

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ

VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN TOXICOLOGÍA CON ÉNFASIS EN TOXICOLOGÍA
OCUPACIONAL

EXPOSICIÓN OCUPACIONAL A COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COVS) Y
SU ASOCIACIÓN CON ALTERACIONES HEMATOLÓGICAS EN TRABAJADORES
EXPUESTOS A HIDROCARBUROS, PANAMÁ 2025

MEREDITH DEL CARMEN GONZÁLEZ VICTORIA

TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA

PANAMÁ, REPÚBLICA DE PANAMÁ

2025

EXPOSICIÓN OCUPACIONAL A COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COVS) Y
SU ASOCIACIÓN CON ALTERACIONES HEMATOLÓGICAS EN TRABAJADORES
EXPUESTOS A HIDROCARBUROS, PANAMÁ 2025

PRESENTADO POR: MEREDITH DEL CARMEN GONZÁLEZ VICTORIA

PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRÍA EN TOXICOLOGÍA CON ÉNFASIS EN
TOXICOLOGÍA OCUPACIONAL

JURADO CALIFICADOR:

Dr. Martín Alpírez Director de Tesis _____

Dr. Carlos Montero Miembro del Jurado _____

Dra. Amalia Laborde Miembro del Jurado _____

REPRESENTANTE DE LA VICERRECTORÍA DE
INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO _____

COORDINADOR (A) DE POST GRADO _____

Fecha: 4 mayo de 2026

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía constante en cada paso de este largo camino. Su fortaleza y sabiduría me sostuvieron en los momentos de duda y cansancio, recordándome siempre que todo es posible con fe y perseverancia. A mi familia, pilar fundamental de mi vida, por su amor incondicional, comprensión y apoyo en cada etapa de este proceso. Este logro es también suyo, pues sin su presencia, sus oraciones y su confianza, este sueño no habría sido posible.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por permitirme culminar con éxito este proyecto y brindarme la fortaleza necesaria para alcanzar esta meta profesional.

A mi tutora, Dra. Teresa Rodríguez, por su guía, paciencia y orientación constante durante el desarrollo de esta investigación.

Mi sincero agradecimiento a la empresa y a los trabajadores del laboratorio de certificación de hidrocarburos, por autorizar la realización del estudio y brindar las facilidades necesarias para la medición ambiental y evaluación biológica. Sin su colaboración, esta investigación no habría sido posible.

Extiendo mi agradecimiento al Centro de Estudios sobre Salud Laboral y Ecología Humana de la Fundación Oswaldo Cruz (FIOCRUZ), Brasil, y al Departamento de Toxicología del Hospital de Clínicas “Dr. Manuel Quintela”, Uruguay, por recibirnos durante las pasantías académicas y compartir sus valiosos conocimientos, experiencias y aportes científicos, los cuales enriquecieron significativamente el desarrollo de esta tesis.

Finalmente, a mis compañeros, docentes y al Programa de Maestría en Toxicología con Énfasis en Toxicología Ocupacional de la Universidad de Panamá, por su apoyo académico y humano durante todo este proceso de formación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ABREVIATURAS	ix
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO PRIMERO. MARCO CONCEPTUAL.....	5
1. Antecedentes del estudio	5
1.1 Aspectos generales.....	7
1.1.1 Planteamiento del problema	7
1.1.2 Justificación del estudio.....	9
1.1.3 Hipótesis	10
1.1.4 Objetivos del estudio	10
1.2 Cobertura	10
1.3 Limitaciones	11
CAPÍTULO SEGUNDO. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	13
2. Efectos tóxicos de los compuestos orgánicos volátiles (COVs)	14
2.1. Compuestos orgánicos volátiles (COVs)	14
2.2. Benceno.....	16
2.2.1. Fuente y usos industriales del benceno	16
2.2.2. Vías de exposición al benceno	17
2.2.3. Metabolismo del benceno	17
2.2.4. Signos y síntomas	18
2.2.5. Alteraciones hematológicas por exposición a benceno.....	19
2.2.6. Exposición ocupacional al benceno	22
2.3. Seguimiento de los trabajadores	22
2.3.1. Marco legal en Panamá.....	25
CAPÍTULO TERCERO. MARCO METODOLÓGICO	27
3. Metodología.....	27
3.1. Tipo y diseño de estudio.....	27
3.2. Variables	27

3.3.	Operacionalización de variables.....	27
3.4.	Universo.....	34
3.5.	Población y muestra.....	34
3.6.	Recolección de la información.....	35
3.6.1.	Evaluación de la exposición reciente mediante la cuantificación de COVs 35	
3.6.2.	Evaluación de la exposición de largo plazo por la historia laboral.....	36
3.6.3.	Evaluación de los efectos	37
3.7.	Aspectos éticos	37
3.8.	Tipo de análisis	38
	CAPÍTULO CUARTO. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
4.	Resultados	41
4.1.	Datos generales	41
4.2	Antecedentes de los participantes	42
4.3	Historial laboral	43
4.4	Evaluación de la exposición por zonas mediante la cuantificación de COVs en aire	45
4.5	Evaluación de la exposición de los trabajadores	46
4.6	Datos hematológicos.....	48
	Discusión	53
	CONCLUSIONES.....	62
	RECOMENDACIONES.....	65
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
	ANEXOS	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Efectos sobre la salud asociados con la exposición crónica por inhalación a concentraciones de BTEX.	15
Tabla 2. <i>Criterios para el monitoreo periódico de la salud de los trabajadores expuestos al benceno, según las guías internacionales</i>	23
Tabla 3. <i>Niveles máximos permisibles de algunos COVs de hidrocarburos en Panamá</i>	25
Tabla 4. <i>Características generales de los trabajadores</i>	42
Tabla 5. <i>Antecedentes de los trabajadores</i>	43
Tabla 6. <i>Características higiénico-ocupacionales de los trabajadores</i>	44
Tabla 7. <i>Concentración ponderada en el tiempo (CPT) por zonas</i>	45
Tabla 8. <i>Índice de riesgo</i>	46
Tabla 9. <i>Mediciones ambientales de exposición</i>	47
Tabla 10. <i>Exposición inhalatoria diaria crónica promedio</i>	48
Tabla 11. <i>Resultados de biometría hemática completa</i>	49
Tabla 12. <i>Prueba T de muestras independientes. Datos hematológicos en expuestos según la labor que realizan vs no expuesto</i>	50
Tabla 13. <i>Prueba T de muestras independientes. Datos hematológicos en expuestos según medición ambiental de COVs</i>	51
Tabla 14. <i>Prueba T de muestras independientes. Datos hematológicos en expuestos según exposición diaria promedio benceno</i>	52
Tabla 15. <i>Prueba T de muestras independientes. Datos hematológicos en expuestos según la labor que realizan vs no expuesto</i>	88
Tabla 16. <i>Prueba T de muestras independientes. Datos hematológicos en expuestos según años total laborando</i>	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistemas fisiológicos y órganos susceptibles a impactos de BTEX.	16
Figura 2. <i>Principales pasos del metabolismo del benceno, sus productos y las enzimas involucradas</i>	18
Figura 3. <i>Evaluación de la exposición por zonas (CPT). Laboratorio hidrocarburos</i>	86
Figura 4. <i>Formula exposición inhalatoria diaria promedio CDI</i>	87
Figura 5. <i>Diagrama de procesos generales de la empresa</i>	91
Figura 6. <i>Diagrama de proceso del muestreo</i>	91

ABREVIATURAS

COVs: compuestos orgánicos volátiles

BTEX: benceno, tolueno, etilbenceno y xileno

AhR: receptor de hidrocarburos arílicos

LMA: leucemia mieloide aguda

CYP: citocromo-P450

PPM: partes por millón

ROS: especies reactivas de oxígeno

SMD: síndrome mielodisplásico

IARC: International Agency for Research on Cancer

OIT: Organización Internacional del Trabajo

HQ: hidroquinona

BQ: benzoquinona

S-PMA: ácido S-fenil-mercaptúrico

T, T-MA: ácido trans, trans-mucónico

CPT: concentración ponderada en el tiempo

IR: índice de riesgo

TWA: time-weighted average

RESUMEN

Este estudio, pionero en Panamá, analiza la exposición ocupacional a compuestos orgánicos volátiles (COVs) y su asociación con alteraciones hematológicas en trabajadores de un laboratorio de certificación de hidrocarburos. Se evaluó a 30 trabajadores, diferenciando entre expuestos y no expuestos según el área de trabajo. La metodología incluyó la medición ambiental de COVs en el aire mediante un detector de gases en tiempo real y la evaluación biológica a través de biometría hemática completa, con el fin de identificar posibles alteraciones hematológicas relacionadas con la exposición. Aunque las concentraciones promedio de COVs fueron bajas, se detectaron niveles de benceno superiores a los límites internacionales de exposición ocupacional en zonas específicas. En los análisis hematológicos se evidenciaron diferencias significativas entre ambos grupos, destacando la disminución del recuento plaquetario (248.64 vs 306.54 $p=0.01$) y de porcentaje de neutrófilos (51.09% vs 58.14% $p=0.04$), así como un aumento en eosinófilos (3.62% vs 2.36%, $p=0.05$), recuento absoluto de linfocitos (2.96 vs 2.32, $p=0.00$) y recuento absoluto de eosinófilos (0.27 vs 0.17, $p=0.02$) entre los trabajadores expuestos versus los no expuestos. Estos hallazgos demuestran alteraciones biológicas aun en condiciones consideradas seguras, lo que resalta la necesidad de fortalecer los controles ambientales y de protección laboral. Los resultados respaldan la implementación de programas de vigilancia médica ocupacional con énfasis en la evaluación hematológica periódica, contribuyendo a la prevención y detección temprana de efectos asociados a la exposición a hidrocarburos en Panamá.

Palabras clave: compuestos orgánicos volátiles, benceno, hidrocarburos, toxicología ocupacional, alteraciones hematológicas.

ABSTRACT

This pioneering study in Panama analyzes occupational exposure to volatile organic compounds (VOCs) and its association with hematological alterations in workers at a hydrocarbon certification laboratory. Thirty workers were evaluated and classified as exposed or non-exposed based on their work area. The methodology included environmental measurement of airborne VOCs using a real-time gas detector and biological assessment through complete blood count analysis to identify potential hematological alterations related to exposure. Although average VOC concentrations were low, benzene levels exceeding international occupational exposure limits were detected in specific areas. Hematological analyses revealed significant differences between the two groups, notably a decrease in platelet count (248.64 vs. 306.54, $p=0.01$) and neutrophil percentage (51.09% vs. 58.14%, $p=0.04$), as well as an increase in eosinophils (3.62% vs. 2.36%, $p=0.05$), absolute lymphocyte count (2.96 vs. 2.32, $p=0.00$), and absolute eosinophil count (0.27 vs. 0.17, $p=0.02$) among exposed workers compared to non-exposed workers. These findings demonstrate biological alterations even under conditions considered safe, highlighting the need to strengthen environmental and occupational protection controls. The results support the implementation of occupational medical surveillance programs with an emphasis on periodic hematological evaluation, contributing to the prevention and early detection of effects associated with hydrocarbon exposure in Panama.

Keywords: volatile organic compounds, benzene, hydrocarbons, occupational toxicology, hematological alterations.

INTRODUCCIÓN

La exposición a compuestos orgánicos volátiles (COVs) constituye una de las principales preocupaciones en materia de salud ocupacional a nivel mundial. Estos compuestos, caracterizados por su alta volatilidad y presencia en una amplia gama de procesos industriales, son liberados al ambiente durante la producción, manipulación y almacenamiento de sustancias derivadas del petróleo, solventes, pinturas, adhesivos y combustibles. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), la exposición crónica a COVs representa un riesgo significativo para la salud de los trabajadores, especialmente en ocupaciones relacionadas con la petroquímica, el transporte de combustibles, la industria automotriz, la impresión y los laboratorios de análisis de hidrocarburos. En estos entornos, la exposición puede ser constante y prolongada, incluso en niveles bajos, generando efectos acumulativos sobre el organismo. Estudios realizados en diversas regiones del mundo, como Estados Unidos, Europa y América Latina, han evidenciado concentraciones preocupantes de benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (BTEX) en ambientes laborales, lo que ha motivado la implementación de normas y límites de exposición ocupacional más estrictos por parte de organismos como la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y la Organización Internacional del Trabajo (OIT).

En los laboratorios dedicados al análisis y certificación de hidrocarburos, el riesgo de exposición a COVs es particularmente elevado debido al contacto directo con muestras crudas, solventes y vapores generados durante los procedimientos analíticos. En estos entornos se emplean técnicas instrumentales que implican el uso de disolventes orgánicos volátiles y la manipulación frecuente de compuestos derivados del petróleo, lo que aumenta el potencial de exposición tanto por inhalación como por contacto dérmico. La ventilación inadecuada, el uso inconsistente de equipos de protección personal y la manipulación repetida de muestras son factores que pueden incrementar el riesgo de absorción de estos compuestos. Aunque las normativas internacionales establecen límites permisibles de exposición, en muchos países en desarrollo —incluido Panamá— los mecanismos de control y monitoreo aún son limitados, lo que plantea la necesidad de estudios locales que evalúen las condiciones reales de exposición y sus posibles implicaciones en la salud de los trabajadores.

Los efectos sobre la salud derivados de la exposición a COVs son diversos y dependen tanto del tipo de compuesto como de la dosis y la duración de la exposición. Entre los efectos agudos más comunes se encuentran irritación ocular y respiratoria, cefaleas, mareos y náuseas. Sin embargo, la exposición crónica puede generar consecuencias más graves, incluyendo daño hepático, renal y neurológico. Entre los riesgos más relevantes destacan los efectos hematológicos asociados a ciertos hidrocarburos aromáticos, especialmente el benceno, clasificado por la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer IARC como carcinógeno del Grupo 1 debido a la evidencia concluyente sobre su capacidad cancerígena en humanos. La exposición prolongada al benceno se ha relacionado con alteraciones en la médula ósea, disminución de los glóbulos blancos, anemia aplásica y un mayor riesgo de desarrollar leucemia mieloide. Estos efectos hematotóxicos reflejan la importancia de evaluar los parámetros sanguíneos de los trabajadores expuestos, como un indicador temprano de daño y un componente esencial de los programas de vigilancia médica ocupacional. La literatura científica reciente subraya la necesidad de correlacionar los niveles ambientales de exposición con los biomarcadores hematológicos, a fin de establecer una relación causal más sólida y orientar estrategias preventivas.

En este contexto, la presente investigación tiene como propósito analizar la exposición a hidrocarburos y benceno, y su relación con alteraciones hematológicas en trabajadores de un laboratorio de certificación de hidrocarburos en Panamá. Se pretende, en primer lugar, caracterizar el tipo y nivel de exposición a hidrocarburos en las diferentes áreas del laboratorio; en segundo lugar, identificar las posibles alteraciones hematológicas derivadas de dicha exposición, y finalmente, asociar los datos ambientales con los hallazgos biológicos, con el fin de determinar si existe una relación significativa entre ambos. Este estudio busca generar evidencia científica local que contribuya al fortalecimiento de las políticas de salud ocupacional y al desarrollo de estrategias de prevención específicas para el sector de análisis de hidrocarburos. Asimismo, sus resultados podrán servir como referencia para futuras investigaciones y para la implementación de programas de monitoreo ambiental y biológico en el ámbito laboral panameño, promoviendo entornos de trabajo más seguros y sostenibles.

CAPÍTULO PRIMERO. MARCO CONCEPTUAL

1. Antecedentes del estudio

La exposición a hidrocarburos en el ambiente laboral en ocupaciones relacionadas con derivados del petróleo ha sido asociado con las siguientes operaciones (CONCAWE, 1985) (CONCAWE, 1987): refinería conducentes a la producción de gasolina; inmersión de tanques, reparación de tuberías y bombas y limpieza de filtros, terminales de distribución y depósitos; mantenimiento, inspección y limpieza de tanques de almacenamiento de gasolina; distribución de gasolinas vía transferencia a granel y terminales; encargados de estaciones de servicio; mantenimiento de motores y vehículos; y muestreo de rutina y análisis de laboratorio de gasolina. En el laboratorio, las muestras de petróleo crudo y sus fracciones de destilación se analizan para determinar una variedad de propiedades físicas y químicas que afectarán el valor y el tratamiento del petróleo. Estas pruebas normalmente se realizan de acuerdo con los procedimientos reconocidos por la industria, que van desde pruebas simples como azufre y densidad hasta pruebas más elaboradas como destilaciones al vacío de productos derivados del petróleo. Otras operaciones o trabajos que involucran exposición a gasolina incluyen: ajuste de bombas de gasolina en estaciones de servicio (Andersson et al., 1984), y el uso de gasolina como solvente de limpieza de metales (Verwilghen et al., 1975) (Halder et al., 1986) (IARC, 1989).

Existen datos cuantitativos de exposición típicos para hidrocarburos totales y benceno de varias actividades laborales según el puesto de trabajo, por ejemplo: Las concentraciones más altas de TWA de 8 horas en general se han observado para las operaciones de llenado de tambores y carga marítima, mientras que los empleados de las estaciones de servicio tienen los niveles de exposición más bajos. Pueden ocurrir altas concentraciones a corto plazo en el aire durante las operaciones de carga en camiones cisterna sin sistema de recuperación de vapor; se observan niveles más bajos durante la jornada laboral completa de los conductores de cargadores (Phillips & Jones, 1978). La exposición personal promedio ponderada en el tiempo de 8 horas reportada en cargadores de gasolina a granel y tambores y limpiadores de tanques es de 40 a 850 mg/m³ de hidrocarburos totales y de 1 a 27 mg/m³ de benceno, y para cargadores a granel de hasta 6 mg/m³ 1,3-butadieno. No obstante, se han reportado niveles más altos de

exposición al benceno para la carga de gasolina por ferrocarril y para algunas operaciones de limpieza de tanques de almacenamiento de gasolina (IARC. et al., 1989).

