muscular. Los síntomas neurológicos indagados fueron la pérdida de la conciencia y la somnolencia.

Tabla 9. Percepción de síntomas presentados por los trabajadores de las EDS encuestados.

SINTOMAS	PORCENTAJES	
MUSCARÍNICOS	%SI	%NO
Mareo	9,0	91,0
Tos	29,2	70,8
Bronco constricción	6,7	93,3
Conjuntivitis	15,7	84,3
NICOTINICOS		
Cefalea	39,3	60,7
Debilidad general	28,1	71,9
Temblor	4,5	95,5
Dolor Muscular	28,1	71,9
NEUROLOGICOS		
Perdida de la conciencia	11,2	88,8
Somnolencia	23,6	76,4
OTROS		
Dermatitis	12,4	87,6
Rinitis	3,4	96,6

Fuente: elaboración de acuerdo a resultados de esta investigación

Los porcentajes de trabajadores encuestados que manifestaron sentir alguno de los síntomas antes mencionados se muestran en la tabla 9, donde se pueden destacar como síntomas más comunes la cefalea o dolor de cabeza (39,3%), la tos (29%), debilidad general (28,1%), dolor muscular (28,1%) y la somnolencia (23,6%).

Se puede destacar que un alto porcentaje de trabajadores manifiesta no sentir mareos (91%), bronco constricción (93,3%), conjuntivitis (84,3%), temblor (95,5%), pérdida de la conciencia (88,8%), dermatitis (87,6%) y rinitis (96,9%).

Respecto a este hecho, se debe destacar que en algunos casos los trabajadores manifiestan estar “acostumbrados” a sus actividades laborales, por tal razón en ocasiones se expresan haciendo saber que aunque ellos saben que pueden estar expuestos a algún riesgo en la salud, no sufren de afecciones en la salud producto de dicha actividad.

4 DISCUSIÓN

4.1 Descripción de contexto en la ciudad de Sincelejo.

Sincelejo es una ciudad que ha venido creciendo en los últimos años, gracias a la inversión de empresarios colombianos y extranjeros (DANE, 2016). Este crecimiento ha venido acompañado de un aumento en el número de vehículos que transitan a diario por sus calles, especialmente el número de motocicletas, que según datos de la secretaria de tránsito municipal, para el año 2016, existían matriculadas cerca de 18000 motocicletas, situación relacionada claramente con el fenómeno del mototaxismo, actividad económica que aunque es ilegal, se ha convertido en una de las principales fuentes económicas de la población, y que se acentúa debido a que también circulan motocicletas procedentes de municipios aledaños, así lo reconoce el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (Castillo, Galarza, & Palomino, 2013).

En razón a esta demanda de combustibles, en Sincelejo se ha observado el crecimiento en el número de Estaciones de Servicio, las cuales se han venido ubicando en lugares estratégicos de la ciudad, especialmente avenidas principales como la Ocala, Troncal de occidente, Variante a Tolú, Argelia, Alfonso López y San Carlos, entre otras; siendo estos lugares de gran afluencia de vehículos, lo que hace que esta sea una actividad económica importante en el municipio. Esta situación ha conllevado a la vinculación de mayor número de personas a laborar en las Estaciones de Servicio, trabajo que tradicionalmente había sido exclusivo de los hombres, pero que en los últimos años se ha venido vinculando a personal femenino a estas actividades.

Los empleados de las estaciones de servicio viven expuestos a una variedad de riesgos en el desarrollo de sus labores, dentro de los cuales encontramos factores en riesgo químico, biológicos, psicosociales, ergonómicos y físicos. En este trabajo se tuvo en cuenta la percepción de los encuestados respecto a estos factores, además de realizar la medición de compuestos orgánicos volátiles (COVs) en aire, específicamente los BTXs, y de sus metabolitos en orina. Si bien es de conocimiento público (aunque no se tengan las bases científicas para explicar el peligro potencial que representan los BTXs) el riesgo que se puede tenerse al estar expuesto a este tipo de compuestos, esta actividad económica se convierte en la oportunidad de tener una

fuerza de ingresos económicos, lo que hace que este riesgo sea conocido pero pase a un segundo plano debido a las responsabilidades económicas de dichos trabajadores.

Como es de esperarse, en Sincelejo, la mayoría de los empleados son del sexo masculino, es así que en este estudio el 73,3% de los encuestados eran hombres, quienes estaban en el rango de edad de los 19 a 60 años, lo que indica que se viene vinculando personal joven a estas actividades, así como algunos ya tienen una experiencia significativa en este trabajo, siendo que incluso el 7,7% de los hombres encuestados llegaban a tener más de 20 años de experiencia laboral, lo que significa que han estado expuestos a estos compuestos durante un periodo de tiempo bastante considerable. Por su parte las mujeres se encontraban en un rango de edades de 20 a 40 años, y con una experiencia laboral máxima entre los 6 a 10 años, destacándose además que el 50% de las mujeres encuestadas tenían una experiencia máxima de 1 año en el oficio, observándose diferencias en este aspecto de la población entre mujeres y hombres.