Entre los efectos hematológicos por exposición a hidrocarburos ha sido reportado leucocitopenia (13 %), trombocitopenia (7 %) y eritrocitos de pequeño diámetro entre 200 tripulantes de petroleros que operaban principalmente en la cuenca del Mar Negro. Se observó una relación entre la antigüedad en el servicio de los marineros en los buques tanque y los cambios hematológicos (Kirjakov et al., 1966), (IARC, 1989). En cuanto al benceno, según la revisión realizada por Snyder en el 2012, la exposición ocupacional varía desde concentraciones bajas, que se cree que no tienen efecto en humanos, hasta concentraciones altas, que van hasta varios cientos de partes por millón (ppm), lo que resulta en que los trabajadores muestren disminuciones en la cantidad de eritrocitos, leucocitos y / o trombocitos en sangre circulante. La disminución del número de los tres tipos de células se denominó pancitopenia y, por lo general, se encontró que era consecuencia de una de anemia aplásica. Por tanto, ahora se reconoce que la exposición al benceno también puede conducir al desarrollo de mielodisplasia, un estado preleucémico, y a uno de los muchos tipos de cánceres de la sangre denominados leucemias (Snyder, 2012).

Más recientemente, en el 2021, los autores Teklu y colaboradores realizaron un estudio transversal sobre el efecto de la exposición a gasolina en los parámetros hematológicos en la ciudad de Mekelle, región de Tigray, al norte de Etiopía. El estudio incluyó 43 sujetos (grupo expuesto) y 77 sujetos (grupo no expuesto) con edad y sexo apareados, donde hallaron que el recuento medio de glóbulos rojos (10^{12} /L), HCT (%), HGB (g/dl) y recuento de plaquetas (10^9 /L) del grupo expuesto fueron significativamente menores ($4,88 \pm 0,573$, $43,29 \pm 3,71$, $15,04 \pm 1,33$ y $248,95 \pm 58,19$) en comparación con los controles ($5,35 \pm 0,533$, $44,95 \pm 3,10$, $15,59 \pm 1,26$ y $292,45 \pm 62,17$) en $p < 0,05$, respectivamente (Teklu et al., 2021).

En Latinoamérica, específicamente en Brasil, en el 2015 se llevó a cabo un monitoreo ambiental y biológico de la exposición al benceno en sangre y orina en grupo de 60 empleados de gasolineras, todos con un tiempo mínimo de seis meses de permanencia laboral. Además, se incluyeron veintiocho sujetos del grupo control, observándose una disminución en el contenido de glóbulos rojos y de hemoglobina en el grupo expuesto en comparación con el grupo control. (Moro et al., 2015). Hasta el momento, no se han identificado estudios de este tipo de exposición en Panamá.

1.1 Aspectos generales

1.1.1 Planteamiento del problema

Los compuestos orgánicos volátiles (COVs) se hallan entre los principales contaminantes orgánicos del aire urbano, los cuales causan gran preocupación debido a sus efectos adversos sobre la salud humana a corto y a largo plazo, debido a sus propiedades carcinógenas y tóxicas (Hu et al., 2018). Las fuentes comunes de exposición a COVs incluyen la contaminación del aire relacionada con el tráfico, exposiciones ocupacionales, procesos industriales, productos de consumo, adhesivos, humo de tabaco y quema de carbón. (Cakmak et al., 2020). Pero la extracción de petróleo y gas natural, las actividades petroquímicas y la quema de combustibles fósiles en industrias, hogares y fuentes móviles son los principales contribuyentes de COVs (Montero-Montoya et al., 2018). Algunos COV son muy tóxicos, El 1,3-butadieno, el tricloroetileno y el benceno son cancerígenos para los humanos (grupo 1) y el diclorometano, el tetracloroetileno y el estireno son probablemente cancerígenos para los humanos (grupo 2^a). (IARC, 2019). Además, los homólogos del benceno, como el tolueno, el etilbenceno y el xileno, también presentan efectos nocivos de alto potencial para los sistemas nervioso, de desarrollo y/o inmunitario del organismo (Jia et al., 2021).

En la lista de enfermedades profesionales de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) aparecen el grupo de enfermedades causadas por los derivados halogenados de los hidrocarburos alifáticos o aromáticos, así como las enfermedades causadas por benceno o sus homólogos (OIT, 2010). Las exposiciones ocupacionales agudas y crónicas a COVs se han asociado con cambios en los perfiles hematológicos, daño al hígado y los riñones, malignidad hematológica, aberraciones cromosómicas, enfermedades cardiovasculares y muerte. (ATSDR, 2004), (Wilbur et al., 2008), (Cakmak et al., 2020). Las terminales de hidrocarburos manejan grandes cantidades de petróleo crudo y destilados, así como otros productos derivados del petróleo, principalmente al aire libre. Durante la operación continua, muchas de las operaciones unitarias, así como la transferencia de flujos entre unidades, están asociadas con fugas extraviadas u operaciones de muestreo para el control de calidad y

mantenimiento, lo que lleva a la exposición del personal a productos petroquímicos (Tuomi et al., 2018).

Es importante recalcar que Panamá tiene 10 terminales que brindan el servicio de suministro, almacenaje y trasiego de hidrocarburos, en el año 2018, el tráfico de graneles líquidos derivados del petróleo en la República de Panamá fue de 35.8 millones de toneladas, lo que representa un 42 % del tráfico total de mercancías. (Autoridad Marítima de Panamá, n.d.). Por consiguiente, los laboratorios de certificación de calidad de los derivados del petróleo muestrean y analizan diferentes fuentes de hidrocarburos las 24 horas al día para suplir la demanda de sus clientes. La determinación de COVs en el aire de las áreas de trabajo es crucial debido a los efectos críticos de los compuestos orgánicos volátiles (COV) en la salud de los organismos vivos y el medio ambiente. Hoy en día, muchas organizaciones internacionales, como la OMS, la EPA y la FDA, consideran la evaluación de riesgos como un principio para la legislación sobre compuestos químicos (Khajeh et al., 2022).

La exposición ocupacional a COVs por contacto con hidrocarburos y su impacto en la salud son relativamente inexplorados en Panamá. Si bien existen valores de referencia para garantizar la calidad de vida de los trabajadores expuestos, la alta toxicidad del benceno presente en los hidrocarburos se considera peligrosa incluso en niveles bajos, por lo tanto, no existe un límite considerado seguro para la exposición. Para proteger a los trabajadores expuestos a COVs, con base a la normativa internacional se recomienda, como parte de su evaluación médica periódica exámenes de laboratorio de rutina como hemograma con recuento de plaquetas cada 6 meses y examen clínico con orientación dermatológica, hematológica, oftalmológica, otorrinolaringológica, neumológica y neurológica cada año (Albino & Villamil, 2015). Todo esto como herramienta para la evaluación clínico-laboratorio de los primeros signos de los efectos hematotóxicos del benceno.

En Panamá, existe un subreporte de enfermedades laborales por lo que las estadísticas del sistema de registro no expresan lo que está sucediendo en el mundo del trabajo. Esto es válido tanto a nivel institucional como a nivel empresarial y sindical. En consecuencia, desconocemos la incidencia de

morbimortalidad por las enfermedades laborales en el sistema de salud, seguridad social y trabajo tanto en general, como en particular en trabajadores de laboratorios de hidrocarburos. Por lo que se plantea la siguiente pregunta:

¿Cuál será el nivel de exposición a compuestos orgánicos volátiles COVs a los que se enfrentan los trabajadores de un laboratorio de certificación de hidrocarburos de Panamá? y ¿Presentan estos trabajadores alteraciones en el hemograma por exposición a COVs?

1.1.2 Justificación del estudio

Los problemas de salud relacionados con el trabajo se han asociado con una disminución del 4% al 6% en el producto interno bruto de la mayoría de los países. La mortalidad y la morbilidad entre los empleados incurren en costos directos (p. ej., gastos médicos) e indirectos (p. ej., salarios perdidos debido a enfermedades y reclamos del seguro social) (Inoue et al., 2021). Abordar y priorizar adecuadamente los problemas de salud que contribuyen a la carga de morbilidad en el lugar de trabajo mejoraría la sostenibilidad de las empresas y la sociedad.

La determinación de biomarcadores de efecto proporciona herramientas para la detección temprana de alteraciones biológicas causadas por la exposición a hidrocarburos. De acuerdo con las alteraciones que sean identificadas en el hemograma de los trabajadores de un laboratorio de hidrocarburos de esta investigación, pueden ser utilizados como base para estudios más exhaustivos, así como para darle seguimiento de forma oportuna a todos los trabajadores que presenten alteraciones significativas en el hemograma. A esto le debemos sumar que la evaluación simultánea de biomarcadores de exposición y efecto por exposición ocupacional a hidrocarburos pueden adoptarse para iniciativas de salud preventiva al actuar de manera efectiva en la vigilancia de la salud hacia la mejora de la seguridad de los trabajadores ocupacionalmente expuestos (Moro et al., 2015). Basándose en los resultados obtenidos, se contará con una guía para realizar un protocolo de vigilancia de riesgo ocupacional para la exposición a hidrocarburos, la cual podrá ser utilizada en otros tipos de trabajo donde exista exposición a compuestos orgánicos volátiles, este protocolo incluirá información

sobre los tipos de riesgos, áreas de mayor exposición, equipo de protección, seguimiento clínico-laboratorio del personal, entre otras.

1.1.3 Hipótesis

H0. La exposición a Compuestos Orgánicos Volátiles en trabajadores de un laboratorio de hidrocarburos no causa alteraciones en los parámetros hematológicos.

H1: La exposición a Compuestos Orgánicos Volátiles en trabajadores de un laboratorio de hidrocarburos causa alteraciones en los parámetros hematológicos.

1.1.4 Objetivos del estudio

Objetivo general

Analizar la exposición a hidrocarburos y benceno y la relación entre alteraciones hematológicas en trabajadores de un laboratorio de certificación de hidrocarburos en Panamá.

Objetivos específicos

- Caracterizar la exposición a hidrocarburos en un laboratorio de certificación de hidrocarburos de Panamá.
- Identificar el tipo de alteración hematológica derivada de la exposición ocupacional a hidrocarburos.
- Asociar los datos de exposición a hidrocarburos con los hallazgos hematológicos.

1.2 Cobertura

La presente investigación aborda la exposición ocupacional a compuestos orgánicos volátiles (COVs) en trabajadores que manipulan hidrocarburos, así como los hallazgos hematológicos asociados a dicha exposición. Se analiza cómo el contacto continuo con estas sustancias puede generar alteraciones detectables en parámetros sanguíneos, lo que permite establecer una relación entre el ambiente laboral y posibles efectos en la salud. Asimismo, se incorpora el análisis de la exposición desde un enfoque técnico y preventivo, considerando la

importancia de la seguridad en el trabajo, el control de riesgos y la aplicación de medidas de protección para minimizar los efectos adversos derivados de estas sustancias químicas.

Aunque la tesis se desarrolló con una población trabajadora perteneciente a un laboratorio de calidad, el alcance de sus resultados trasciende este contexto específico, ya que los hallazgos pueden extrapolarse a cualquier entorno laboral donde exista exposición a COVs. De esta manera, el estudio no solo aporta evidencia aplicable al grupo investigado, sino que también ofrece un marco de referencia útil para la evaluación, vigilancia y gestión de la exposición ocupacional a estos compuestos en distintos sectores productivos.

1.3 Limitaciones

En la presente investigación se identificaron algunas limitaciones que deben considerarse al interpretar los resultados. En primer lugar, el diseño transversal del estudio solo permitió observar a los trabajadores en un momento específico, sin realizar un seguimiento longitudinal que pudiera evidenciar variaciones en los parámetros biológicos o en la exposición a lo largo del tiempo. A ello se suma que el tamaño de la muestra disminuido, lo cual reduce el poder estadístico. Esta limitación impide detectar con certeza diferencias más sutiles entre los grupos y restringe la generalización de los resultados a poblaciones más amplias.

Además, la empresa donde se llevó a cabo la investigación presenta una dinámica laboral particular, ya que recibe diferentes volúmenes de muestras de manera continua durante las 24 horas del día, los 7 días de la semana. Esta variabilidad en la carga de trabajo impidió establecer un patrón definido de exposición a compuestos orgánicos volátiles (COVs). En consecuencia, no se contó con un horario fijo para la medición ambiental, lo que generó situaciones en las que se colocaban los equipos de monitoreo y no ingresaban muestras, o bien, se recibía un alto volumen de trabajo en ausencia de la medición, limitando así la representatividad de los datos recolectados.

Un aspecto importante para considerar en la interpretación de los resultados de este estudio es la influencia de factores individuales. Las características personales, como edad, sexo, hábitos de vida, estado nutricional, consumo de alcohol o tabaco, así

como condiciones de salud preexistentes, pueden haber incidido en los parámetros hematológicos evaluados. Estas variables no siempre son controlables en el diseño, y su interacción con la exposición a compuestos orgánicos volátiles y benceno podría generar variaciones en los hallazgos, limitando la capacidad de atribuir los efectos observados únicamente a la exposición laboral. Aun así, para disminuir este sesgo se excluyeron trabajadores que reportaban tener alguna enfermedad hematológica como anemia falciforme, anemia ferropénica, talasemia o haber donado sangre.

Asimismo, la heterogeneidad de los grupos constituye otra limitación relevante. Los trabajadores expuestos no emplean de forma uniforme los mismos químicos ni con las mismas intensidades de uso, lo cual introduce un sesgo en la comparación. Esta diversidad en el tipo y concentración de agentes químicos a los que se está expuesto dificulta establecer una relación clara y homogénea, además de reducir la validez interna del estudio.

CAPÍTULO SEGUNDO. MARCO TEÓRICO REFERENCIA

2. Efectos tóxicos de los compuestos orgánicos volátiles (COVs)

2.1. Compuestos orgánicos volátiles (COVs)

Los COVs incluyen hidrocarburos aromáticos, alifáticos, aldehídos, cetonas, éteres, ácidos y alcoholes, con diversos grupos funcionales (halógenos, oxígeno, azufre, nitrógeno o fósforo, excluyendo óxidos de carbono y carbonatos). Aunque un gran número de sustancias se consideran COVs, las más abundantes en el medio ambiente son el benceno y algunos de sus derivados orgánicos, como el tolueno, el etilbenceno y el xileno (o-, m- y p-), denominados conjuntamente BTEX, que comprenden más de 60 % de COVs encontrados en áreas urbanas; por lo tanto, se utilizan como referencia para evaluar los niveles ambientales y la exposición a COV. Los COVs provienen principalmente de fuentes naturales, como los incendios forestales y la transformación de precursores biogénicos; sin embargo, las actividades antropogénicas se han convertido en fuentes importantes de emisiones de COVs tóxicos a la atmósfera, tanto que representan el 25% de los COVs en nuestra atmósfera global. La extracción de petróleo y gas natural, las actividades petroquímicas y la quema de combustibles fósiles en industrias, hogares y fuentes móviles, incluidos automóviles, camiones, autobuses y motocicletas, barcos y aviones, son los principales contribuyentes de COVs, seguidos de los procesos químicos e industriales (fabricación de pinturas, lubricantes, adhesivos, derivados del petróleo), minería, fuentes comerciales, fugas de gas de estufas, calentadores de agua y calderas residenciales y uso de pesticidas en la agricultura (Montero-Montoya et al., 2018).

La gasolina es una mezcla manufacturada que no ocurre naturalmente en el ambiente. La gasolina es producida de petróleo en el proceso de refinación. Es un líquido incoloro, pardo pálido o rosado, y es sumamente inflamable. Típicamente, la gasolina contiene más de 150 productos químicos, incluyendo pequeñas cantidades de benceno, tolueno, xileno, y algunas veces plomo. La manera como se manufactura la gasolina determina qué sustancias químicas y en qué proporción constituyen la mezcla en la gasolina. La composición efectiva varía con la fuente de petróleo crudo, el fabricante y la época del año.(ATSDR, 1996)

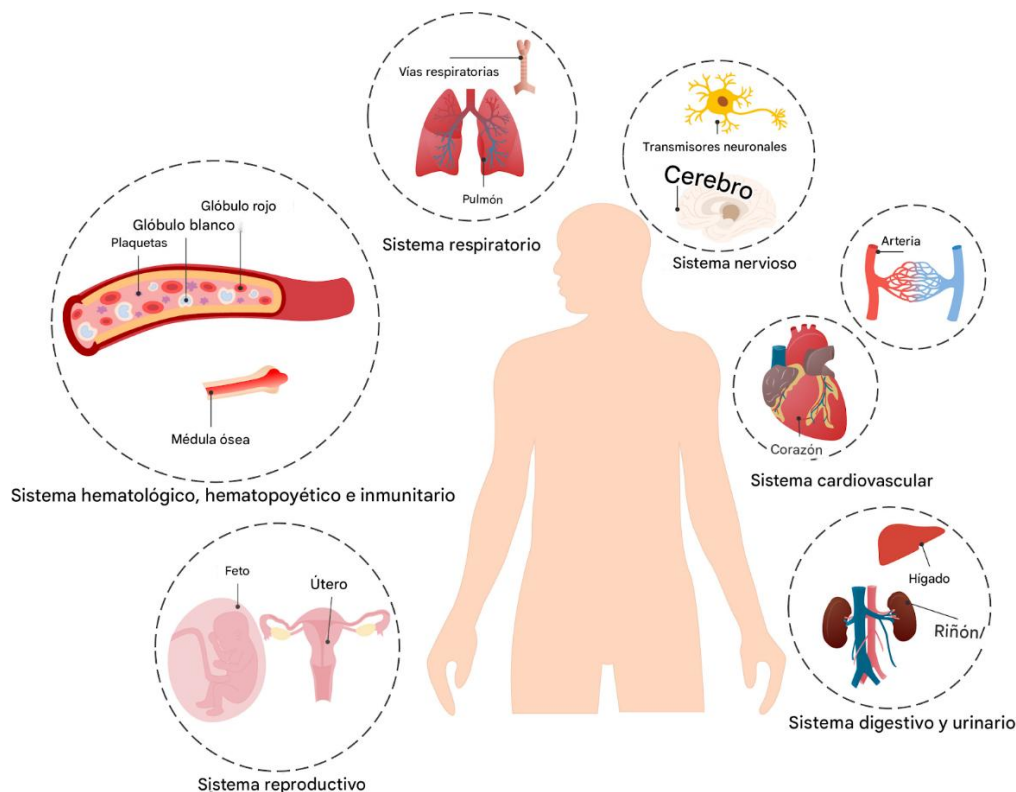
La exposición del ser humano a los compuestos BTEX puede ocurrir por medio de la inhalación, ingestión o contacto con la piel, siendo la inhalación la vía más común, ya que representa más del 90 % de los casos en la población general. Una vez inhalados, estos compuestos son absorbidos con rapidez a través de los pulmones, se distribuyen por el organismo y tienden a acumularse en órganos con alta irrigación sanguínea. La presencia de benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos en el cuerpo puede generar efectos adversos en múltiples sistemas fisiológicos, entre ellos: el respiratorio, cardiovascular, digestivo, urinario, hematológico, hematopoyético, inmunológico, reproductivo y nervioso. La Figura 1 y Tabla 1 ofrece un panorama general de los órganos y sistemas afectados por los BTEX, resaltando sus posibles consecuencias para la salud (Saeedi et al., 2024).

Tabla 1. Efectos sobre la salud asociados con la exposición crónica por inhalación a concentraciones de BTEX.

Efectos sobre la salud asociados con la exposición crónica por inhalación a concentraciones de BTEX	
Compuesto	Efectos sobre la salud por exposición a la inhalación
Benceno	Depresión neurológica (sistema nervioso central (SNC): somnolencia, temblores) Irritante respiratorio y ocular. Hematológicos (trastornos de la sangre - anemia aplásica) Reproductiva/desarrollo (animales: bajo peso al nacer, daño a la médula ósea) Cáncer (leucemia)
Tolueno	Respiratorio (irritación de garganta, constricción del pecho) Efectos en riñones, hígado y ojos. Neurológico (toxicidad del SNC)
Benceno etílico	Neurológico (depresión del SNC: somnolencia, temblores) Insuficiencia renal y hepática Efectos reproductivos y de desarrollo
Xilenos	Irritación de ojos, nariz, piel y garganta. Neurológico (mareos, pérdida de memoria, dolor de cabeza) Gastrointestinales (náuseas, vómitos)

Fuente. (Faraji et al., 2017)

Figura 1. *Sistemas fisiológicos y órganos susceptibles a impactos de BTEX.*



Fuente. (Saeedi et al., 2024)

2.2. Benceno

El benceno es un hidrocarburo monoaromático incoloro y altamente inflamable, con un característico aroma dulce, capaz de disolver y dispersar numerosos compuestos. Las principales vías de exposición son la inhalación y el contacto dérmico, lo que permite que alcance órganos como la médula ósea, el hígado y los riñones. En el organismo, el benceno se metaboliza principalmente en el hígado y la médula ósea, generando metabolitos como fenol, ácido S-fenilmercaptúrico y ácido mucónico, los cuales pueden eliminarse a través de la orina dentro de las 48 horas posteriores a la exposición (Pacheco Coello et al., 2023), (ATSDR, 2007).

2.2.1. Fuente y usos industriales del benceno

Varias industrias usan benceno para fabricar otros productos químicos, como por ejemplo el estireno, cumeno (en varias resinas) y ciclohexano (en nylon y fibras sintéticas). El benceno también se usa en la manufactura de ciertos tipos de

caucho, lubricantes, tinturas, detergentes, medicamentos y plaguicidas. El benceno también se encuentra en el petróleo, en la gasolina y en el humo de cigarrillo. Las fuentes naturales de benceno incluyen las emisiones volcánicas y los incendios forestales, que también contribuyen a la presencia de benceno en el medio ambiente. Los niveles de benceno al aire libre oscilan entre 0.02 y 34 partes de benceno por billón de partes de aire (ppb) (1 ppb es la milésima parte de 1 ppm). Las personas que viven en zonas urbanas o en áreas industriales generalmente están expuestas a niveles de benceno más altos que las que viven en áreas rurales. La gente que vive cerca de sitios de desechos peligrosos, refinerías de petróleo, industrias petroquímicas o estaciones de servicio de gasolina puede estar expuesta a niveles de benceno más altos (ATSDR, 2007).

2.2.2. Vías de exposición al benceno

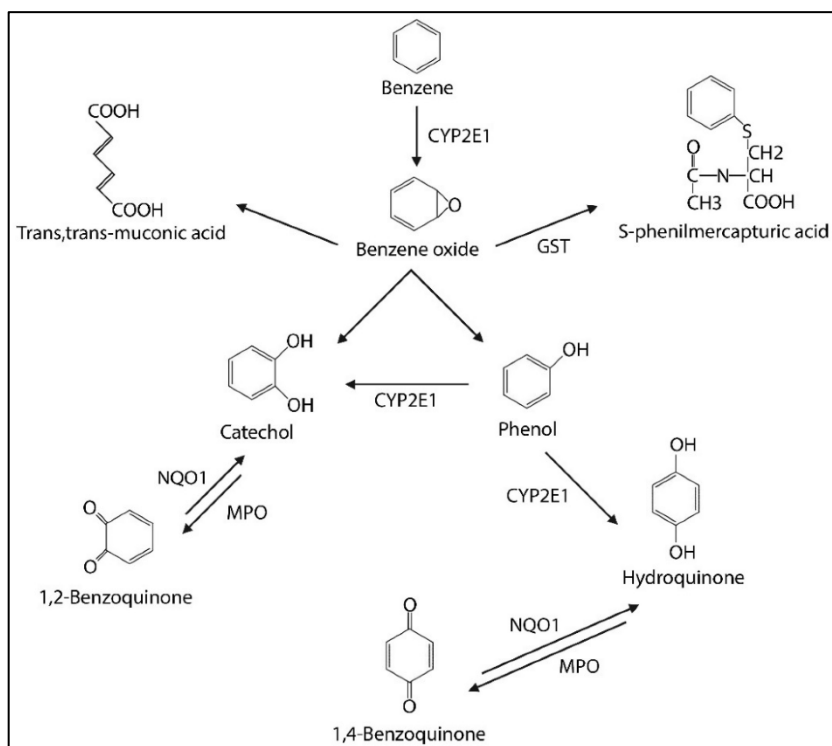
El humo del cigarrillo y la gasolina representan las dos principales fuentes de exposición humana al benceno. La exposición humana al benceno se produce por vía oral, por contacto dérmico o por inhalación de vapores de benceno presentes en el aire. La principal forma de absorción del benceno presente en la gasolina es a través del tracto respiratorio, siendo también absorbido por vía dérmica. Dependiendo del grado de exposición y de la frecuencia a la que se somete el individuo, la exposición al benceno provoca un conjunto de signos, síntomas y complicaciones recogidos en un cuadro denominado intoxicación por benceno, de los cuales se puede destacar efectos locales, como irritaciones de las mucosas, edemas pulmonares, hemorragias, además de efectos sistémicos como mareos, dolor de cabeza, náuseas, taquicardia, temblores, convulsiones, dificultad para respirar, pérdida del conocimiento y muerte (Rodrigues et al., 2020).

2.2.3. Metabolismo del benceno

La absorción del benceno ocurre principalmente por inhalación y, en menor medida, por contacto dérmico o ingestión. Una vez en el organismo, el hígado metaboliza el benceno mediante el sistema del citocromo P450, generando compuestos intermedios catecol, hidroquinona (HQ), benzoquinona (BQ) y ácido S-fenil-mercaptúrico (S-PMA). Además, el óxido de benceno se puede convertir en un producto de apertura de anillo, ácido trans, trans-mucónico (t, t-MA). Estos

metabolitos se transforman en productos solubles que se eliminan por la orina. La médula ósea también participa en el metabolismo del benceno, donde enzimas como la mieloperoxidasa convierten estos compuestos en radicales libres que dañan las células madre hematopoyéticas. Diversas enzimas, como GST y NQO1, también intervienen en este proceso, y las variaciones genéticas en dichas enzimas pueden influir en la susceptibilidad individual a los efectos tóxicos del benceno. Los principales pasos del metabolismo del benceno se ilustran esquemáticamente en la Figura 2 (Cordiano et al., 2022).

Figura 2. *Principales pasos del metabolismo del benceno, sus productos y las enzimas involucradas*



Fuente. (Cordiano et al., 2022)

2.2.4. Signos y síntomas

El contacto directo entre la piel y el benceno puede ocasionar enrojecimiento (eritema), mientras que exposiciones repetidas o prolongadas pueden llevar a sequedad, descamación de la piel (dermatitis) o incluso infecciones cutáneas secundarias. Este compuesto también puede absorberse a través de la piel. En cuanto a los ojos, el benceno en forma de vapor o líquido genera efectos locales

leves, aunque a concentraciones elevadas puede causar escozor ocular. La inhalación de altas concentraciones de benceno puede inicialmente estimular el sistema nervioso central, provocando sensaciones de euforia, agitación o mareo, seguidas por una fase de depresión caracterizada por somnolencia o fatiga. También puede presentarse una sensación de presión en el pecho con dificultad para respirar, lo que podría culminar en pérdida de conciencia. En casos graves, es posible que ocurran temblores, convulsiones y la muerte en cuestión de minutos u horas debido a parálisis respiratoria o colapso circulatorio.(Cal/OSHA, n.d.)

2.2.5. Alteraciones hematológicas por exposición a benceno

La historia natural de la enfermedad permite comprender la evolución de los daños a la salud desde el periodo prepatogénico hasta las manifestaciones clínicas y complicaciones, sin intervención médica. En el caso del benceno, la exposición ocurre principalmente por vía inhalatoria y afecta de manera directa al sistema hematopoyético. Durante el periodo prepatogénico, factores como la concentración del agente, la duración de la exposición y las condiciones laborales influyen en la absorción del benceno, el cual es metabolizado en el hígado a compuestos altamente tóxicos que se distribuyen hacia la médula ósea. Estos metabolitos generan daño celular y genotóxico, constituyendo el inicio del proceso patológico antes de la aparición de signos clínicos evidentes (ATSDR, 2007)

En la fase patogénica temprana, la exposición crónica al benceno puede producir alteraciones hematológicas subclínicas como leucopenia, anemia y trombocitopenia, las cuales pueden progresar hacia pancitopenia y aplasia medular si la exposición persiste. Estas alteraciones reflejan la supresión de la hematopoyesis y el daño a las células madre hematopoyéticas. En estadios avanzados, la historia natural de la enfermedad puede culminar en trastornos hematológicos malignos, especialmente la leucemia mieloide aguda, cuya asociación causal con el benceno ha sido ampliamente documentada en estudios epidemiológicos y toxicológicos. La comprensión de esta progresión resulta fundamental para la vigilancia epidemiológica, el diagnóstico temprano y la implementación de medidas preventivas en poblaciones ocupacionalmente expuestas (Smith, 2010), (Lan et al., 2004).

Se han reportado con frecuencia casos de leucopenia, anemia y trombocitopenia, de forma aislada o combinada, como manifestaciones iniciales. La médula ósea puede presentar un estado normal, aplásico o hiperplásico, sin que estos hallazgos siempre se correspondan con los cambios observados en la sangre periférica. El benceno y sus metabolitos también afectan la función celular, especialmente la capacidad de defensa del huésped. Estudios han demostrado que la exposición al benceno puede inducir inmunosupresión con una reducción en las células T-reg, células NK y linfocitos B y T y deteriorar algunos niveles de inmunoglobulinas en humanos y animales. Debido a que la susceptibilidad individual a los efectos del benceno varía, no existe un patrón hematológico único. Además, los efectos de la exposición prolongada pueden tardar meses o incluso años en manifestarse, por lo que es fundamental considerar la historia ocupacional del paciente para establecer una posible relación con la exposición a este compuesto.(Cal/OSHA, n.d.) (Cordiano et al., 2022)

Múltiples vías están involucradas en el mecanismo de acción del benceno y los efectos de los metabolitos del benceno en el proceso de hematotoxicidad. El benceno es un particular agente mielotóxico, al ser biotransformado en la médula por las mieloperoxidasas a fenol y a un epóxido, que lesiona las células hemopoyéticas produciendo anemia aplásica, iniciada por linfocitopenia (Repetto & Repetto, 2009). El benceno también causa estrés y daño oxidativo asociado con el ADN; genotoxicidad, induciendo daño al ADN y cambios cromosómicos; inmunosupresión; y hematotoxicidad, además de la leucemia no linfocítica, incluida la leucemia mieloide aguda en adultos. También se han encontrado asociaciones positivas con la leucemia linfocítica crónica, la leucemia mieloide crónica, el linfoma no Hodgkin, el mieloma múltiple y el cáncer de pulmón, por lo tanto, el benceno fue clasificado como carcinógeno del Grupo 1 por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer — IARC. (Rodrigues et al., 2020), (Loomis et al., 2017)

Existe información que puntualiza sobre la disminución sutil de la hemoglobina y el número de eritrocitos acompañada de decremento en la hemoglobina corpuscular media, de la concentración media de hemoglobina corpuscular y de macrocitosis, sin embargo, otros estudios no señalan cambio alguno. En cuanto a

la fórmula blanca, se menciona que alrededor de los primeros cuatro meses de exposición, al menos a la fracción bencénica, los leucocitos declinan en aproximadamente 1000 células/mm³ y a la linfocitopenia acompañante se le debería considerar el dato más precoz de hematotoxicidad, y de prolongarse la exposición por más de 55 meses, se presenta depresión cuantitativa sostenida de linfocitos T sin que se haya asociado aún con deficiencias clínicamente demostrables sobre trabajadores expuestos, lo que indica que los linfocitos T, aunque disminuidos en número, son quizás plenamente funcionales. Por otro lado, ambientes laborales con benceno detectable han mostrado depresión del nivel circulante de linfocitos B. (Haro-García et al., 2012)

La médula ósea es un tejido altamente dinámico responsable de la hematopoyesis, proceso mediante el cual se producen de forma continua las células sanguíneas a partir de células madre hematopoyéticas. La renovación de este sistema es constante debido a la corta vida media de muchas células sanguíneas. Aunque no existe un tiempo único para la renovación completa de la médula ósea, se reconoce que los progenitores hematopoyéticos se dividen y diferencian de manera continua, y que la recuperación funcional tras una agresión puede requerir desde varias semanas hasta meses, dependiendo de la magnitud del daño y de la capacidad de autorrenovación de las células madre (Hoffman et al., 2017). La exposición al benceno interfiere de manera significativa con este proceso de renovación medular, ya que sus metabolitos tóxicos afectan directamente a las células madre hematopoyéticas y al microambiente de la médula ósea. En estudios con animales expuestos durante largos periodos (por ejemplo, 20–32 semanas de exposición continua a benceno), la capacidad de las células madre hematopoyéticas para reconstituir la médula ósea se redujo significativamente, y la recuperación completa de la función de estas células fue extremadamente lenta o nula incluso muchos meses después de cesar la exposición. Esto sugiere que el daño al mecanismo de renovación normal puede persistir más allá del periodo de exposición y comprometer la capacidad de la médula para producir células sanguíneas (Y. Zhang et al., 2025).

2.2.6. Exposición ocupacional al benceno

Los efectos adversos para la salud derivados de la exposición ocupacional al benceno se manifiestan principalmente en enfermedades hematológicas, como la leucemia y la anemia aplásica. Estas afecciones se observaron inicialmente en entornos laborales donde las concentraciones de benceno en el aire alcanzaban decenas o incluso cientos de partes por millón (ppm). Dichas observaciones, junto con los estudios toxicológicos realizados en animales, llevaron al establecimiento de estándares de seguridad laboral en muchos países, con el objetivo de limitar las concentraciones de benceno en el aire a niveles seguros para los trabajadores (Weisel, 2010).

La Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH) es una entidad científica dedicada a promover la salud ocupacional y ambiental. Recientemente, la ACGIH actualizó sus límites de exposición al benceno. Los valores establecidos por esta organización son empleados por empresas y autoridades gubernamentales para favorecer ambientes laborales más seguros frente a sustancias potencialmente tóxicas.

El nuevo valor límite umbral (TLV) para el benceno se ha fijado en 0,02 ppm, lo que representa una reducción de 25 veces respecto al estándar previo (0.5ppm). Es importante señalar que el benceno puede absorberse con facilidad a través de la piel, especialmente en trabajadores cuyas manos presentan cortes o abrasiones, como mecánicos y maquinistas. Esta disminución del TLV se fundamenta en estudios recientes que muestran que incluso la exposición a bajas concentraciones de benceno puede incrementar el riesgo de desarrollar cánceres, incluyendo la leucemia mieloide aguda (ACGIH).

2.3. Seguimiento de los trabajadores

La vigilancia de la salud constituye un componente esencial de los servicios de salud ocupacional, orientado a la detección temprana de efectos adversos derivados de la exposición a riesgos laborales y a la adopción de medidas preventivas y protectoras individualizadas. Según las recomendaciones internacionales de la OIT, la vigilancia de la salud debe comprender, en los casos

y bajo las condiciones establecidos por la autoridad competente, las siguientes evaluaciones:

- Evaluación preasignación para tareas con potencial riesgo para la salud del trabajador o de terceros.
- Evaluaciones periódicas en puestos con exposición a riesgos específicos.
- Evaluación al reinicio laboral tras ausencias prolongadas por motivos de salud, con el propósito de identificar posibles causas de origen profesional, recomendar medidas de protección, valorar la aptitud para el puesto y determinar necesidades de reubicación o rehabilitación.
- Evaluación al término de la exposición a riesgos que puedan inducir deterioros futuros de la salud. (Recomendación núm. 171 de la OIT, 1985)

Se establece la obligación de adoptar medidas que garanticen la confidencialidad de los datos y prohíban el uso de la vigilancia con fines discriminatorios o perjudiciales para los intereses del trabajador. En situaciones de exposición a riesgos profesionales específicos, la vigilancia debe extenderse —cuando sea procedente— a exámenes e investigaciones adicionales para detectar niveles de exposición y efectos biológicos tempranos o respuestas iniciales. Cuando exista un método válido y aceptado de vigilancia biológica para la detección precoz de efectos sobre la salud, este podrá aplicarse para identificar trabajadores que requieran examen médico detallado, siempre con consentimiento individual explícito del trabajador. Los servicios de salud ocupacional deben ser informados de los casos de enfermedad y de las ausencias por motivos de salud entre los trabajadores, con el fin de evaluar posibles vínculos con riesgos presentes en el lugar de trabajo. (Organización Internacional del Trabajo OIT, 1985)

Hay varios procedimientos recomendados para monitorear a los trabajadores expuestos a benceno ya sea de forma semestral o anual:

Tabla 2. *Criterios para el monitoreo periódico de la salud de los trabajadores expuestos al benceno, según las guías internacionales*

Criterios para el monitoreo periódico de la salud de los trabajadores expuestos al benceno, según las guías internacionales		
Periodicidad	Análisis	Detalles
Semestralmente	Ácido t, t-mucónico	• Muestra de orina emitida espontáneamente al finalizar la jornada laboral y refrigerada, • Método sugerido HPLC. • Índice biológico de exposición; ác. t, t, mucónico en orina: 500 ug/g de creatinina. (ACGIH, 2015).
	Ácido s-fenilmercaptúrico	• Muestra de orina emitida espontáneamente al finalizar la jornada laboral. • La muestra refrigerada debe ser recogida al final de la jornada laboral. • Método sugerido HPLC- MS, HPLC-MS/MS. • Índice biológico de exposición: Ác S-fenilmercaptúrico en orina: 25 ug/g de creatinina.
	Hemograma	• Eritrocitos < de 3.900.000 x mm³. • Hematocrito < del 35%. • Leucocitos < de 3.500 x mm³. • Neutrófilos < de 1.200 x mm³. • Plaquetas < de 150.000 x mm³.
Anualmente	Examen clínico, con orientación	• Dermatológica: dermatitis irritativa. • Hematológica: astenia, palidez, fiebre, gingivorragia, epistaxis. • Oftalmológica: irritación conjuntival. • Otorrinolaringológica: irritación de vías aéreas superiores. • Neumológica: traqueo bronquitis. • Neurológica: depresión del SNC, polineuropatía.