4.2 Factores de riesgo en la población en estudio.

Respecto al tipo de combustible dispensado, el 66,7% de las mujeres y el 70,8% de los hombres se encargaba de servir ACPM y gasolina (extra y corriente), el 12,5% de las mujeres y el 21,5% de los hombres a dispensar gas natural y gasolina, mientras que el 20,8% de las mujeres y el 7,7% de los hombres solo se dedicaba a dispensar gasolina, lo que indica que la población puede estar expuesta también a vapores de otro tipo de combustible, y no solo de gasolina. Cabe destacar que la exposición a COVs en trabajadores de las EDS no ocurre solo por el contacto con el combustible debido a sus actividades laborales, dado que como se mencionó anteriormente, Sincelejo es una ciudad en la cual el flujo vehicular ha venido aumentando gradualmente, por tal razón, los gases liberados a través del escape de dichos vehículos se constituyen en una fuente directa de exposición de estos trabajadores.

El riesgo de problemas de salud en los trabajadores se incrementa al tener en cuenta otros factores de riesgo, como lo son los factores de riesgo químico, biológicos, psicosociales, físicos y ergonómicos. Respecto a los factores de riesgo químico se puede decir que aunque los combustibles sean almacenados en depósitos seguros, y que gran parte de los encuestados son conscientes del peligro que representa respirar estos vapores (67,4%), el 100% de los

encuestados manifiestan estar expuestos a dichos compuestos químicos, situación que se acentúa debido a que los trabajadores no usan elementos de protección contra estos vapores.

En cuanto a los riesgos biológicos, básicamente se puede notar que permanentemente se presenta contacto con dinero (monedas y billetes), que generalmente pueden estar contaminados con microorganismos, asimismo, un 18% de los encuestados manifestaron haber tenido heridas en el sitio de trabajo, asimismo, algunas veces se consumen alimentos en el lugar de trabajo. Al respecto, Betancur (2010), realizó un estudio en el cual de 124 aislamientos provenientes de billetes de diferente denominación en la ciudad de Medellín, el 91,1% de los billetes evaluados presentó contaminación microbiana, especialmente con bacterias del género *Bacillus spp*, mientras el 41,9% de los aislamientos presentó bacterias potencialmente patógenas para el hombre, como estafilococos coagulasa negativos (20,2%) y bacilos gramnegativos de la familia *Enterobacteriaceae* (15,3%) (Betancur, y otros, 2010).

Además de lo anterior, también se debe tener en cuenta que en algunos aspectos psicosociales que pueden afectar el bienestar emocional de los trabajadores, por ejemplo se puede hacer referencia a que el 43,8% se sienten presionados por la gerencia de las EDS en cuanto a llamados de atención por el cumplimiento de las tareas asignadas. Asimismo, el 32,6% manifestó tener jornadas de trabajo extensas, sin embargo cabe resaltar que los turnos siempre son de 8 horas en turnos matinales, vespertino y nocturnos. Las actividades en esta labor se tienden a ser estresantes debido a que requieren de alta concentración (50,6%) en razón a que se maneja dinero, y además se debe tener certeza de las cantidades de combustible que se distribuyen, lo que también se debe a que el 100% de los trabajadores manifiestan que las actividades realizadas son repetitivas y monótonas. Respecto a los factores de riesgo ergonómicos y físicos, cabe destacar que el 100% de los encuestados manifiesta trabajar de pie durante casi sus 8 horas de jornada laboral, lo que en algunos casos se manifiesta en cansancio permanente (67,4%), y que se siente exceso de ruido en un 79,8%, proveniente principalmente del tráfico vehicular, lo que se traduce en estrés laboral para un 58,4% de los encuestados.

4.3 BTXs en aire personal de trabajadores expuestos

A nivel mundial los trabajos de investigación referentes a análisis de COVs han sido muy frecuentes, en especial, se han realizado un gran número de investigaciones relacionadas con medición de niveles de BTXs en aire de estaciones de gasolina. Al respecto, Edokpolo y colaboradores (2014) publicaron un estudio donde recopilan estudios realizados en países de Europa, Asia y América Latina (Edokpolo, Yu, & Connell, 2014), sin embargo en Colombia, y en especial en relación a la exposición laboral a estos compuestos en las Estaciones de Servicio se han realizado pocos estudios. En el departamento de Sucre y la ciudad de Sincelejo, no se encuentran antecedentes de un trabajo de este tipo, es decir, no hay antecedentes de exposición ocupacional a BTXs en estaciones de gasolina; sin embargo, Vargas y Marrugo (2014), realizaron un estudio donde determinaron concentraciones de BTEXs (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xilenos) en fábricas de muebles de dos municipios del departamento de Sucre (Sincelejo y Sampués), siendo este el principal referente de comparación en cuanto a la exposición a BTXs, aunque, en relación a la exposición ocupacional a componentes de la gasolina, este es el primer aporte que se realiza para la Ciudad de Sincelejo y el departamento.