Fuente: (Albino & Villamil, 2015)

2.3.1. Marco legal en Panamá

La Resolución No. 124 de 20 de marzo de 2001, del Ministerio de Comercio e Industrias, Dirección General de Normas y Tecnología Industrial, de Panamá, que adopta el reglamento técnico DGNTI – COPANIT 43 -2001, “para la higiene y seguridad industrial, condiciones de higiene y seguridad para el control de la contaminación atmosférica en ambientes de trabajo producida por sustancias químicas”, se establecen los niveles máximos permisibles para distintos COVs y la capacidad cancerígena en los seres humanos de las distintas sustancias químicas antes mencionadas (Tabla 3) (Ministerio de Comercio e Industrias, 2001).

Tabla 3. Niveles máximos permisibles de algunos COVs de hidrocarburos en Panamá

Niveles máximos permisibles de algunos COVs de hidrocarburos en Panamá			
Compuesto	CPT (ppm) (8 horas)	CCT (ppm) (15 minutos)	Clasificación carcinogénica
Benceno	1	5	1
Tolueno	50	200	3
Xileno	100	150	----
Etilbenceno	100	125	2B
N-Hexano	500	1000	----
Naftaleno	10	15	2B
1,2 dicloroetano	100 mg/m ³	400 mg/m ³	2B

Valores Límites Permisibles Normas Internacionales			
Compuesto	OSHA PEL (TWA 8h)	NIOSH REL	ACGIH TLV 2025
Benceno	1 ppm	0.1 ppm (TWA) / 1 ppm (STEL)	0.02 ppm (TWA)
Tolueno	200 ppm	100 ppm (TWA) / 150 ppm (STEL)	20 ppm (TWA)
Xileno	100 ppm	100 ppm (TWA) / 150 ppm (STEL)	20 ppm (TWA)

Fuente: Reglamento técnico DGNTI – COPANIT 43 -2001. CPT (concentración ponderada en el tiempo 8 horas). CCT (concentración para exposición de corto tiempo 15 minutos). Clasificación carcinogénica de la IARC. PEL (Permissible Exposure Limit), REL (Recommended Exposure Limit), TLV (Threshold Limit Value), TWA (Promedio ponderado en 8 horas), STEL: (Límite de exposición de corta duración 15 min)

CAPÍTULO TERCERO. MARCO METODOLÓGICO

3. Metodología

3.1. Tipo y diseño de estudio

Estudio transversal analítico: Se analizaron los parámetros hematológicos en grupos de trabajadores con diferentes niveles de exposición a hidrocarburos, utilizando como indicador de exposición el nivel de COVs totales en el aire.

3.2. Variables

Variables independientes: Niveles de compuestos orgánicos volátiles, antigüedad laboral, tiempo de exposición, equipo de protección laboral.

Variable dependiente: hemoglobina, hematocrito, eritrocitos, leucocitos, plaquetas.

Variables de control: sexo, fumador.

3.3. Operacionalización de variables

Nombre de la Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
Variables demográficas				
Edad	Años cumplidos que tiene la persona desde su fecha de nacimiento	Tiempo en años transcurrido desde el nacimiento hasta el momento de capturar los datos del estudio.	<20 Años 21-30 Años 31-40 Años 41-50 Años >50 Años	Cualitativa, ordinal
Sexo	Características biológicas y fisiológicas que definen a hombres y mujeres	Condición sexual, masculina o femenina con la que se le identifica al trabajador.	1.Femenino 2.Masculino	Cualitativa, nominal

Peso corporal	Masa o cantidad de peso de un individuo. Se expresa en unidades de libras o kilogramos.	Registro en el cuestionario del peso corporal	Medición registrada por báscula en kilogramos	Cuantitativa , continua
Escolaridad	Nivel educativo alcanzado y aprobado en algún tipo de institución educativa.	Nivel académico alcanzado por el trabajador al momento de realizado el estudio.	1. Analfabeta 2. Primaria 3. Secundaria 4. Técnico 5. Universitaria	Cualitativa, ordinal
Fumador	Hábito de inhalar tabaco mediante el consumo de cigarrillos	Hábito del trabajador de inhalar tabaco mediante el consumo de cigarrillos.	1. Si 2. No	Cualitativa, nominal
Enfermedad hematológica	Conjunto de patologías que afectan a los componentes de la sangre, en cuanto a su composición, cantidad o morfología.	Patología que afecta al sistema hematológico diagnosticada antes del estudio	1.Si 2.No 3.Cual_____	Cualitativa, nominal
Otras enfermedades	Alteración o desviación del estado fisiológico en una o varias partes del cuerpo, por causas en general conocidas,	Enfermedades que ya sea por su mecanismo fisiopatológico o tratamiento pueden afectar al trabajador al momento del	1. Hipertensión 2. Diabetes 3. Epilepsia 4. ERC 5. Dengue 6. Malaria 7. Otra.	Cualitativa, nominal

	manifestada por síntomas y signos característicos, y cuya evolución es más o menos previsible	estudio		
Variables Independientes, Variables de exposición				
Tarea que desempeña	Conjunto de actividades que son realizadas con el objetivo de alcanzar una meta, solucionar un problema o producir bienes y servicios	Labor que desempeña específicamente el trabajador en el laboratorio de hidrocarburos	Tipo de tarea que desempeña	Cualitativa, nominal
Tiempo de exposición (ET)	Tiempo en el cual una persona puede ponerse en contacto con una sustancia química.	Tiempo que el trabajador tiene contacto con hidrocarburos.	1.Horas/Día	Cuantitativa
Frecuencia de exposición (EF)	Se refieren a la frecuencia con la que ocurre la exposición	Se refieren a la frecuencia con la que ocurre la exposición en el lugar de trabajo	Días/año	Cuantitativa
Duración de exposición (ED)	Cantidad de tiempo que un individuo o población está expuesta al contaminante que se	Cantidad de tiempo que el trabajador está expuesta al contaminante que se está evaluando y se	Años	Cuantitativa

	está evaluando y se expresa en años.	expresa en años.		
Uso de equipo de protección personal	Utilización de medidas que protegen al trabajador durante el desempeño de su labor.	Utilización de medidas que protegen al trabajador durante el desempeño de su labor.	1. Si 2. No	Cualitativa, nominal
Compuestos orgánicos volátiles COVs	Conjunto de hidrocarburos que, en circunstancias normales se encuentran en forma gaseosa a temperatura ambiente, son compuestos volátiles, liposolubles, tóxicos, inflamables y ligeros que pueden tener efectos adversos en la salud a corto y a largo plazo.	Indicador ambiental de exposición a hidrocarburos determinado en muestra de aire obtenida del lugar de trabajo.	Valor continuo COVs $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuantitativa
Variables Dependientes. Variables de efecto				
Hemoglobina	Proteína del interior de los glóbulos rojos que transporta oxígeno desde los pulmones a los	Análisis de sangre que determina la cantidad de proteína hemoglobina en sangre	Hombre: Baja: <13 g/dl Normal 13-17 g/dl Aumentada: >17 g/dl	Cualitativa, ordinal

	tejidos y órganos del cuerpo.		Mujer Baja: < 12 g/dl Normal: 12-15 g/dl Aumentada: >15 g/dl	
Hematocrito	Cantidad de sangre total compuesta de glóbulos rojos.	Análisis de sangre que determina el porcentaje del volumen de toda la sangre que está compuesta por eritrocitos.	Hombre: Baja: <40% Normal: 40-54% Aumentada: >54% Mujer Baja: <37% Normal: 37-47 % Aumentada: >47%	Cualitativa, ordinal
Eritrocitos	Tipo de glóbulo sanguíneo (glóbulos rojos) que se produce en la médula ósea y se encuentra en la sangre.	Análisis de sangre que determina la cantidad total de glóbulos rojos presentes en la sangre.	Hombre: Baja: <4.5 x 10 ⁶ /mm ³ Normal: 4.5-6.5 x 10 ⁶ /mm ³ Aumentada: >6.5 x 10 ⁶ /mm ³ Mujer Baja: <4.0 x 10 ⁶ /mm ³ Normal: 4.0-5.4 x 10 ⁶ /mm ³ Aumentada: >5.4 x	Cualitativa, ordinal

			$10^6/\text{mm}^3$	
Leucocito	Tipo de glóbulo sanguíneo (glóbulos blancos) que se produce en la médula ósea y se encuentra en la sangre y el tejido linfático.	Análisis de sangre que determina la cantidad total de células blancas presentes en la sangre.	Hombre: Baja: $<4.0 \times 10^3 / \text{mm}^3$ Normal: $4-10 \times 10^3 / \text{mm}^3$ Aumentada: $>10 \times 10^3 / \text{mm}^3$ Mujer Baja: $<4.5 \times 10^3 / \text{mm}^3$ Normal: $4.5-13.5 \times 10^3 / \text{mm}^3$ Aumentada: $>13.5 \times 10^3 / \text{mm}^3$	Cualitativa, ordinal
Plaquetas	Fragmento de célula en forma de disco que se encuentra en la sangre y ayudan a producir coágulos sanguíneos	Análisis de sangre que determina la cantidad total de plaquetas presentes en la sangre.	Baja: $<150 \times 10^3 / \text{mm}^3$ Normal: $150-500 \times 10^3 / \text{mm}^3$ Aumentada: $>500 \times 10^3 / \text{mm}^3$	Cualitativa, ordinal
Neutrófilos	Tipo de glóbulo blanco (célula sanguínea) que forma parte del sistema inmunitario y ayuda a combatir las infecciones en el cuerpo.	Análisis de sangre que determina la cantidad total de neutrófilos presentes en la sangre.	Baja: $<50\%$ Normal: $50-70\%$ Aumentada: $>70\%$	Cualitativa, ordinal
Linfocitos	Tipo de célula	Análisis de sangre	Baja: $<25\%$	Cualitativa,

	inmunitaria que se encuentra en la sangre y el tejido linfático. Los dos tipos de linfocitos son los linfocitos B y los linfocitos T.	que determina la cantidad total de linfocitos presentes en la sangre.	Normal: 25-40% Aumentada: >40%	ordinal
Monocitos	Tipo de célula inmunitaria que se elabora en la médula ósea y viaja por la sangre hasta los tejidos del cuerpo, donde se convierte en un macrófago o una célula dendrítica.	Análisis de sangre que determina la cantidad total de monocitos presentes en la sangre.	Normal: 1-10% Aumentada: >10%	Cualitativa, ordinal
Eosinófilos	Tipo de célula inmunitaria que tiene gránulos (partículas pequeñas) con enzimas que se liberan durante las infecciones, las reacciones alérgicas y el asma.	Análisis de sangre que determina la cantidad total de eosinófilos presentes en la sangre.	Normal: 0-5% Aumentada: >5%	Cualitativa, ordinal
Basófilos	Tipo de leucocitos (glóbulos blancos) menos abundante de la familia de los granulocitos.	Análisis de sangre que determina la cantidad total de basófilos presentes en la sangre.	Normal: 0-2% Aumentada: >2%	Cualitativa, ordinal

3.4. Universo

Trabajadores expuestos a hidrocarburos en Panamá

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Treinta trabajadores de un laboratorio de certificación hidrocarburos de Panamá. Para la selección del laboratorio de hidrocarburos a ser incluida en el estudio se estableció contacto telefónico con las empresas que trabajen con hidrocarburos para solicitar la participación en el estudio y se seleccionó para este estudio la empresa que accedió tanto a la evaluación del nivel de COVs en los puestos de trabajo, como a la evaluación de los trabajadores.

3.5.2. Unidad de análisis

Trabajadores que laboren en el laboratorio de hidrocarburos seleccionado.

3.5.3. Criterios de inclusión

- Trabajadores a tiempo completo de un laboratorio de Hidrocarburos.
- Tiempo de exposición laboral (mínimo 6 meses).

3.5.4. Criterios de exclusión

- Trabajadores que presenten enfermedades hematológicas hereditarias como: talasemias, anemia de células falciformes, anemia de Fanconi, esferocitosis hereditaria u otra.
- Trabajadores que realizaron donación de sangre o hemoderivados en los últimos 3 meses.

3.6. Recolección de la información

Para la recolección de información, se visitaron los dueños y/o administradores del laboratorio de hidrocarburos, a quienes se les explicó el propósito del estudio con el fin de obtener su autorización. En esta reunión, se solicitó recorrer las áreas de trabajo para describir el proceso productivo e identificar zonas problemáticas, acordando los sectores y fechas para aplicar los cuestionarios y exámenes, y se elaboró un acta de consentimiento por parte de la empresa. Posteriormente, se invitó formalmente a los trabajadores seleccionados, a quienes se les entregó un consentimiento informado que debían firmar (ANEXO 2). La información de los participantes se obtuvo mediante un cuestionario guiado por el investigador, compuesto por cuatro secciones: datos demográficos (edad, sexo, peso y escolaridad), hábitos y estilo de vida (tabaquismo, consumo de sustancias y bebidas), antecedentes médicos y uso de medicamentos psicoactivos, e información laboral (antigüedad, carga horaria, uso de equipo de protección, capacitación y controles de salud).

3.6.1. Evaluación de la exposición reciente mediante la cuantificación de COVs

Para determinar las concentraciones de COVs en aire se utilizó un detector de gases múltiples MSA ALTAIR® 5X. La medición se realizó en tres zonas de los laboratorios: en la zona central, zona donde la ventilación es más bajas y zona donde la ventilación es más alta. La medición se realizó cada 15 minutos por un periodo de 8 horas por zona, en diferentes tiempos de la jornada de trabajo (no se contó con un horario fijo para la medición ambiental). Con los datos obtenidos se calculó la concentración ponderada en el tiempo (CPT) mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Concentración ponderada en el tiempo} = \frac{C1(t1) + C2(t2) + \dots + Cn(tn)}{8 \text{ horas}}$$

- **C:** Concentración
- **t:** tiempo

Posteriormente, se calculó el Índice de Riesgo (IR) con la siguiente fórmula

$$IR = \frac{CPT_{medido}}{CPT_{teórico}}$$

CPT teórico:

Niveles máximos permisibles de algunos COVs				
Sustancia química	CPT (ppm) (8 horas) COPANIT	CCT (ppm) (15 min.) COPANIT	TLV-TWA (ppm) ACGIH	Clasificación carcinogénica
Benceno	1	5	0.02	1
Tolueno	50	200	50	3
Xileno	100	150	50	3

Fuente: Reglamento técnico DGNTI – COPANIT 43 -2001. CPT: concentración ponderada en el tiempo (8 horas), ACGIH 2025.

3.6.2. Evaluación de la exposición de largo plazo por la historia laboral

Como indicador de la exposición de largo plazo, se calculó la exposición inhalatoria diaria promedio (CDI). (United States Environmental Protection Agency EPA):

$$CDI = \frac{C \left(\frac{mg}{m^3} \right) \times EF \left(\frac{horas}{día} \times \frac{día}{24 horas} \right) \times ET \left(\frac{días}{año} \right) \times ED(años)}{AT \left(ED(años) \times \frac{365 días}{año} \right)}$$

Donde:

- CDI: exposición inhalatoria diaria crónica promedio (mg/m³)
- C: la concentración del compuesto en el aire en (mg/m³) (Se tomará la zona de muestreo más cercana al puesto de trabajo, en el caso que el trabajador realice varias tareas, se tomará el promedio de la medición de todas las zonas muestreadas).
- ET = Tiempo de exposición (horas/día)
- EF = Frecuencia de exposición (días/año)
- ED = Duración de la exposición (años)
- AT = Tiempo promedio (días). Periodo sobre el cual se promedia la exposición en días (ED x 365 días/año) (United States Environmental Protection Agency EPA)

3.6.3. Evaluación de los efectos

Para la evaluación del efecto, se realizó una Biometría Hemática Completa a los participantes. Se extrajeron 4 ml de sangre total en tubos con anticoagulante EDTA, cumpliendo con la cadena de bioseguridad, que incluyó una antisepsia adecuada del sitio de punción, el uso de guantes y la correcta identificación del participante mediante sus datos personales y un código numérico. Las muestras fueron procesadas en un equipo automatizado de hematología (DXH 500, Beckman Coulter), el cual fue sometido a controles de calidad y los resultados fueron evaluados mediante gráficas de Levey-Jennings.

3.7. Aspectos éticos

Esta investigación fue diseñada respetando los Derechos Humanos y las normas éticas nacionales e internacionales sobre ética de la investigación (La Declaración Universal de los Derechos Humanos, Declaración de Helsinki 2013, Decreto Ejecutivo No. 1843 del 16 de diciembre de 2014). Los intereses descritos arriba con respecto al estudio no comprometen la protección de los participantes. El Comité de Bioética del hospital The Panama Clinic fue el responsable de la revisión ética inicial y la aprobación/solicitud de enmiendas/sugerencias/solicitud de nuevos documentos para la investigación, de su seguimiento y solicitud de informes intermedios y final. En el estudio participaron: un investigador principal (Lcda. Meredith González) que se encargó de aplicar el cuestionario sociodemográfico y las pruebas hematológicas; como personal de apoyo en la parte técnica un médico (Dr. Bernardino Escartín) que se encargó de investigar los efectos neuroconductuales con la misma población, pero en un estudio diferente; y la Dra. Teresa Rodríguez, especialista en Toxicología Ocupacional y Ambiental quien es la asesora principal de esta investigación. Todos los investigadores, especialistas y colaboradores han cumplido los cursos requeridos para realizar una investigación científica, todos certificados por The Global Health Network.

Todos los participantes y encargados de la empresa donde se realizó el estudio fueron informados de los objetivos, beneficios y alcances de la investigación. Se facilitó un consentimiento informado que firmaron los sujetos que participaron en el estudio (ANEXO 2). Se mantendrá de manera privada, toda la información confidencial encontrada en las historias clínicas relacionados con esta investigación, así como el nombre de la empresa; los resultados obtenidos se informarán de forma grupal sin revelar información confidencial

Adicionalmente, se garantizó el cumplimiento de lo establecido en el Código Internacional de Ética para Profesionales de la Salud Ocupacional de la Organización Internacional del Trabajo OIT. El cual establece que durante todo el proceso de investigación se consensuarán las actividades con el empleador, los trabajadores y sus representantes; se comunicará a los trabajadores sobre los riesgos ocupacionales a los que están expuestos de una comprensible, sin ocultar ningún hecho y destacando las medidas de prevención. Igualmente se coordinarán con el empleador, los trabajadores y sus representantes las medidas de prevención de los riesgos identificados. También, se dio cumplimiento al principio de no divulgar información industrial o comercial que se hayan tenido acceso en el transcurso de la investigación y se resguardará el nombre y razón social de la empresa en las publicaciones académicas que se hagan de los resultados de la investigación (ICOH, 2002).

3.8. Tipo de análisis

El análisis univariado se realizó mediante frecuencias simples y absolutas (%) para las variables categóricas. Para las variables cuantitativas se utilizó la media y desviación estándar cuando los datos presentaron una distribución normal, o la mediana, el valor mínimo y el máximo cuando no siguieron una distribución normal.

Para el análisis bivariado, se establecieron dos categorías de exposición, estratificando a los trabajadores según los valores del CDI y el IR de COVs totales y benceno. Para la estratificación del CDI se utilizó como punto de corte la mediana; los valores iguales o inferiores a esta se consideraron como baja

exposición, y los superiores, como alta exposición. El índice de riesgo se estratificó de acuerdo con las categorías recomendadas en la Nota Técnica 106 de RAE System Inc., considerando como IR medio-bajo los valores ≤ 0.9 y como alto-muy alto los valores > 0.9 .

Para evaluar si existía relación entre los parámetros hematológicos y los distintos niveles de exposición a COVs, se aplicó la prueba t de Student para la diferencia de medias con sus respectivos intervalos de confianza del 95%. Los datos fueron procesados en IBM SPSS® para Windows, versión 26.

CAPÍTULO CUARTO. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. Resultados

4.1. Datos generales

Se estudiaron un total de 30 trabajadores con edades comprendidas entre los 27 y 56 años, con una edad media de 40,2 años ($DE \pm 9,0$). Del total, 15 (50,0%) eran hombres y 15 (50,0%) mujeres. Estos trabajadores se dividían en dos localidades diferentes (un laboratorio ambiental y un laboratorio de calidad de derivados del petróleo,) por lo cual, 13 trabajadores (43,3%) estaban expuestos a compuestos orgánicos volátiles según la labor que desempeñaban, mientras que 17 (56,7%) no reportaron exposición (Tabla 4).

En el grupo expuesto a COVs, predominó el sexo masculino (69.2%), mientras que en el grupo no expuesto predominó el sexo femenino (64.7%). En cuanto al nivel educativo, la mayoría de los participantes en ambos grupos contaban con estudios universitarios, siendo mayor esta proporción entre los no expuestos (88.2%) en comparación con los expuestos (61.5%). En el grupo expuesto, se observó una mayor proporción de participantes con secundaria (30.8%) y posgrado (7.7%), mientras que en el grupo no expuesto solo una persona reportó primaria y otra secundaria.

Respecto a las variables cuantitativas, los participantes expuestos a COVs presentaron una edad media de 38.46 años ($DE \pm 10,0$), menor que la del grupo no expuesto, cuya media fue de 42 años ($DE \pm 9$).

Tabla 4. *Características generales de los trabajadores*

Variables	Expuestos a COVs según labor que realizan (n=13)		No expuestos a COVs según labor que realizan (n=17)	
	n	%	n	%
Sexo				
Masculino	9	69.2	6	35.3
Femenino	4	30.8	11	64.7
Total	13	100.00	17	100.0
Grado académico				
Primaria	0	0	1	5.9
Secundaria	4	30.8	1	5.9
Universidad	8	61.5	15	88.2
Posgrado	1	7.7	0	0.0
Total	13	100.00	17	100.0
	Media	DE	Media	DE
Edad del participante	38.46	10	42	9
Peso del participante (Kg)	76.61	8.96	79.95	16.85

Fuente. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en la encuesta aplicada a trabajadores

4.2 Antecedentes de los participantes

La Tabla 5 muestra la distribución de hábitos y antecedentes médicos de los trabajadores de los dos grupos. Ninguno de los participantes en ambos grupos reportó el hábito de fumar. En cuanto al consumo de alcohol, el 38,5% de los expuestos y el 50% de los no expuestos declararon consumirlo. Respecto a los antecedentes de salud, la mayoría no presentaba ninguna condición (92,3% en expuestos y 58,8% en no expuestos). En los expuestos, solo se registró un caso de hipertensión (7,7%), mientras que en los no expuestos se observaron casos de hipertensión (5,9%), hipotiroidismo (17,6%), fibroma (5,9%), alergia (5,9%) y endometriosis (5,9%). Ningún participante de ambos grupos reportó enfermedad hematológica.

Tabla 5. *Antecedentes de los trabajadores*

Variables	Expuestos a COVs (n=13)		No expuestos a COVs (n=17)	
	N	%	n	%
Fuma				
Si	0	0	0	0
No	13	100	17	100
Total	13	100.00	17	100.0
Beber alcohol				
Si	5	38.5	9	53.0
No	8	61.5	8	47.0
Total	13	100.00	17	100.0
Enfermedades				
Ninguna	12	92.3	10	58.8
Hipertensión	1	7.7	1	5.9
Hipotiroidismo	0	0	3	17.6
Fibroma	0	0	1	5.9
Alergia	0	0	1	5.9
Endometriosis	0	0	1	5.9
Total	13	100.00	17	100.0
Enfermedad hematológica				
Ninguna	13	100.00	17	100.00

Fuente. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en la encuesta aplicada a trabajadores

4.3 Historial laboral

En cuanto a la características higiénico-ocupacionales entre los expuestos, la mayoría son analistas químicos (46,2%), seguidos por supervisores e inspectores (15,4% cada uno), mientras que en los no expuestos predominan las labores administrativas y de analista químico (29,4% cada uno), estos últimos desempeñan sus labores en el laboratorio ambiental. El uso de equipo de protección personal es mayor en el grupo expuesto (92,3%) que en el no expuesto (58,8%). Los derrames o accidentes con COVs fueron reportados por el 30,8% de los expuestos y el 11,8% de los no expuestos. La capacitación laboral es alta en ambos grupos (92,3% de los expuestos y 100%, de los no expuestos), pero la atención médica en la empresa no se brinda a los expuestos (0%), mientras que el 47,1% de los no expuestos sí la recibe. En cuanto a la trayectoria laboral, los expuestos tienen una mediana de 7 años de trabajo, 12 horas diarias, 192 días al año

y un total de 1536 días trabajados, frente a los no expuestos con 11 años de trabajo, 8 horas diarias, 240 días al año y 2640 días trabajados (Tabla 6).

Tabla 6. *Características higiénico-ocupacionales de los trabajadores*

Variable	Expuestos a COVs (n=13)		No expuestos a COVs (n=17)			
	n	%	n	%		
Labor (tarea que desempeña)						
Analista químico	6	46.2	5	29.4		
Supervisor de laboratorio	2	15.4	2	11.8		
Administrativas	1	7.7	5	29.4		
Inspector	2	15.4	0	0.0		
Limpieza	1	7.7	1	5.9		
Gerente	1	7.7	3	17.6		
Supervisor de operaciones	0	0.0	1	5.9		
	13	100	17	100.0		
Uso de equipo de protección personal en el área de trabajo						
Si	12	92.3	10	58.8		
No	1	7.7	7	41.2		
Total	13	100.0	17	100.0		
Derrame o accidente con COVs						
Si	4	30.8	2	11.8		
No	9	69.2	15	88.2		
Total	13	100.0	17	100.0		
Recibe capacitación en la empresa						
Si	12	92.3	17	100.0		
No	1	7.7	0	0.0		
Total	13	100.0	17	100.0		
Recibe atención médica en la empresa						
Si	0	0.0	8	47.1		
No	13	100.0	9	52.9		
Total	13	100.0	17	100.0		
Variable	Mediana	Min	Max	Mediana	Min	Max
Años total laborando	7	1	25	11	4	25
Horas que trabaja al día	12	8	12	8	8	11
Días que trabaja al año	192	192	308	240	144	278
Días total trabajados	1536	192	6000	2640	960	6550

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en la encuesta aplicada a trabajadores

4.4 Evaluación de la exposición por zonas mediante la cuantificación de COVs en aire

Para evaluar la exposición reciente, se efectuaron mediciones ambientales con el equipo ALTAIR® 5X en tres áreas de ambos laboratorios: la zona central, un área con baja ventilación y otra con alta ventilación. En el laboratorio ambiental, la zona de menor ventilación correspondió al cuarto de balanza, un espacio cerrado sin ventanas, aire acondicionado ni extractores, con una temperatura promedio de 26 °C y una humedad relativa de 50%. La zona de mayor ventilación se ubicó en una esquina del laboratorio, próxima a un aire acondicionado tipo Split de techo, una cámara de extracción y la salida de emergencia, donde se registró una temperatura promedio de 22 °C y humedad de 63%. La zona central se localizó en el área media del laboratorio (excluyendo las oficinas administrativas), con una temperatura promedio de 21 °C y humedad de 71%. En el laboratorio de hidrocarburos, la zona de menor ventilación se situó en el cuarto de cromatografía, un espacio cerrado con aire acondicionado, donde se registró una temperatura promedio de 23 °C y humedad de 62%. La zona de mayor ventilación, en cambio, se caracterizó por su cercanía a las cámaras de extracción, aire acondicionado y puertas que daban al exterior, con una temperatura promedio de 23 °C y una humedad de 78%. La zona central mantuvo valores de 22 °C de temperatura promedio y 92% de humedad relativa. En cada una de las zonas, el medidor de gases se programó para obtener registros del aire cada 15 minutos, durante un período de 8 horas y se calculó la concentración ponderada en el tiempo (CPT) (Tabla 7), (Figura 3 en ANEXO 4)

Tabla 7. *Concentración ponderada en el tiempo (CPT) por zonas*

Zona	Concentración ponderada en el tiempo CPT (ppm)				
	Laboratorio ambiental	Laboratorio de hidrocarburos			
Zonas	COVs	COVs	Benceno	Tolueno	Xileno
Zona baja ventilación	0.00	0.00	0.00	3.50	5.83
Zona alta ventilación	0.00	0.22	0.71	3.53	0.26
Zona central	0.17	0.00	0.38	1.36	1.92
Promedio	0.04	0.07	0.36	2.80	2.67

Fuente. Mediciones del equipo MSA ALTAIR® 5X

El Índice de Riesgo (IR) (CPT medido/CPT teórico) se estratificó de acuerdo con las categorías recomendadas en la Nota Técnica 106 de RAE System Inc., considerando como IR medio-bajo los valores ≤ 0.9 y como alto-muy alto los valores > 0.9 . En donde todas las zonas del Laboratorio de Hidrocarburos marcaron un IR medio-bajo para tolueno y xileno, sin embargo benceno reflejo un IR alto-muy alto en promedio de las tres zonas (según normas internacionales) Tabla 8.

Tabla 8. *Índice de riesgo*

	IR (CPT medido/CPT teórico) CPT teórico según NORMAS INTERNACIONALES					
Zonas	Benceno	Tipo de exposición	Tolueno	Tipo de exposición	Xileno	Tipo de exposición
Zona mayor ventilación	35.21	Alta-muy alta	0.07	Media-baja	0.01	Media-baja
Zona menor ventilación	0.00	Media-baja	0.07	Media-baja	0.12	Media-baja
Zona central	18.90	Alta-muy alta	0.03	Media-baja	0.04	Media-baja
Promedio	18.07	Alta-muy alta	0.06	Media-baja	0.17	Media-baja
	IR (CPT medido/CPT teórico) CPT teórico según NORMAS DE PANAMÁ					
Zona mayor ventilación	0.71	Media-baja	0.07	Media-baja	0.00	Media-baja
Zona menor ventilación	0.00	Media-baja	0.07	Media-baja	0.06	Media-baja
Zona central	0.38	Media-baja	0.03	Media-baja	0.02	Media-baja
Promedio	0.36	Media-baja	0.05	Media-baja	0.02	Media-baja

Fuente. Estratificado de acuerdo con las categorías recomendadas en la Nota Técnica 106 de RAE System Inc.

4.5 Evaluación de la exposición de los trabajadores

- **Evaluación de la exposición reciente mediante la cuantificación de COVs en aire**

Se clasificó a los trabajadores según el lugar donde ejercían sus funciones en expuestos (laboratorios derivados del petróleo) y no expuestos (laboratorio ambiental), luego se tomó el promedio de la concentración ponderada en el tiempo de las diferentes zonas de

ventilación. En el grupo expuesto, se detectan mediana de concentraciones ponderadas en el tiempo de benceno (0.36 ppm), tolueno (2.80 ppm) y xileno (2.67 ppm), mientras que en los no expuestos estos valores son 0.00 ppm (Tabla 9).

Tabla 9. *Mediciones ambientales de exposición*

Variable promedio concentración pondera en el tiempo CPT	Exposición a COVs en su labor					
	SI			NO		
	Mediana	Mín.	Máx.	Mediana	Mín.	Máx.
Promedio concentración pondera en el tiempo COVs (ppm)	0.07	0.07	0.07	0.04	0.04	0.04
Promedio concentración pondera en el tiempo de benceno (ppm)	0.36	0.36	0.36	0.00	0.00	0.00
Promedio concentración pondera en el tiempo de tolueno (ppm)	2.80	2.80	2.80	0.00	0.00	0.00
Promedio concentración pondera en el tiempo de xileno (ppm)	2.67	2.67	2.67	0.00	0.00	0.00

Fuente. Mediciones del equipo MSA ALTAIR® 5X.

- **Evaluación de la exposición de largo plazo por la historia laboral**

Como indicador de la exposición de largo plazo, se calculó exposición inhalatoria diaria crónica promedio (CDI), la mediana de CDI para el grupo expuesto fue de 0.30 mg/m³ para benceno (rango 0.25 – 0.49), tolueno 2.27 mg/m³ (2.31 – 4.25) y xileno 3.05 mg/m³ (2.54 – 4.89), frente a valores nulos en el grupo no expuesto (Tabla 10).

Tabla 10. *Exposición inhalatoria diaria crónica promedio*

Variable	Exposición a COVs en su labor					
	SI			NO		
	Mediana	Mín.	Máx.	Mediana	Mín.	Máx.
Exposición inhalatoria diaria crónica promedio benceno (mg/m3)	0.30	0.25	0.49	0.00	0.00	0.00
Exposición inhalatoria diaria crónica promedio tolueno (mg/m3)	2.77	2.31	4.45	0.00	0.00	0.00
Exposición inhalatoria diaria crónica promedio xileno (mg/m3)	3.05	2.54	4.89	0.00	0.00	0.00

Fuente. Cálculo de CDI a partir de los datos obtenidos en la encuesta aplicada a trabajadores

De manera complementaria, se aplicó la fórmula clásica de CDI expresada como dosis (mg/kg/día), que incorpora la tasa de inhalación y el peso corporal, permitiendo estimar la dosis interna crónica absorbida (ANEXO 5). Este enfoque es ampliamente utilizado en evaluaciones de riesgo no cancerígeno y cancerígeno, ya que facilita la comparación con dosis de referencia (RfD), proporcionando una aproximación más cercana a los posibles efectos sistémicos de la exposición. Se emplearon ambos enfoques de CDI para fortalecer la interpretación de los resultados y aporta mayor solidez al estudio, evitando limitar el análisis a una sola métrica y fortaleciendo la interpretación desde el punto de vista ambiental y biológico (United States Environmental Protection Agency EPA).

4.6 Datos hematológicos

Se obtuvo una muestra de sangre mediante venopunción para la determinación de la biometría hemática. Se calcularon la media y la desviación estándar de los parámetros hemáticos según el grupo de exposición. En el grupo expuesto, los valores medios son: leucocitos 7.76 (DE 0.98), eritrocitos 4.84 (DE 0.60), hemoglobina 14.13 (DE 1.58), hematocrito 43.07 (DE 4.47) y plaquetas 248.64 (DE 42.70). En el grupo no expuesto, los valores son: leucocitos 7.40 (DE 1.62), eritrocitos 4.64 (DE 0.58), hemoglobina 13.41 (DE 1.61), hematocrito 40.23 (DE 4.58) y plaquetas 306.54 (DE 62.92).