Al observar los valores promedio de benceno, tolueno e isómeros del xileno, podemos destacar que el benceno obtuvo altas concentraciones en el grupo de las EDS ($0,52 \text{ mg/m}^3$), valor que sobrepasa los TLV propuestos por la ACGIH (2006) que son de $0,5 \text{ mg/m}^3$, lo que demuestra que efectivamente los niveles de benceno representan un riesgo potencial para la salud de los trabajadores de la EDS, incluso teniendo en cuenta que para el grupo control las concentraciones fueron de $0,27 \text{ mg/m}^3$, valor que representa la mitad de los valores de referencia, y que son mayores que los resultados publicados en el estudio realizado en fábricas de muebles de Sincelejo y Sampués, que correspondieron a $12,5 \text{ mg/m}^3$ (Vargas & Marrugo, 2014), lo que demuestra el peligro potencial de la exposición a este compuesto.

La problemática de la exposición al benceno se hace evidente debido al hecho que organizaciones internacionales como la OMS (Organización Mundial de la Salud), la ACGIH (Conferencia Americana de Higiene Industriales) y la IARC (International Agencia Internacional de Investigaciones en Cáncer), clasifican al benceno como cancerígeno categoría A1, y que su exposición ha sido relacionada con casos de leucemia y cáncer colorectal (Urrea, 2003) (Rosell,

Torrado, & Jimenez, 2007) (World Health Organization, 2010). Además de esto, algunas investigaciones han relacionado que en mujeres, la exposición a benceno puede generar efectos en la salud tales como periodos menstruales irregulares, sangrado vaginal incontrolable, disminución en el tamaño de los ovarios, y efectos psicológicos como cambio de carácter y agresividad (Acosta & Ortiz, 1996) (Gonzalez, Baena, Gómez, & Mercado, 2012).

En relación al tolueno e isómeros del xileno (o, m y p xileno), los niveles promedio no sobrepasaron los niveles de referencia tenidos en cuenta, siendo incluso menores a los reportados por Vargas y Marrugo, que para el tolueno y m/p-xileno fueron de 8,1 mg/m³ y 12,1 mg/m³ respectivamente, y que para esta investigación en el grupo de trabajadores de la EDS correspondieron a 0,13 mg/m³ para tolueno, 0,03 mg/m³ para o – xileno y 0,01 mg/m³ para m/p – xileno.

4.4 Metabolitos urinarios de BTXS en la población expuesta

El análisis de los metabolitos urinarios de tolueno (ácido hipúrico) y xilenos (ácidos 3 y 4 metil hipúricos) permitió establecer que en el caso de los hombres muestreados en la mañana y en la tarde para la prueba pre exposición, el 6,7% de los trabajadores muestreados presentaron niveles superiores a los establecidos por la OMS (1982), para el ácido hipúrico, los cuales corresponden a 1400 mg/L orina; sin embargo, para la prueba post exposición en ambos casos no sobrepasó dichos límites. De igual forma, el grupo de mujeres y el grupo control no presentaron casos en los que se sobrepasara este límite. En cuanto a los niveles de fenol, se debe tener en cuenta que las concentraciones superaron los límites de referencia de la ACGIH, 2007, por lo tanto se deben tomar medidas para reducir la exposición de los trabajadores a estos compuestos, mas aun cuando el fenol es metabolito del benceno, compuesto que como ya se hizo referencia esta catalogado como cancerígeno A1 por la OMS y la IARC.

En el caso de los ácidos 3 metil hipúrico (3 MHA) y 4 metil hipúrico (4MHA), la OMS (1982) establece las personas no expuestas deben tener niveles de ausencia total para dichos metabolitos. Respecto a estos niveles de referencia, en todos los casos se presentaron niveles por encima de los permitidos. Para los hombres muestreados en la mañana, los niveles de 3 MHA sobrepasaron los límites en un 93,3% para la prueba pre exposición, y en un 86,7% para la

prueba post exposición; asimismo, el grupo de hombres muestreados en la tarde sobrepasaron los límites en un 80% en la prueba pre exposición y en un 93,3% en la prueba post exposición; las mujeres por su parte sobrepasaron los límites en un 73,3% y un 60% para las pruebas pre y post exposición respectivamente; mientras que en el grupo control, un 25% sobrepasó los niveles en la prueba pre exposición y un 75% en la prueba post exposición.