Tabla 11. *Resultados de biometría hemática completa*

Variable	Expuestos a COVs (n=13)		No expuestos a COVs (n=17)	
	Media	DE	Media	DE
Leucocitos	7.76	0.98	7.40	1.62
Eritrocitos	4.84	0.60	4.64	0.58
Hemoglobina	14.13	1.58	13.41	1.61
Hematocrito	43.07	4.47	40.23	4.58
Volumen corpuscular medio	89.27	3.65	86.87	3.43
Hemoglobina corpuscular media	29.28	1.49	28.94	1.21
Concentración de hemoglobina corpuscular media	32.80	0.84	33.32	0.81
Amplitud de la distribución eritrocitaria	14.26	0.85	14.06	0.98
Plaquetas	248.64	42.70	306.54	62.92
Volumen plaquetario medio	9.30	0.90	8.84	0.76
Neutrófilos%	51.09	8.61	58.14	8.92
Linfocitos%	38.44	6.95	32.40	8.57
Monocitos%	6.41	2.24	6.74	1.18
Eosinófilos%	3.62	2.09	2.36	1.20
Basófilos%	0.44	0.30	0.35	0.13
Neutrófilos#	4.01	1.04	4.40	1.57
Linfocitos#	2.96	0.52	2.32	0.54
Monocitos#	0.48	0.15	0.50	0.15
Eosinófilos#	0.27	0.16	0.17	0.08
Basófilos#	0.03	0.02	0.03	0.02

Fuente. Elaboración propia a partir de reporte del equipo de hematología

4.6.1 Datos hematológicos en expuestos a COVs según la labor que realizan vs no expuesto

La Tabla 12 muestra los resultados de la comparación de medias mediante la prueba T de muestras independientes, que comparó los parámetros hematológicos entre los 13 trabajadores expuestos a COVs y los 17 trabajadores no expuestos. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en cinco variables: el grupo expuesto presentó menor recuento de plaquetas (248.64 vs 306.54, $p=0.01$), menor porcentaje de neutrófilos (51.09% vs 58.14%, $p=0.04$), valores superiores en el porcentaje de eosinófilos (3.62% vs 2.36%, $p=0.05$), en el recuento absoluto de linfocitos (2.96 vs 2.32, $p=0.00$) y en el recuento absoluto de eosinófilos (0.27 vs 0.17, $p=0.02$).

Tabla 12. *Prueba T de muestras independientes. Datos hematológicos en expuestos según la labor que realizan vs no expuesto*

	Expuestos a COVs (n=13)	No expuestos a COVs (n=17)	Sig. bilateral	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
Variable	Media	Media	p*	Inferior	Superior
Plaquetas	248.64	306.54	0.01	-99.54	-16.27
Neutrófilos%	51.09	58.14	0.04	-13.68	-0.42
Linfocitos%	38.44	32.40	0.05	0.07	12.01
Eosinófilos%	3.62	2.36	0.05	0.02	2.50
Linfocitos#	2.96	2.32	0.00	0.24	1.04
Eosinófilos#	0.27	0.17	0.02	0.02	0.20
Las variables LEU, ERIT, HGB, HCT, VCM, HCM, CHCM, ADE, VPM, MON%, BAS%, NEU#, MON#, BAS# se muestra en Anexos					

* T de Student para muestras independientes $p < 0.05$

4.6.2 Datos hematológicos según medición ambiental de CPT COVs ≥ 0.07 (MEDIANA)

La Tabla 13 presenta el análisis de datos hematológicos según la medición ambiental de COVs (Compuestos Orgánicos Volátiles), utilizando un punto de corte la mediana de CPT COVs ≥ 0.07 como criterio para clasificar la exposición. Los participantes se dividieron en dos grupos: 13 individuos con COVs ≥ 0.07 (alta exposición) y 17 con COVs < 0.07 (baja exposición). Los resultados muestran diferencias estadísticamente significativas en los mismos parámetros hematológicos analizados en la tabla anterior de exposición según la labor que realizan: menor recuento de plaquetas y porcentaje de neutrófilos y un incremento en el resto de los parámetros hematológicos. Todas estas diferencias son estadísticamente significativas ($P < 0.05$).

Tabla 13. *Prueba T de muestras independientes. Datos hematológicos en expuestos según medición ambiental de COVs*

	COVs ≥ 0.07 (n=13)	COVs < 0.07 (n=17)	Sig. (bilateral)	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
Variable	Media	Media	p*	Inferior	Superior
Plaquetas	248.64	306.54	0.01	-99.54	-16.27
Neutrófilos%	51.09	58.14	0.04	-13.68	-0.42
Linfocitos%	38.44	32.40	0.05	0.07	12.01
Eosinófilos%	3.62	2.36	0.05	0.02	2.50
Linfocitos#	2.96	2.32	0.00	0.24	1.04
Eosinófilos#	0.27	0.17	0.02	0.02	0.20
Las variables LEU, ERIT, HGB, HCT, VCM, HCM, CHCM, ADE, VPM, MON%, BAS%, NEU#, MON#, BAS# se muestra en Anexos					

* T de Student para muestras independientes $p < 0.05$

4.6.3 Datos hematológicos según exposición diaria promedio de benceno CDI (mg/m³) ≥ 0.30 (MEDIANA)

La Tabla 14 analiza los datos hematológicos según el cálculo de exposición diaria promedio a benceno, utilizando como punto de corte la mediana (0.30 mg/m³) para clasificar la exposición. Los participantes se dividieron en dos grupos: 11 individuos con exposición alta (CDI Benceno ≥ 0.30) y 19 con exposición baja (CDI Benceno < 0.30). Los resultados revelan que el grupo de alta exposición al benceno presentó valores superiores en hemoglobina (14.5 vs 13.27, p=0.04), hematocrito (43.9% vs 39.9%, p=0.02) y recuento absoluto de eosinófilos (0.28 vs 0.17, p=0.03), mientras que mostró un recuento de plaquetas significativamente menor (235.61 vs 307.99, p=0.00), comparados con el grupo de baja exposición (CDI < 0.30).

Tabla 14. *Prueba T de muestras independientes. Datos hematológicos en expuestos según exposición diaria promedio benceno*

	CDI Benceno ≥ 0.30 (n=11)	CDI Benceno < 0.30 (n=19)	Sig. (bilateral)	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
Variable	Media	Media	p*	Inferior	Superior
Hemoglobina	14.50	13.27	0.04	0.05	2.41
Hematocrito	43.99	39.99	0.02	0.64	7.35
Plaquetas	235.61	307.99	0.00	-112.12	-32.64
Eosinófilos#	0.28	0.17	0.03	0.01	0.20

* T de Student para muestras independientes p< 0.05

4.6.4 Datos hematológicos según años total laborando ≥ 9.0 (mediana)

En cuanto al análisis de los datos hematológicos según los años total laborando, utilizando un punto de corte de 9 años (mediana) para clasificar la exposición. Los participantes se dividieron en dos grupos: 16 individuos con ≥ 9.0 años y 14 con < 9 años laborando. Los resultados no revelaron diferencias estadísticamente significativas. (ANEXO 7)

Discusión

El presente trabajo corresponde al primer estudio realizado en Panamá que aborda la exposición ocupacional a compuestos orgánicos volátiles (COVs) y su relación con los efectos hematológicos. Se evaluó a un total de 30 trabajadores de un laboratorio de control de calidad ambiental y de derivados del petróleo. Los participantes fueron clasificados en dos grupos, expuestos y no expuestos, según las funciones desempeñadas. Adicionalmente, se caracterizó la exposición a COVs en distintas áreas del laboratorio.

La edad promedio de los trabajadores incluidos en el estudio fue de 40 años, el 50 % del sexo masculino y 50% del sexo femenino, la mayor parte de ellos tenían estudios universitarios y una mediana de 9 años laborando en la empresa. Ninguno de los participantes de ambos grupos reportó hábito de fumar. Respecto a las enfermedades, la mayoría no presentaba ninguna condición (92,3% en expuestos y 58,8% en no expuestos) y ninguno de los trabajadores incluidos presentaba antecedentes de alguna enfermedad hematológica que pudiera interferir en los resultados hematológicos.

De los lugares de trabajos visitados, el laboratorio ambiental (no expuestos) presentaba una clara división entre el área administrativa y las diferentes secciones de análisis de muestras, mientras que el laboratorio de hidrocarburos (expuestos) presentaba el área administrativa dentro del laboratorio, ambos lugares contaban con cabina especial con flujo de aire. El uso de equipo de protección personal es mayor en el grupo expuesto (92,3%) que en el no expuesto (58,8%), esto se explica por la mayor cantidad de personal administrativo dentro de los no expuestos.

Los derrames o accidentes con COVs fueron reportados por el 30,8% de los trabajadores expuestos y por el 11,8% de los no expuestos, lo cual se atribuye a que estos últimos en determinadas ocasiones participaban en la recepción de muestras. En ambos grupos, el asfalto fue señalado como el producto involucrado en los derrames.

La capacitación laboral es alta en ambos grupos (92,3% y 100%, respectivamente). En la empresa, todos los trabajadores se encuentran afiliados a la Caja de Seguro Social, lo que garantiza la cobertura básica de seguridad social. No obstante, no se brinda atención médica privada enfocada en la prevención y en los riesgos ocupacionales derivados de las funciones propias de cada puesto. Sin embargo, algunos colaboradores de los no

expuestos (47,1%) manifestaron haber recibido atención de salud general dentro de la empresa, aunque esta no está directamente relacionada con programas de prevención o control de riesgos laborales.

En cuanto a la trayectoria laboral, cabe resaltar que los expuestos tienen una mediana de 7 años de trabajo, con un patrón de horarios rotativos diurno o nocturno, 12 horas diarias, 4 días a la semana, 192 días al año, lo cual puede afectar el ciclo de descanso de estos trabajadores, frente a los no expuestos con 11 años de trabajo, los cuales tienen horarios fijos diurnos, 8 horas diarias, 240 días al año.

Evaluación de la exposición

Referente a la evaluación de la exposición mediante la cuantificación de COVs en aire, este estudio realizó un análisis exhaustivo de los COVs, con un muestreo realizado durante 8 horas en tres zonas diferentes en ambos laboratorios. Los resultados de la Concentración Ponderada en el Tiempo para COVs muestran diferencias notables entre los laboratorios y las zonas evaluadas. En el laboratorio ambiental, los valores fueron prácticamente nulos en las zonas de baja y alta ventilación (0.00 ppm), mientras que en la zona central se detectó una CPT de 0.17 ppm. Esto sugiere que en este laboratorio la presencia de COVs es mínima y localizada, posiblemente asociada a actividades específicas o al tránsito de compuestos en el área central, sin evidencia de acumulación significativa en espacios cerrados. Por el contrario, en el laboratorio de hidrocarburos se observaron concentraciones de COVs más elevadas, por lo cual se realizaron mediciones individuales de benceno, tolueno y xileno para cada zona, en donde benceno se detectó en la zona alta ventilación (0.71 ppm) y en la zona central (0.38 ppm), pero no en la zona de baja ventilación (0.00); su promedio fue 0.36 ppm. Si bien el promedio de la CPT de benceno obtenido (0.36 ppm) estaba por debajo de los límites de exposición ocupacional según la norma panameña DGNTI – COPANIT 43 -2001 (1 ppm), este promedio superó el umbral de la ACGIH 2023-2024 TLVs BEIs (0.02ppm). Estos resultados son congruentes con las muestras analizadas y las actividades realizadas de cada laboratorio.

La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) clasifica al benceno en el Grupo 1: Carcinógeno para los seres humanos (lo que significa que hay evidencia suficiente de que causa cáncer en humanos); dado que no existe un nivel seguro de exposición a carcinógenos, las implicaciones para la salud de la coexposición a múltiples

COVs, en particular al benceno, son preocupantes. Esto se suma a la evidencia publicada sobre la asociación entre la exposición al benceno y los cánceres del sistema linfático y hematopoyético revisada por última vez en los Monografías de la IARC, Volumen 100F (IARC, 2012a), donde se concluyó que existía evidencia suficiente en humanos para leucemia mieloide aguda (LMA)/leucemia aguda no linfocítica (LANL) y evidencia limitada para leucemia linfocítica aguda (LLA), leucemia linfocítica crónica (LLC), mieloma múltiple (MM) y linfoma no Hodgkin (LNH). Asimismo, una actualización de tres estudios de casos y controles anidados de trabajadores de la distribución petrolera en Australia, Canadá y el Reino Unido indicó una relación dosis-respuesta monótona entre los SMD y la exposición acumulada al benceno (Schnatter et al., 2012). Este hallazgo resalta la importancia de mantener medidas de control estrictas, principalmente en relación con la ventilación, y de sostener un monitoreo ambiental constante.

Respecto al tolueno, el valor promedio de CPT fue de 2.80 ppm, muy por debajo de los límites establecidos por la ACGIH 2023-2024 TLVs BEIs (20 ppm) y por la DGNTI – COPANIT 43-2001 (50 ppm). De manera similar, el xileno presentó un promedio de 2.67 ppm, cifra ampliamente inferior a los límites de 20 ppm y 100 ppm, establecidos por la ACGIH 2023-2024 TLVs BEIs y la DGNTI – COPANIT 43-2001, respectivamente. En conjunto, los resultados evidencian que, aunque las concentraciones de tolueno y xileno están muy por debajo de los límites establecidos, el valor de benceno cercano al umbral de referencia justifica la implementación de medidas preventivas adicionales.

Por otra parte, el Índice de Riesgo (IR) (CPT medido/CPT teórico) se estratificó de acuerdo con las categorías recomendadas en la Nota Técnica 106 de RAE System Inc., considerando como IR medio-bajo los valores ≤ 0.9 y como alto-muy alto los valores > 0.9 . La comparación más notable se observó en el benceno donde la zona de mayor ventilación y la zona central presentan un índice de riesgo de 35.3 y 18.9 respectivamente (alto-muy alto), resultado un IR promedio de las tres zonas de 18.07 (alto muy alto) según normas internacionales de exposición ocupacional (ACGIH 2023-2024 TLVs BEIs) versus un IR promedio de 0.71 (medio-bajo) según normas panameñas (DGNTI – COPANIT 43-2001). Esta diferencia sugiere que los estándares internacionales son más restrictivos, clasificando la exposición al benceno como "alta-muy alta" mientras que las normas panameñas la catalogan como "media-baja".

Además de lo anterior, existe una clara diferencia del riesgo según las zonas evaluadas. La zona de mayor ventilación paradójicamente presenta los mayores índices de riesgo para el benceno. Estas variaciones sugieren fuentes o condiciones locales (procesos, almacenamiento, ventilación) que explican perfiles distintos por zona: -Las corrientes de aire cruzadas pueden alterar significativamente la distribución de los compuestos orgánicos volátiles (COV) en espacios cerrados, provocando acumulaciones locales que aumentan la concentración de estos contaminantes en zonas específicas. -Las corrientes de aire cruzadas, generadas por diferencias de presión, obstáculos como muebles o particiones internas, y sistemas de ventilación inadecuados, pueden interrumpir el flujo de aire uniforme en un ambiente cerrado. Esto puede dar lugar a zonas de recirculación donde los COV se acumulan, elevando su concentración localmente (Liu et al., 2018), (Larcombe et al., 2025).

Sumado a esto, en el laboratorio de hidrocarburos, pueden recibirse distintos tipos de muestras de derivados del petróleo, cada una con características y objetivos de análisis específicos. Estas muestras se analizan para determinar propiedades como densidad, viscosidad, contenido de azufre y metales, punto de inflamación y composición química general, utilizando técnicas como espectrometría, cromatografía y análisis elemental que se realizan en diferentes zonas del laboratorio. -En este caso, en el área de alta ventilación se encontraba la cabina de extracción con flujo de aire, pero con la ventana totalmente abierta, lo que puede generar una falsa sensación de seguridad al manipular las muestras; esto coincide con lo planteado por investigaciones sobre seguridad en trabajadores de alto riesgo, las cuales explican cómo la percepción inadecuada del riesgo afecta la seguridad real (Priolo et al., 2025).

El uso de flujo de aire controlados en este tipo de labor es primordial puesto que reducen la exposición aérea de los trabajadores a los solventes y demás componentes de los derivados del petróleo. Las zonas de menor ventilación y central muestran valores considerablemente menores. Los resultados sugieren la necesidad de implementar medidas de control específicas en la zona de mayor ventilación, particularmente para el benceno. Además, la discrepancia entre los marcos normativos plantea interrogantes sobre la adecuación de los estándares locales frente a las recomendaciones internacionales, especialmente considerando que el benceno es un conocido carcinógeno humano.

Evaluación hematológica

Respectos a los hallazgos hematológicos, la comparación de medias mediante la T de Student para muestras independientes que comparó la biometría hemática entre los 13 trabajadores expuestos a COVs y 17 no expuestos según la labor que ejercían, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en varias variables: el grupo expuesto presentó una disminución significativa del recuento plaquetario (248.64 vs 306.54 $p=0.01$) y menor porcentaje de neutrófilos (51.09% vs 58.14% $p=0.04$), y mostró valores superiores en el porcentaje de eosinófilos (3.62% vs 2.36%, $p=0.05$), recuento absoluto de linfocitos (2.96 vs 2.32, $p=0.00$) y recuento absoluto de eosinófilos (0.27 vs 0.17, $p=0.02$). No se encontraron diferencias significativas en los valores medios del recuento total de Leucocitos. Los hallazgos actuales coinciden con investigaciones anteriores que corroboraron un aumento en el recuento de linfocitos y la linfocitosis en escenarios de inhalación prolongada de benceno (Elkhalifa et al., 2025).

Los resultados en el recuento plaquetario son consistentes con los reportados por Abdel Rasoul et al. (2017) en trabajadores de estaciones de suministro de combustible, donde las plaquetas fueron significativamente menores en los expuestos respecto a los no expuestos (247.36 vs 268.46; $p = 0.007$). Sin embargo, dicho autor también informó una diferencia significativa en los niveles de hemoglobina, hallazgo contrario al presente estudio. De manera similar, Teklu et al. (2021) describieron que el número medio absoluto de plaquetas fue significativamente menor en sujetos expuestos en comparación con los controles (248.95 vs 292.45; $p < 0.05$). Asimismo, un estudio realizado en taxistas egipcios expuestos ambientalmente al benceno reportó un recuento plaquetario significativamente menor (204.60 vs 266.06 $\times 10^3/\mu\text{L}$; $p < 0.001$) (Kasemy et al., 2019), (Abdel Rasoul et al., 2017), (Teklu et al., 2021).

En cuanto a los eosinófilos, los hallazgos coinciden con lo observado por Kebamo et al. (2024), quienes reportaron un aumento significativo en la mediana del recuento absoluto de eosinófilos en trabajadores expuestos a gasolina en comparación con controles ($p = 0.01$). Aunque los resultados de algunos estudios son heterogéneos, la mayoría de los trabajos clásicos sobre benceno evidencian hematotoxicidad caracterizada por reducción de leucocitos, neutrófilos y, en ocasiones, eosinófilos, debido a la supresión medular (Rothman et al., 1996) (H. Zhang et al., 2022), (Lan et al., 2004). No obstante, otros estudios, especialmente en contextos de exposición mixta a COVs y en poblaciones con

reactividad alérgica, han descrito incrementos en los eosinófilos, posiblemente asociados a mecanismos de hipersensibilidad respiratoria o atopia inducidos por estos compuestos. Este fenómeno ha sido discutido en la revisión de Cordiano et al. (2022) y en diversos estudios epidemiológicos. (Kebamo et al., 2024),(Cordiano et al., 2022).

Estas variaciones hematológicas pueden interpretarse como alteraciones subclínicas o tempranas, es decir, efectos biológicos iniciales de la exposición a los COVs que todavía no se traducen en un cuadro patológico definido. Por ejemplo, aunque el grupo expuesto presentó un recuento plaquetario menor, los valores obtenidos ($248 \times 10^3/\mu\text{L}$) aún se encuentran dentro de los rangos considerados normales en la práctica clínica ($150\text{--}450 \times 10^3/\mu\text{L}$). La disminución de neutrófilos y el aumento de eosinófilos y linfocitos sugieren una respuesta inmunológica o inflamatoria que podría estar relacionada con la exposición, pero mientras no superen los límites clínicos de referencia, se consideran señales de impacto y no diagnósticos de enfermedad. Estos hallazgos refuerzan la evidencia de que, en trabajadores petroleros expuestos a niveles bajos de benceno, se ha observado decremento progresivo en parámetros hematológicos con exposición acumulada, aun en ausencia de enfermedad clínica inicialmente (Z. Zhang et al., 2022); subrayando la importancia del monitoreo biológico regular en poblaciones laboralmente expuestas (H. Zhang et al., 2022).

Por otra parte, la comparación de medias mediante la T de Student para muestras independientes refleja diferencias estadísticamente significativas en la serie roja. Los trabajadores con mayor exposición ($\text{CDI} \geq 0.30$) presentaron valores más altos de hemoglobina, hematocrito y recuento absoluto de eosinófilos en comparación con los de menor exposición ($\text{CDI} < 0.30$), con diferencias estadísticamente significativas ($p = 0.04$, $p = 0.02$, y $p = 0.03$ respectivamente). Este hallazgo podría reflejar un proceso inflamatorio o de sensibilización asociado a la exposición (Cordiano et al., 2022). La médula ósea puede presentar un estado normal, aplásico o hiperplásico, sin que estos hallazgos siempre se correspondan con los cambios observados en la sangre periférica. Estudios han demostrado que la exposición al benceno puede inducir inmunosupresión con una reducción en las células T-reg, células NK y linfocitos B y T y deteriorar algunos niveles de inmunoglobulinas en humanos y animales. Debido a que la susceptibilidad individual a los efectos del benceno varía, no existe un patrón hematológico único. Además, los efectos de la exposición prolongada pueden tardar meses o incluso años en manifestarse,

por lo que es fundamental considerar la historia ocupacional del paciente para establecer una posible relación con la exposición a este compuesto.(Cal/OSHA, 2014.) (Cordiano et al., 2022)

La comparación de los parámetros hematológicos según los años de servicio, utilizando un punto de corte de 9 años (mediana), no mostró diferencias estadísticamente significativas entre los trabajadores con ≥ 9 años y aquellos con menor tiempo de labor. Este hallazgo coincide con lo reportado en algunas investigaciones donde no se observaron cambios claros en la biometría hemática en función de la duración de la exposición, lo cual puede atribuirse al “efecto del trabajador sano” descrito en cohortes ocupacionales, donde los individuos más susceptibles tienden a abandonar la actividad laboral, subestimando así los efectos reales de la exposición (U.S. EPA, 2002; Cordiano et al., 2022). Además, diversos autores señalan que la duración de la exposición, medida en años, no siempre refleja la intensidad o frecuencia real del contacto con benceno y otros COVs, lo que limita su capacidad para discriminar diferencias en los resultados hematológicos (Cordiano et al., 2022).

Aunque estudios clásicos en trabajadores expuestos durante varios años han documentado disminuciones en los recuentos de glóbulos blancos, plaquetas y otros parámetros hematológicos, interpretadas como manifestaciones iniciales de toxicidad medular inducida por benceno (Aksoy et al., 1971). Incluso investigaciones más recientes en cohortes ocupacionales han confirmado que exposiciones prolongadas, incluso a concentraciones relativamente bajas, pueden generar efectos hematotóxicos medibles, incluyendo leucopenia y alteraciones en subpoblaciones celulares, lo que respalda la existencia de una fase subclínica previa al desarrollo de trastornos hematológicos mayores (Lan et al., 2004). Asimismo, organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud reconocen que la exposición crónica al benceno produce daño progresivo en la médula ósea, que puede manifestarse inicialmente como cambios hematológicos leves antes de evolucionar hacia cuadros más severos, como síndromes mielodisplásicos o leucemia.

En general, los resultados del presente estudio pueden interpretarse a partir del modelo de prevención de Leavell y Clark, evidenciando que la exposición ocupacional al benceno se manifiesta principalmente en etapas tempranas de la historia natural de la enfermedad. Desde la prevención primaria, los hallazgos refuerzan la necesidad de minimizar la

exposición al agente, aun cuando esta se mantenga dentro de límites considerados permisibles, debido a la presencia de efectos biológicos iniciales. En el marco de la prevención secundaria, las alteraciones hematológicas subclínicas identificadas constituyen indicadores tempranos de respuesta biológica a la exposición, las cuales aún no se traducen en un cuadro patológico definido, pero justifican la implementación y fortalecimiento de programas de vigilancia hematológica periódica. En este contexto, la detección oportuna de dichos cambios permite intervenir antes de la progresión hacia etapas clínicas más avanzadas, coherente con los principios de prevención propuestos por Leavell y Clark. (Smith, 2010), (Organización Panamericana de la Salud, 2017)

Todos estos hallazgos subrayan la necesidad de investigar más a fondo los impactos acumulativos en la salud de la exposición prolongada a múltiples COVs. Además, este estudio también enfatiza la importancia de tener en cuenta tanto las condiciones específicas de las instalaciones como las emisiones de COVS en el proceso de pruebas de control de calidad de derivados del petróleo.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

- Este estudio constituye el primer análisis realizado en Panamá sobre la exposición ocupacional a hidrocarburos, en particular al benceno, y su relación con las alteraciones hematológicas en trabajadores de un laboratorio de certificación de hidrocarburos. En función de los resultados obtenidos, se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula, dado que se evidenciaron diferencias en los parámetros hematológicos entre los trabajadores expuestos y no expuestos a hidrocarburos. No obstante, dichas alteraciones fueron de carácter subclínico o temprano, reflejando efectos biológicos iniciales de la exposición a compuestos orgánicos volátiles que aún no se traducen en un cuadro clínico establecido.
- La caracterización de la exposición mostró que los niveles de compuestos orgánicos volátiles varían según el laboratorio y la zona de trabajo. Mientras que en un laboratorio la presencia de COVs fue mínima (CPT 0.04) y localizada, en el laboratorio de hidrocarburos se observaron concentraciones más elevadas, especialmente de Benceno en áreas con mayor actividad o ventilación (CPT 0.36). Estos hallazgos indican que, aun dentro de límites considerados aceptables por la normativa nacional, existen diferencias significativas en la exposición que podrían generar riesgos biológicos iniciales para los trabajadores.
- La evaluación de la exposición inhalatoria crónica a largo plazo evidenció que la población con exposición ocupacional presentó niveles sostenidos de contacto con benceno y otros compuestos orgánicos volátiles, claramente diferenciados de la población no expuesta. El uso de indicadores de exposición crónica permitió integrar la concentración ambiental con la duración y frecuencia de la exposición, reflejando un patrón consistente de exposición prolongada en el tiempo. Este comportamiento ha sido ampliamente documentado en la literatura científica, la cual describe que la exposición ocupacional crónica al benceno, incluso a concentraciones aparentemente bajas, se asocia a una carga inhalatoria acumulativa relevante.
- Los hallazgos hematológicos mostraron que los trabajadores expuestos a COVs presentan alteraciones subclínicas en comparación con los no expuestos. Destaca la disminución del recuento plaquetario (248.64 vs 306.54 $p=0.01$), un hallazgo

consistente con varios estudios sobre exposición a hidrocarburos, junto con diferencias significativas en otros parámetros: menor porcentaje de neutrófilos (51.09% vs 58.14% $p=0.04$) y aumentos en el porcentaje de eosinófilos (3.62% vs 2.36%, $p=0.05$), así como en el recuento absoluto de linfocitos (2.96 vs 2.32, $p=0.00$) y eosinófilos (0.27 vs 0.17, $p=0.02$). Estas alteraciones reflejan efectos biológicos tempranos de la exposición ocupacional, los cuales aún no se traducen en un cuadro clínico definido, pero sugieren un impacto inicial en la función hematológica que requiere seguimiento.

- Estos hallazgos refuerzan la evidencia internacional sobre la toxicidad del benceno y otros hidrocarburos, que, aun en concentraciones inferiores a los límites de exposición ocupacional, pueden inducir efectos adversos en la médula ósea y el sistema hematopoyético.
- La asociación encontrada entre la exposición y los parámetros hematológicos respalda la necesidad de considerar evaluaciones biológicas de manera complementaria a las ambientales para una vigilancia más integral de la salud ocupacional.

RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

Para mitigar los riesgos asociados a las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COVs), se recomienda la implementación de diversas medidas:

- En primer lugar, fortalecer la prevención, el monitoreo ambiental y biológico, y la actualización de la normativa vigente. Esto permitirá proteger de manera efectiva a todos los trabajadores expuestos a COVs, minimizando los riesgos derivados de la exposición prolongada a compuestos con efectos hematotóxicos y potencial carcinogenicidad.
- Las cámaras de extracción de los lugares de trabajo deben permanecer debidamente cerradas y contar con sistemas de extracción eficientes que impidan la dispersión de contaminantes en el entorno laboral. Además de estos controles de ingeniería, resulta indispensable el uso de equipos de protección individual, con el fin de minimizar la inhalación de compuestos nocivos.
- Aplicarse controles administrativos, tales como: la limitación de la duración de la exposición mediante la reducción del número de horas de trabajo, lo cual contribuye a disminuir los riesgos generales para la salud derivados de la exposición prolongada.
- De igual manera, las evaluaciones periódicas de la calidad del aire, que incluyan la medición de las concentraciones de COVs, xileno, benceno y tolueno, son fundamentales para valorar los escenarios de exposición y verificar la efectividad de las medidas de mitigación implementadas,
- Garantizar una ventilación adecuada en las áreas de trabajo, ya que esta permite diluir y eliminar los COVs presentes en el ambiente, reduciendo el riesgo de acumulación y sus posibles efectos adversos sobre la salud.
- Se recomienda la realización de evaluaciones médicas periódicas, en especial exámenes de laboratorio que incluyan el hemograma completo, dado que este permite detectar alteraciones hematológicas tempranas asociadas a la exposición a COVs. A partir de los hallazgos relacionados con las modificaciones en el hemograma, se plantean diferentes recomendaciones para la vigilancia de la

salud ocupacional en trabajadores expuestos a compuestos orgánicos volátiles (COVs)

- En casos donde se detecten alteraciones en eritrocitos ($< 3.900.000 \times \text{mm}^3$), hematocrito ($< 35\%$), leucocitos ($< 3.500 \times \text{mm}^3$), neutrófilos ($< 1.200 \times \text{mm}^3$) o plaquetas ($< 150.000 \times \text{mm}^3$), se recomienda realizar un seguimiento clínico y de laboratorio constante, incluso en ausencia de alteraciones de la médula ósea. Ante la presencia de dichas alteraciones, los trabajadores deben recibir tratamiento según criterio médico, ajustándose a la normativa vigente en materia de enfermedades profesionales.
- Evaluación del ambiente laboral: Es fundamental implementar evaluaciones periódicas del ambiente de trabajo, con el fin de identificar y corregir deficiencias que favorezcan la exposición a contaminantes. Asimismo, se sugiere reforzar la capacitación de los trabajadores en normas de higiene y seguridad ocupacional.
- Determinación de reincorporación laboral: El regreso del trabajador a las labores con exposición deberá definirse una vez corregidas las alteraciones hematológicas, considerando la recalificación de tareas en caso de persistencia de estas.

Como se evidenció en la comparación entre los valores de referencia internacionales y nacionales, existe la necesidad de revisar y actualizar la normativa panameña en materia de exposición a benceno. La diferencia encontrada refleja que los estándares internacionales son más estrictos y ofrecen una mayor protección a la salud de los trabajadores, por lo cual resulta fundamental que Panamá ajuste sus normas para alinearse con dichos criterios y garantizar condiciones laborales seguras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel Rasoul, G., Salem, E., Allam, H., Shehata, Y., Abu-Salem, M., & El-Sayed Zaghloul, A. (2017). Neurobehavioral and hematological health disorders among fuel supply station workers. *Menoufia Medical Journal*, 30(4), 1103. https://doi.org/10.4103/mmj.mmj_252_17
- Aksoy, M., Dinçol, K., Akgün, T., Erdem, S., & Dinçol, G. (1971). Haematological effects of chronic benzene poisoning in 217 workers. *British Journal of Industrial Medicine*, 28(3), 296. <https://doi.org/10.1136/OEM.28.3.296>
- Albino, N., & Villamil, E. (2015). *Toxicología Laboral. Criterios para el Monitoreo de la Salud de los Trabajadores Expuestos a Sustancias Químicas Peligrosas* (J. Remesal & A. Machado, Eds.; 4ta ed.). <https://www.researchgate.net/publication/301494217>
- Andersson, K., Nilsson, C. A., & Nygren, O. (1984). A new method for the analysis of tetramethyllead in blood. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 10(1), 51–55. <https://doi.org/10.5271/sjweh.2363>
- ATSDR. (1996). *Gasolina de automóvil división de toxicología ToxFAQs TM*. www.atsdr.cdc.gov/es/
- ATSDR. (2004). *Interaction Profile for: Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylenes (BTEX)*.
- ATSDR. (2007). *ATSDR - Resumen de Salud Pública: Benceno*. www.atsdr.cdc.gov/es/
- Autoridad Marítima de Panamá. (n.d.). *Terminal de Hidrocarburos*. Terminal de Hidrocarburos.
- BENCENO - ACGIH. (n.d.). Retrieved september 18, 2025, from <https://www.acgih.org/benzene-2/>
- Cakmak, S., Cole, C., Hebbern, C., Andrade, J., & Dales, R. (2020). Associations between blood volatile organic compounds, and changes in hematologic and biochemical profiles, in a population-based study. *Environment International*, 145, 106121. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106121>
- Cal/OSHA. (n.d.). *Pautas de vigilancia médica para el benceno*. Regulaciones del Título 8 de California. Retrieved July 19, 2025, from <https://www.dir.ca.gov/title8/5218c.html>
- CONCAWE. (1985). *Health Aspects of Petroleum Fuels. Potential Hazards and Precautions for Individual Classes of Fuels (Report No. 85/51)*.
- CONCAWE. (1987). *A Survey of Exposures to Gasoline Vapour (Report No. 4/87), The Hague*.
- Cordiano, R., Papa, V., Cicero, N., Spatari, G., Allegra, A., & Gangemi, S. (2022). Effects of Benzene: Hematological and Hypersensitivity Manifestations in Resident Living in Oil Refinery Areas. *Toxics* 2022, Vol. 10, Page 678, 10(11), 678. <https://doi.org/10.3390/TOXICS10110678>
- Elkhalifa, A. M. E., Almorish, M. A., Elamin, E., Eltaher, N. E., Tabash, M. I., & Tamomh, A. G. A. (2025). Impact of Benzene Exposure on Hematological Parameters in Workers: A

Comparative Cross-sectional Study with Healthy Non-Exposed Controls in Sudan. *Science Journal of Clinical Medicine* 2025, Volume 14, Page 20, 14(2), 20–26. <https://doi.org/10.11648/J.SJCM.20251402.12>

- Faraji, A., Nabibidhendi, G., & Pardakhti, A. (2017). Risk assessment of exposure to released BTEX in district 12 of Tehran municipality for employees or shopkeepers and gas station customers. *Pollution*, 3(3), 407–415. <https://doi.org/10.7508/pj.2017.03.006>
- Halder, C. A., Van Gorp, G. S., Hatoum, N. S., & Warne, T. M. (1986). Gasoline vapor exposures. Part I. Characterization of workplace exposures. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 47(3), 164–172.
- Haro-García, L., Vélez-Zamora, N., Aguilar-Madrid, G., Guerrero-Rivera, S., Sánchez-Escalante, V., Muñoz, S. R., Mezones-Holguín, E., & Juárez-Pérez, C. (2012). Alteraciones hematológicas en trabajadores expuestos ocupacionalmente a mezcla de benceno-tolueno-xileno (BTX) en una fábrica de pinturas. *Rev Perú Med Exp Salud Publica*, 29(2), 181–187.
- Hoffman, R., Benz, E. J., Silberstein, L. E., Heslop, H. E., Weitz, J. I., Anastasi, J., Salama, M. E., & Abutalib, S. (2017). Hematology: Basic Principles and Practice. *Hematology: Basic Principles and Practice*, 1–2374. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-23355-9>
- Hu, R., Liu, G., Zhang, H., Xue, H., & Wang, X. (2018). Levels, characteristics and health risk assessment of VOCs in different functional zones of Hefei. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 160, 301–307. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.05.056>
- Inoue, Y., Nomura, S., Nishiura, C., Hori, A., Yamamoto, K., Nakagawa, T., Honda, T., Yamamoto, S., Eguchi, M., Kochi, T., Miyamoto, T., Okazaki, H., Imai, T., Nishihara, A., Ogasawara, T., Sasaki, N., Uehara, A., Yamamoto, M., Shimizu, M., ... Dohi, S. (2021). Loss of Working Life Years Due to Mortality, Sickness Absence, or Ill-health Retirement: A Comprehensive Approach to Estimating Disease Burden in the Workplace. *Journal of Epidemiology*, 31(7), JE20190332. <https://doi.org/10.2188/jea.JE20190332>
- International Agency for Research on Cancer (IARC). (2019). *Styrene, Styrene-7,8-oxide, and Quinoline / (IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans; volume 121)*.
- International Agency for Research on Cancer., World Health Organization., & IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans (1988: Lyon, F. (1989). *Occupational exposures in petroleum refining, crude oil and major petroleum fuels*. International Agency for Research on Cancer.
- International Commission on Occupational Health ICOH. (2002). *Código Internacional de Ética para los Profesionales de Salud Ocupacional*.
- Jia, H., Gao, S., Duan, Y., Fu, Q., Che, X., Xu, H., Wang, Z., & Cheng, J. (2021). Investigation of health risk assessment and odor pollution of volatile organic compounds from industrial activities in the Yangtze River Delta region, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 208, 111474. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111474>