Las pruebas pre exposición para 4MHA, sobrepasaron los límites de referencia en un 86,7% para los hombres muestreados en la mañana, en un 93,3% para los hombres muestreados en la tarde, en un 60,0% para las mujeres y en un 25,0 % para el grupo control, mientras que para las pruebas post exposición, se sobrepasaron los límites en un 66,7% para los hombres muestreados en la mañana, un 86,7% para los hombres muestreados en la tarde, un 53,3 % para el grupo de mujeres y un 75,5% para el grupo control.

5 CONCLUSIONES

Luego de la culminación de la presente investigación se puede concluir que:

- Los niveles de benceno analizados en aire personal permitieron evidenciar que existen concentraciones altas respecto a los niveles de referencia, asimismo, los niveles de fenol, los cuales superaron los límites de referencia, problemática que se acentúa al tener en cuenta que los trabajadores de la EDS no utilizan elementos de protección personal que les permita disminuir la exposición a este compuesto.
- Los factores de riesgo analizados en este estudio permiten identificar algunos aspectos que pueden incidir en la estabilidad emocional y física de los trabajadores, puesto que en algunos casos todos estos factores desencadena casos en los cuales se evidencia es estrés laboral, producto tanto de factores de riesgo psicosociales, como físicos y ergonómicos, a lo que se suma la inhalación de vapores que contienen compuestos perjudiciales para la salud de los trabajadores expuestos.
- Los resultados obtenidos permitieron confirmar la presencia de metabolitos urinarios de BTXs en los trabajadores de las EDS en el municipio de Sincelejo, especialmente metabolitos de tolueno y xileno, que sobrepasan en altos porcentajes los límites de referencia, sin embargo, el número de muestras de aire obtenidas no permitió evidenciar la correlación entre los niveles de BTXs en aire con estos valores.

6 RECOMENDACIONES

Luego de la finalización de este proyecto de investigación podemos hacer las siguientes recomendaciones:

- Es importante realizar un estudio con un mayor número de personas muestreadas y en un mayor número de estaciones de servicio, asimismo realizar valoraciones médicas que permitan identificar sintomatologías relacionadas con la exposición ocupacional a BTXs.
- Realizar un estudio donde se vinculen las autoridades pertinentes donde se puedan realizar valoraciones médicas en torno a los niveles de exposición a BTXs de los trabajadores de las estaciones de servicio y tomar medidas preventivas en los casos donde aún no se presentan problemas de salud resultado de tal exposición.
- Realizar mediciones de metabolitos urinarios y corregirlos con los niveles de creatinina.
- Es de gran importancia realizar estudios citotoxicidad y genotoxicidad, los cuales corresponden a biomarcadores de efecto que miden las alteraciones bioquímicas, fisiológicas, genéticas o de otro tipo, que dependiendo de su magnitud, pueden ser reconocidas como un daño potencial o efectivo sobre la salud, lo que representaría un gran avance en hacia resultados más profundos acerca de la problemática de la exposición a BTXs en la población expuesta.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, H., & Ortiz, J. (1996). *Determinación de fenol y ácidos hipúrico y metil hipúrico en orina mediante técnicas cromatográficas (GC-FID y HPLC-UV)*. Manual de procedimientos. Metabolitos de solventes orgánicos (benceno, tolueno y xileno), Instituto Nacional de Salud de Colombia, Bogotá D.C.
- Almirall, P., Franco, G., Martínez, S., Noriega, M., Villegas, J., & Méndez, I. (2000). Evaluación psicológica en trabajadores expuestos a tolueno en una empresa mexicana de autopartes. *Salud de los Trabajadores*, 7(1).
- ATSDR. (2001). *ToxFAQ's for Toluene [en línea]*. Agency For Toxic Substances And Disease Registry.
- Bailey, S. (1998). *Hippuric and methylhipuric acids in urine. Methods for Biological Monitoring. A Manual for Assessing Human Exposure to Hazardous Substances. First Edition*. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data. Washington, DC: American Public Health Association.
- Barbosa, G., Boaneres, D., Wasner, F., & Braga, L. (2010). A importância da bioprospecção de microrganismos em áreas contaminadas com produtos derivados do petróleo. *Revista em Agronegócios e Meio Ambiente*, 3(3), 291-310.
- Betancur, C., Estrada, S., Ceballos, M., Sánchez, E., Abad, A., Vanegas, C., y otros. (2010). Billetes como fómites de bacterias con potencial patógeno para el hombre. *REVISTA INFECTIO*, 120 - 126.
- Brigden, K., Labunska, I., Stringer, R., Johnston, P., Santillo, D., & Ashton, J. (2000). *Contaminantes Orgánicos Y Metales Pesados En Vertidos Y Sedimentos del Riachuelo, Argentina*. Universidad de Exeter, Departamento de Ciencias Biológicas - Laboratorios de Investigación de Greenpeace, Exeter - Reino Unido.
- Carballo, M., & Mudri, M. (2006). *Genética toxicológica*. Buenos Aires, Argentina: De los cuatro vientos Editorial.
- Cárdenas, O., Varona, M., Patiño, I., Groot, H., Sicard, D., Tórres, M., y otros. (s.f.). Exposición a Solventes Orgánicos y Efectos Genotóxicos en Trabajadores de Fábricas de Pinturas en Bogotá. *Rev. salud pública*, 9(2), 275-288.

- Castillo, I., Galarza, B., & Palomino, H. (2013). Condiciones de trabajo y salud de mototaxistas Cartagena - Colombia. *Salud Uninorte*, 29(3), 514-524.
- Costa, C., Pasqualeb, R., Silvarib, V., Barbaro, M., & Catania, S. (2006). In vitro evaluation of oxidative damage from organic solvent vapours on human skin. *Toxicology in Vitro*, 20(3), 324-331.
- Costa, C., Pasqualeb, R., Silvarib, V., Catania, S., & Barbaro, M. (2006). In vitro evaluation of oxidative damage from organic solvent vapours on human skin. *Toxicology in Vitro*, 20(3), 324-331.
- DANE. (2016). *Informe de coyuntura económica regional*. Sincelejo: DANE-Banco de la República.
- Edokpolo, B., Yu, Q., & Connell, D. (2014). Health Risk Assessment of Ambient Air Concentrations of Benzene, Toluene and Xylene (BTX) in Service Station Environments. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 11, 6354-6374.
- EPA. (1994). *Toluene Fact Sheet [en línea]*. Obtenido de http://www.epa.gov/opptintr/chemfact/f_toluen.txt
- Faust., F., Kassie, K., Knasmüller, S., Hasso, R., Mann, M., & Mersch, V. (2004). The use of the alkaline comet assay with lymphocytes in human biomonitoring studies. *Mutat. Res.*, 566(3), 209-229.
- Fonseca, P., Heredia, J., & Navarrete, T. (2010). *Vigilancia Médica Para Los Trabajadores Expuestos a Benceno, Tolueno y Xileno*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Protección Social. Bogotá.
- García, N., De la Torre, T., Garza, M., & Acuña, A. (2006). Biodegradación de los componentes de mayor impacto en la gasolina. *Universidad autónoma de Nuevo León. Monterrey, México*.
- González, A., & Rojas, W. (2008). *Relación entre la exposición crónica ocupacional al plomo y los efectos neurocomportamentales*. Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Medicina - Facultad de Enfermería, Bogotá.
- González, E., Sandoval, J., García, R., Ramos, C., Hernández, I., & Arriaga, M. (2009). Degradación fotocatalítica de BTX presentes en aire con TiO₂/fibra de vidrio en un reactor continuo. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 5(2), 123-130.

- Gonzalez, G., Baena, B., Gómez, W., & Mercado, Y. (2012). Riesgo de exposición a compuestos químicos en trabajadores de transformación de la madera. *Hacia la Promoción de la Salud*, 17(1), 105-117.
- Gotohda, T., Tokunaga, I., & Kubo, S. (2005). Toluene inhalation-induced adrenocortical hypertrophy and endocrinological changes in rat. *Life Sciences*, 76(17), 1929-1937.
- Gotohda, T., Tokunaga, I., Kitamura, O., & Kubo, S. (2007). Toluene inhalation induced neuronal damage in the spinal cord and changes of neurotrophic factors in rat. *Legal Medicine*, 9(3), 123-127.
- Green, J., & Rudel, R. (2003). Environmental Pollutants and Breast Cancer. *Environ. Health Persp*, 111(8).
- Holecková, B., Piesová, E., Sivikova, K., & Dianovsk, J. (2004). Chromosomal aberrations in humans induced by benzene. *Ann Agric Environ Med*, 11(2), 175-179.
- ICONTEC. (1997). Normas ICONTEC 4114. Seguridad Industrial. Realización de Inspecciones Planeadas. *Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC)*.
- INSHT. (2007). *Límites de exposición profesional para Agentes Químicos en España*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, Madrid.
- Kalantzi, O., Hewitt, R., Ford, K., Cooper, L., Alcock, R., Thomas, G., y otros. (2004). Low dose induction of micronuclei by lindane. *Carcinogenesis*, 24(4), 613-622.
- Martinez, R. (2006). *Exposición a hidrocarburos aromáticos policíclicos en población infantil*. San Luis Potosi - México: Universidad Autónoma de San Luis Potosi.
- MINAMBIENTE. (2004). Resolución 1565 de 2004. *Diario oficial 45777 de diciembre 30 de 2004*.
- Nieto, O., & Mejia, J. (2007). *Guía de atención integral de salud ocupacional para Trabajadores Expuestos a Benceno y sus derivados (GATISO-BTX-EB)*. Bogotá, Colombia: Ministerio de la Protección Social.
- NIOSH. (1994). *Particulates not otherwise regulated, respirable, Manual of Analytical Methods 0600, Fourth edition*. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), US.
- Ogino, H., Uchiho, T., Doukyu, N., Yasuda, M., Ishimi, K., & Ishikawa, H. (2007). Effect of exchange of amino acid residues of the surface region of the PST-01 protease on its

- organic solvent-stability. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 358(4), 1028-1033.
- Pérez, B., Laffon, B., & Méndez, J. (2007). *Biomonitorización de la exposición ocupacional a hidrocarburos. Mapfreseguridad N° 106*. Universidad de Coruña. Campus a zapateira, Dpto. Biología celular y molecular, Área de genética. Facultad de ciencias.
- Periágo, J., Zambudio, A., & Prado, C. (1997). Evaluation of environmental levels of aromatic hydrocarbons in gasoline service stations by gas chromatography. *Journal of Chromatography A*, 778(1-2), 263-268.
- Piscoya, J. (2000). Toxicidad de los solventes como riesgo ocupacional. *Boletín de la sociedad peruana de medicina*, 13, 62-64.
- Ramos, G., González, E., Olaya, U., Pardo, J., & Trillos, H. (2001). *Protección laboral seguro administradora de riesgos profesionales solventes orgánicos*. Bogotá, Colombia.
- Rendón, J., & Nieto, P. (2008). *Comportamiento sectorial de la industria manufacturera en Colombia 1980 – 2005. Un análisis*. Cali - Colombia.
- Ridway, P., Nixonb, T., & Leachb, J. (2003). Occupational exposure to organic solvents and long-term nervous system damage detectable by brain imaging, neurophysiology or histopathology. *Food and Chemical Toxicology*, 41(2), 153-187.
- Rock, J. (1995). *Occupational air sampling strategies. Air sampling instruments for evaluation of atmospheric contaminants* (Eighth Edition ed.). Cincinnati: Cohen BS, Hering SV (Editors).
- Rosell, F., Torrado, M., & Jimenez, N. (2007). *Riesgos higiénicos de los trabajadores de estaciones de servicio*. Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo.
- Saillentaít, A., Gallissot, F., Morel, G., & Bonnet, P. (2003). Developmental toxicities of ethylbenzene, ortho-, meta-, para-xylene and technical xylene in rats following inhalation exposure. *Food and Chemical Toxicology*, 41(3), 415-429.
- Simon, V., Baer, M., Torres, L., Olivier, S., Meybeck, M., Meybeck, M., y otros. (2004). The impact of reduction in the benzene limit value in gasoline on airborne benzene, toluene and xylenes levels. *Science of the Total Environment*, 334-335, 177-183.
- Urra, V. (2003). Exposición a solventes orgánicos en la fabricación de productos de plástico reforzados con fibra de vidrio. *Rev. Ciencia & Trabajo*, 5(10), 33-44.

- Vargas, Y., & Marrugo, J. (2014). Exposición a COVs en fábricas de muebles de dos poblaciones del norte de Colombia. *Rev. salud pública.*, 16(6), 834-846.
- Varona, M., Cárdenas, O., Conde, J., Rossi, L., Idrovo, A., & Araque, A. (2001). *Determinación de la exposición en trabajadores que laboran con solventes orgánicos en Bogotá*. Documento técnico, División de Biblioteca y Publicaciones-Instituto Nacional de Salud, Bogotá D.C.
- Verma, S., & Gomber, S. (2009). Thinner intoxication manifesting as methemoglobinemia. *Indian J Pediatr*, 76(3), 315-316.
- Viaene, M., Vermier, G., & Godderis, L. (2009). Sleep disturbances and occupational exposure to solvents. *SleepMed Rev*, 13(3), 235-243.
- World Health Organization. (2010). *Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants*. Copenhagen, Denmark: WHO Regional Office for Europe.

8. ANEXOS

Anexo 1. Bombas de muestreo personal Gilian® Modelo LFS – 113DC utilizadas para monitoreo de BTXs en aire.



Anexo 2. Evidencias de los muestreos realizados en las EDS de la ciudad de Sincelejo, Sucre.



Anexo 2.1. Las Estaciones de Servicio cuentan con letreros de recomendaciones, los cuales se pueden observar fácilmente por los usuarios.



Anexo 2.2. Flujo vehicular en la avenida Ocala, sitio de ubicación de una de las Estaciones de Servicio seleccionadas.



Anexo 2.3. Trabajador de una EDS midiendo la cantidad de combustible disponible para la venta.



Anexo 2.4. Trabajador de una EDS atendiendo a los usuarios de este servicio.



Anexo 2.5. Sellado y rotulado de las muestras de aire para muestreo de BTXs.



Anexo 2.6. Sellado y rotulado de las muestras de orina para muestreo de metabolitos de BTXs.

Anexo 3. Pruebas de normalidad de concentraciones de metabolitos urinarios de BTXs.

3.1 Pruebas de Normalidad para datos de ácido hipúrico

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,895525	7,4416E-12

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si HA puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuantiles de la distribución normal ajustada con los cuantiles de los datos.

El valor-P más bajo de las pruebas realizadas es igual a 7,4416E-12. Debido a que el valor-P para esta es menor que 0,05, se puede rechazar la idea de que HA proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

3.2 Pruebas de Normalidad para datos de ácido 3 metil hipúrico

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,636827	0,0

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si TRES 3HA puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuantiles de la distribución normal ajustada con los cuantiles de los datos.

El valor-P más bajo de las pruebas realizadas es igual a 0,0. Debido a que el valor-P para esta es menor que 0,05, se puede rechazar la idea de que 3HA proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

3.3 Pruebas de Normalidad para datos de ácido 3 metil hipúrico

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,603006	0,0

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si cuatro 4HA puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuantiles de la distribución normal ajustada con los cuantiles de los datos.

El valor-P más bajo de las pruebas realizadas es igual a 0,0. Debido a que el valor-P para esta es menor que 0,05, se puede rechazar la idea de que cuatro 4HA proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Anexo 4. Pruebas de comparación no paramétricas de Kruskal Wallis para los datos de metabolitos de BTXs

Anexo 4.1. Kruskal Wallis para concentraciones de ácido hipúrico (HA)

Variable	Grupo	Test	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
HA (ug/mL)	GCM	POST TEST	15	291,85	165,11	322,36	35,32	<0,0001
HA (ug/mL)	GCM	PRE TEST	15	194,19	180,61	194,19		
HA (ug/mL)	HMM	POST TEST	15	701,87	592,83	715,50		
HA (ug/mL)	HMM	PRE TEST	15	788,24	369,95	740,83		
HA (ug/mL)	HMV	POST TEST	15	548,37	257,80	439,88		
HA (ug/mL)	HMV	PRE TEST	15	446,58	396,78	373,45		
HA (ug/mL)	MMM	POST TEST	15	531,71	437,55	452,23		
HA (ug/mL)	MMM	PRE TEST	15	484,97	241,12	471,71		

Trat.	Ranks
GCM:PRE TEST	29,20 A
GCM:POST TEST	37,50 A
HMV:PRE TEST	53,03 A B
MMM:PRE TEST	62,77 B
MMM:POST TEST	63,40 B
HMV:POST TEST	70,43 B C
HMM:POST TEST	77,37 B C
HMM:PRE TEST	90,30 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 4.2. Kruskal Wallis para concentraciones de ácido 3 metil hipúrico (3MHA)

Variable	Grupo	Test	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
3HA (ug/mL)	GCM	POST TEST	15	236,56	126,45	314,08	37,11	<0,0001
3HA (ug/mL)	GCM	PRE TEST	15	78,31	125,58	0,00		
3HA (ug/mL)	HMM	POST TEST	15	286,55	116,86	328,15		
3HA (ug/mL)	HMM	PRE TEST	15	306,70	85,32	328,33		
3HA (ug/mL)	HMV	POST TEST	15	302,31	84,29	318,21		
3HA (ug/mL)	HMV	PRE TEST	15	264,89	138,32	321,54		
3HA (ug/mL)	MMM	POST TEST	15	218,42	160,09	321,11		
3HA (ug/mL)	MMM	PRE TEST	15	245,88	155,79	321,15		

Trat.	Ranks
GCM:PRE TEST	22,10 A
GCM:POST TEST	37,30 A B
MMM:POST TEST	61,10 B C
MMM:PRE TEST	64,20 C
HMV:POST TEST	68,63 C
HMV:PRE TEST	69,17 C
HMM:POST TEST	79,07 C
HMM:PRE TEST	82,43 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 4.3. Kruskal Wallis para concentraciones de ácido 4 metil hipúrico (3MHA)

Variable	Grupo	Test	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
4HA (ug/mL)	GCM	POST TEST	15	234,71	125,46	312,87	24,47	0,0007
4HA (ug/mL)	GCM	PRE TEST	15	78,44	125,78	0,00		
4HA (ug/mL)	HMM	POST TEST	15	209,51	153,35	313,13		
4HA (ug/mL)	HMM	PRE TEST	15	272,63	110,70	314,67		
4HA (ug/mL)	HMV	POST TEST	15	272,62	110,69	314,24		
4HA (ug/mL)	HMV	PRE TEST	15	295,23	81,84	314,67		
4HA (ug/mL)	MMM	POST TEST	15	168,31	162,97	313,83		
4HA (ug/mL)	MMM	PRE TEST	15	189,68	160,32	313,16		

Trat.	Ranks
GCM:PRE TEST	32,00 A
GCM:POST TEST	42,00 A B
HMM:POST TEST	57,93 B C
MMM:POST TEST	59,87 B C
MMM:PRE TEST	62,87 B C
HMV:POST TEST	73,27 C
HMM:PRE TEST	74,23 C
HMV:PRE TEST	81,83 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 5. Prueba W de Mann -Whitney (Wilcoxon)

Anexo 5.1. Comparación de medianas entre benceno Grupo Control (GC) y benceno EDS

Comparación de Medianas

Mediana de muestra 1: 0,211978

Mediana de muestra 2: 0,374912

Prueba W de Mann-Whitney (Wilcoxon) para comparar medianas

Hipótesis Nula: mediana1 = mediana2

Hipótesis Alt.: mediana1 <> mediana2

Rango Promedio de muestra 1: 11,5

Rango Promedio de muestra 2: 17,5

W = 40,0 valor-P = 0,0822513

No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05.

El StatAdvisor

Esta opción ejecuta la prueba W de Mann-Whitney para comparar las medianas de dos muestras. Esta prueba se construye combinando las dos muestras, ordenando los datos de menor a mayor, y comparando los rankeos promedio de las dos muestras en los datos combinados. Debido a que el valor-P es mayor ó igual que 0,05, no hay diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un 95,0%.

Anexo 5.2. Comparación de medianas entre tolueno Grupo Control (GC) y tolueno EDS

Comparación de Medianas

Mediana de muestra 1: 0,0

Mediana de muestra 2: 0,0141058

Prueba W de Mann-Whitney (Wilcoxon) para comparar medianas

Hipótesis Nula: mediana1 = mediana2

Hipótesis Alt.: mediana1 <> mediana2

Rango Promedio de muestra 1: 14,5

Rango Promedio de muestra 2: 16,0

W = 10,0 valor-P = 0,644096

No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05.

El StatAdvisor

Esta opción ejecuta la prueba W de Mann-Whitney para comparar las medianas de dos muestras. Esta prueba se construye combinando las dos muestras, ordenando los datos de menor a mayor, y comparando los rankeos promedio de las dos muestras en los datos combinados. Debido a que el valor-P es mayor ó igual que 0,05, no hay diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un 95,0%.

Anexo 5.3. Comparación de medianas entre m, p - xileno Grupo Control (GC) y m, p - xileno EDS

Comparación de Medianas

Mediana de muestra 1: 0,0

Mediana de muestra 2: 0,0

Prueba W de Mann-Whitney (Wilcoxon) para comparar medianas

Hipótesis Nula: mediana1 = mediana2

Hipótesis Alt.: mediana1 \neq mediana2

Rango Promedio de muestra 1: 16,4

Rango Promedio de muestra 2: 15,05

W = -9,0 valor-P = 0,526898

No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05.

El StatAdvisor

Esta opción ejecuta la prueba W de Mann-Whitney para comparar las medianas de dos muestras. Esta prueba se construye combinando las dos muestras, ordenando los datos de menor a mayor, y comparando los rankeos promedio de las dos muestras en los datos combinados. Debido a que el valor-P es mayor ó igual que 0,05, no hay diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un 95,0%.

Anexo 5.4. Comparación de medianas entre o - xileno Grupo control (GC) y o – xileno EDS

Comparación de Medianas Mediana de muestra 1: 0,0

Mediana de muestra 2: 0,0

Prueba W de Mann-Whitney (Wilcoxon) para comparar medianas

Hipótesis Nula: mediana1 = mediana2

Hipótesis Alt.: mediana1 \neq mediana2

Rango Promedio de muestra 1: 16,6

Rango Promedio de muestra 2: 14,95

W = -11,0 valor-P = 0,434432

No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05.

El StatAdvisor

Esta opción ejecuta la prueba W de Mann-Whitney para comparar las medianas de dos muestras. Esta prueba se construye combinando las dos muestras, ordenando los datos de menor a mayor, y comparando los rankeos promedio de las dos muestras en los datos combinados. Debido a que el valor-P es mayor ó igual que 0,05, no hay diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un 95,0%.