- Kasemy, Z. A., Kamel, G. M., Abdel-Rasoul, G. M., & Ismail, A. A. (2019). Environmental and health effects of benzene exposure among Egyptian taxi drivers. *Journal of Environmental and Public Health*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/7078024>
- Kebamo, T. E., Yemane, T., Arkew, M., Walano, G. A., Tantu, A., Abose, A., Haile, K., Bawore, S. G., & Kiya, G. T. (2024). Hematological Parameters of Gasoline Station Workers at Hosanna Town, Southwest Ethiopia: A Comparative Cross-Sectional Study. *Journal of Blood Medicine*, 15, 21. <https://doi.org/10.2147/JBM.S440989>
- Khajeh, L., Jalilzadeh Yengejeh, R., Mohammadi Rouzbehani, M., & Sabzalipour, S. (2022). Health risk assessment of volatile organic compounds (VOCs) in a refinery in the southwest of Iran using SQRA method. *Frontiers in Public Health*, 10, 978354. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.978354>
- Kirjakov, K., Kolkovskij, P., Petrov, P., Dojcinov, A., Rajceva, V., & Nikov, G. (1966). Occupational petroleum intoxication among tanker fleet crews. *Biuletyn Instytutu Medycyny Morskiej w Gdansk*, 17(3), 249–254.
- Lan, Q., Zhang, L., Li, G., Vermeulen, R., Weinberg, R. S., Dosemeci, M., Rappaport, S. M., Shen, M., Alter, B. P., Wu, Y., Kopp, W., Waidyanatha, S., Rabkin, C., Guo, W., Chanock, S., Hayes, R. B., Linet, M., Kim, S., Yin, S., ... Smith, M. T. (2004). Hematotoxicity in Workers Exposed to Low Levels of Benzene. *Science (New York, N.Y.)*, 306(5702), 1774. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1102443>
- Larcombe, N., Chen, R., Horvat, T., Pehnec, G., & Jakovljević, I. J. (2025). Volatile Organic Compounds in Indoor Air: Sampling, Determination, Sources, Health Risk, and Regulatory Insights. *Toxics* 2025, Vol. 13, Page 344, 13(5), 344. <https://doi.org/10.3390/TOXICS13050344>
- Liu, X., Wu, X., Chen, L., & Zhou, R. (2018). Effects of Internal Partitions on Flow Field and Air Contaminant Distribution under Different Ventilation Modes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(11), 2603. <https://doi.org/10.3390/IJERPH15112603>
- Loomis, D., Guyton, K. Z., Grosse, Y., el Ghissassi, F., Bouvard, Ronique, Benbrahim-Tallaa, L., Guha, N., Vilahur, N., Mattock, H., Straif, K., & Agency for Research on Cancer Monograph Working Group, I. (2017). News Carcinogenicity of benzene. *Lancet Oncology*, 18, 1574–1575. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(17\)30832-X](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(17)30832-X)
- Ministerio de Comercio e Industrias. (2001). *Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 43 2001. Higiene y Seguridad Industrial*. Ministerio de Comercio e Industrias. <https://mici.gob.pa/wp-content/uploads/2021/12/43rt-dgnti-copanit-43-2001-1.pdf>
- Montero-Montoya, R., López-Vargas, R., & Arellano-Aguilar, O. (2018). Volatile Organic Compounds in Air: Sources, Distribution, Exposure and Associated Illnesses in Children. *Annals of Global Health*, 84(2), 225–238. <https://doi.org/10.29024/aogh.910>
- Moro, A. M., Brucker, N., Charão, M. F., Sauer, E., Freitas, F., Durgante, J., Bubols, G., Campanharo, S., Linden, R., Souza, A. P., Bonorino, C., Moresco, R., Pilger, D., Gioda, A., Farsky, S., Duschl, A., & Garcia, S. C. (2015). Early hematological and immunological

- alterations in gasoline station attendants exposed to benzene. *Environmental Research*, 137, 349–356. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.11.003>
- Organización Internacional del Trabajo OIT. (1985). *Recomendación R171 - Recomendación sobre los servicios de salud en el trabajo, 1985 (núm. 171)*. https://normlex.ilo.org/dyn/nrmlx_en/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_INSTRUMENT_ID:312509
- Organización Internacional del Trabajo (OIT). (2010). *Lista de enfermedades profesionales de la OIT*.
- Organización Panamericana de la Salud. (2017). *Módulos de principios de epidemiología para el control de enfermedades (MOPECE)* (Tercera Edición). <https://iris.paho.org/server/api/core/bitstreams/7dd1145f-bbe9-4745-bc25-e7c710080c29/content>
- Pacheco Coello, F. J., Florentino, D., García, J., & Nazila, A. B. (2023). Alteraciones hematológicas y bioquímicas por exposición a benceno en trabajadores de, y cercanos a las estaciones de servicio. *Salud de Los Trabajadores*, ISSN-e 1315-0138, Vol. 31, No. 2, 2023, Págs. 179-191, 31(2), 179–191. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9541383&info=resumen&idioma=ENG>
- Phillips, C. F., & Jones, R. K. (1978). Gasoline vapor exposure during bulk handling operations. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 39(2), 118–128. <https://doi.org/10.1080/0002889778507725>
- Priolo, G., Vignoli, M., & Nielsen, K. (2025). Risk perception and safety behaviors in high-risk workers: A systematic literature review. *Safety Science*, 186, 106811. <https://doi.org/10.1016/J.SSCI.2025.106811>
- Repetto, M., & Repetto, G. (2009). *Toxicología Fundamental. Repetto 4a Edición* (4ta ed.).
- Rodrigues, B., Ferreira, R., Nunes, N., Gomes, J. B., Giardini, I., Vieira Baptista Da Silva, P., Campos, É., Soares Da Poça, K., Hassan, R., Otero, U. B., & Sarpa, M. (2020). Analysis of Benzene Exposure in Gas Station Workers Using Trans, trans-Mucónico Acid. *Int J Environ Res Public Health*, 17(15). <https://doi.org/10.3390/ijerph17155295>
- Rothman, N., Li, G. L., Dosemeci, M., Bechtold, W. E., Marti, G. E., Wang, Y. Z., Linet, M., Xi, L. Q., Lu, W., Smith, M. T., Titenko-Holland, N., Zhang, L. P., Blot, W., Yin, S. N., & Hayes, R. B. (1996). Hematotoxicity among Chinese workers heavily exposed to benzene. *American Journal of Industrial Medicine*, 29(3), 236–246. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0274\(199603\)29:3<236:AID-AJIM3>3.0.CO;2-O](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0274(199603)29:3<236:AID-AJIM3>3.0.CO;2-O)
- Saeedi, M., Malekmohammadi, B., & Tajalli, S. (2024). Interaction of benzene, toluene, ethylbenzene, and xylene with human's body: Insights into characteristics, sources and health risks. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 16, 100459. <https://doi.org/10.1016/J.HAZADV.2024.100459>
- Schnatter, A. R., Glass, D. C., Tang, G., Irons, R. D., & Rushton, L. (2012). Myelodysplastic Syndrome and Benzene Exposure Among Petroleum Workers: An International Pooled

- Analysis. *JNCI Journal of the National Cancer Institute*, 104(22), 1724. <https://doi.org/10.1093/JNCI/DJS411>
- Smith, M. T. (2010). Advances in Understanding Benzene Health Effects and Susceptibility. *Annual Review of Public Health*, 31, 133. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV.PUBLHEALTH.012809.103646>
- Snyder, R. (2012). Leukemia and benzene. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 9(8), 2875–2893. <https://doi.org/10.3390/IJERPH9082875>
- Teklu, G., Negash, M., Asefaw, T., Tesfay, F., Gebremariam, G., Teklehaimanot, G., Wolde, M., & Tsegaye, A. (2021). *Effect of Gasoline Exposure on Hematological Parameters of Gas Station Workers in Mekelle City, Tigray Region, Northern Ethiopia*. <https://doi.org/10.2147/JBM.S286743>
- Tuomi, T., Veijalainen, H., & Santonen, T. (2018). Managing exposure to benzene and total petroleum hydrocarbons at two oil refineries 1977–2014. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(2). <https://doi.org/10.3390/ijerph15020197>
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (n.d.). *Exposure Assessment Tools by Routes - Inhalation*. Retrieved May 22, 2024, from <https://www.epa.gov/expobox/exposure-assessment-tools-routes-inhalation>
- Verwilghen, R. L., Van Dorpe, A., & Veulemans, H. (1975). Dangers of petrol used as solvent. *The Lancet*, 306(7945), 1156. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(75\)91058-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(75)91058-2)
- Weisel, C. P. (2010). Benzene exposure: An overview of monitoring methods and their findings. *Chem Biol Interact*, 184(0), 58–66. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2009.12.030>
- Wilbur, S., Wohlers, D., Paikoff, S., Keith, L., & Faroon, O. (2008). ATSDR evaluation of health effects of benzene and relevance to public health. *Toxicology and Industrial Health*, 24(5–6), 263–398. <https://doi.org/10.1177/0748233708090910>
- Zhang, H., Li, H., Peng, Z., Cao, J., Bao, J., Li, L., Wang, X., Ji, Y., & Chen, Z. (2022). Meta-analysis of the effect of low-level occupational benzene exposure on human peripheral blood leukocyte counts in China. *Journal of Environmental Sciences*, 114, 204–210. <https://doi.org/10.1016/J.JES.2021.08.035>
- Zhang, Y., Zhou, J., Zhao, J., Cheng, X., & Xing, C. (2025). Chronic benzene exposure impairs the self-renewal capacity of HSPCs in C57BL/6 mice. *Toxicology Research*, 14(1). <https://doi.org/10.1093/TOXRES/TFAF021>
- Zhang, Z., Liu, X., Guo, C., Zhang, X., Zhang, Y., Deng, N., Lai, G., Yang, A., Huang, Y., Dang, S., Zhu, Y., Xing, X., Xiao, Y., & Deng, Q. (2022). Hematological Effects and Benchmark Doses of Long-Term Co-Exposure to Benzene, Toluene, and Xylenes in a Follow-Up Study on Petrochemical Workers. *Toxics*, 10(9), 502. <https://doi.org/10.3390/TOXICS10090502/S1>

ANEXOS

ANEXO 1. Acta Aprobación de Tesis



UNIVERSIDAD DE PANAMÁ - FACULTADES DE MEDICINA Y FARMACIA

Centro de Investigación e Información de Medicamentos y Tóxicos – CIIMET - Sección Toxicológica
Programa Salud, Trabajo y Ambiente en América Central (SALTRA-Panamá)
Centro Regional del Convenio de Estocolmo / Centro Regional del Convenio de Basilea para Centroamérica y México

Panamá, 07 de junio de 2024
Nota No.FMCIIMET 462-2024

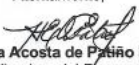
Estudiante
Meredith Del C. González
Maestría en Toxicología
Vicerrectoría de Investigación y Postgrado
Universidad de Panamá
E. S. D.

Estimada Estudiante González:

Por este medio le adjunto copia de la Nota: VIP-DP-601-24, con la que se formaliza el registro de su tesis de maestría "Exposición ocupacional a compuestos orgánicos volátiles (COV) y su Asociación con alteraciones hematológicas en trabajadores expuestos a hidrocarburos". Se ha asignado el código: CE-PT-340-400-02-24-11.

Agradezco su atención.

Atentamente,


Hilda Acosta de Patiño M.Sc.
Directora y Coordinadora del Programa de Maestría

Año 2024: "Año de la política agroalimentaria a 60 años de la gesta patriótica del 9 de enero"
Ciudad Universitaria Dr. Octavio Múndez Pereira, Panamá, República de Panamá
Teléfono: (507) 523-4948 / (507) 523-4968 / (507) 523-4945



ANEXO 2. Consentimiento informado para el estudio

	UNIVERSIDAD DE PANAMÁ VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO	
CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA EL ESTUDIO		
Exposición ocupacional a compuestos orgánicos volátiles (COVs) y su asociación con alteraciones hematológicas en trabajadores expuestos a hidrocarburos, Panamá 2025		
Código de Formulario:	Versión: 2.0	Fecha: Página 1 de 7
CÓDIGO DE PARTICIPANTE: # _____		

CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA EL ESTUDIO:

Título del Proyecto: Exposición ocupacional a compuestos orgánicos volátiles (COVs) y su asociación con alteraciones hematológicas en trabajadores expuestos a hidrocarburos, Panamá 2025

Investigador Principal: Licenciada Meredith González

Especialistas de Apoyo: Dr. Bernardino Escartín, Licenciada Ericka Lord, Dra. Teresa Rodríguez.

Nombre del Centro de Investigación: Universidad de Panamá, Centro de Investigación e Información de Medicamentos y Tóxicos (CIIMET). Bella Vista, Manuel E. Batista y Ave. José De Fábrega. (507) 523-4948

Este Documento de Consentimiento Informado tiene como propósito, explicar el estudio sobre "Exposición ocupacional a compuestos orgánicos volátiles (COVs) y su asociación con alteraciones hematológicas en trabajadores expuestos a hidrocarburos, Panamá 2025." y el significado de su participación en él.

Este Documento de Consentimiento Informado tiene dos partes:

- PARTE A: Información (proporciona información sobre el estudio)
- PARTE B: Formulario de Consentimiento (para firmar si está de acuerdo en participar)

Se le dará una copia del Documento completo de Consentimiento Informado

 **COMITÉ DE BIOÉTICA**
APROBADO

Firma:  _____
Dr. Marcos Young

Código de identificación: EC-CBITPC 084

Referencia: RESEGIS 3943

Fecha: 12 marzo 2025

		UNIVERSIDAD DE PANAMÁ VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO			
CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA EL ESTUDIO					
Exposición ocupacional a compuestos orgánicos volátiles (COVs) y su asociación con alteraciones hematológicas en trabajadores expuestos a hidrocarburos, Panamá 2025					
Código de Formulario:	Versión: 2.0	Fecha:	Página 2 de 7		
CÓDIGO DE PARTICIPANTE: # _____					

PARTE A: INFORMACIÓN DEL ESTUDIO

Propósito de la Investigación

Soy Meredith González, estudiante de la de la Universidad de Panamá, cursando la Maestría en Toxicología Ocupacional en la Vicerrectoría de Investigación y Postgrado. El propósito de la presente investigación es determinar si existe alteraciones en las células formes de la sangre, en los colaboradores con exposición a solventes presentes en la gasolina (benceno), ya que la exposición ocupacional al benceno y su impacto en la salud son relativamente inexplorados en Panamá.

Voluntariedad: ¿Tengo que hacer esto?

Su participación es totalmente voluntaria. Tiene derecho a negarse a participar, o a discontinuar su participación en cualquier momento, sin constituir esto un problema. Su nombre no aparecerá en ningún informe o publicaciones que puedan resultar de este estudio, sus datos se manejarán con un código.

Usted puede solicitarnos información o aclarar sus dudas en cualquier momento, respecto al desarrollo de esta investigación.

Procedimientos: ¿Qué me va a suceder?

Se le aplicará un cuestionario en casa para conocer sus datos personales, historia médica personal, medicamentos que consumió o consume en la actualidad,


APROBADO
 Firma:  Dr. Marcos Young 084
 Código de identificación: EC-CBITPC-
 Referencia: RESEGIS 3943
 Fecha: 12 marzo 2025

		UNIVERSIDAD DE PANAMÁ VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO			
CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA EL ESTUDIO					
Exposición ocupacional a compuestos orgánicos volátiles (COVs) y su asociación con alteraciones hematológicas en trabajadores expuestos a hidrocarburos, Panamá 2025					
Código de Formulario:	Versión: 2.0	Fecha:	Página 3 de 7		
CÓDIGO DE PARTICIPANTE: # _____					

antecedentes laborales y uso de equipos de protección personal. Este cuestionario tiene una duración de 15 a 30 minutos, dependiendo de las dudas que puedan surgir.

Se obtendrá una muestra de sangre a la que se le realizará análisis para determinación de los valores de células sanguíneas (examen hemograma). La toma de muestra tiene una duración de 5 a 10 minutos aproximadamente.

La muestra se transportará en un medio de transporte apropiado al CIMET (Centro de Investigación e Información de Medicamentos y Tóxicos), donde se llevará a cabo el análisis.

¿Cómo se toma la Muestra de Sangre?

Se le tomará una muestra de 4ml de sangre del brazo, esta será realizada por personal capacitado utilizando una aguja estéril (nueva). Esta sangre será luego introducida en un envase especial para transportar la muestra al laboratorio para su análisis.

Molestias/Efectos secundarios: ¿Dolerá?

La mayor parte del estudio consiste evaluar su historia clínica y laboral mediante un cuestionario. Además, tomaremos una muestra de sangre venosa del brazo, este procedimiento es de rutina y no tiene mayores complicaciones. Las molestias relacionadas a la toma de muestra de sangre pueden ser: dolor leve o hematoma


COMITÉ DE BIOÉTICA
APROBADO
 Firma: 
 Dr. Marcos Young **084**
 Código de identificación: EC-CBITPC
 Referencia: **RESEGIS 3943**
 Fecha: **12 marzo 2025**

		UNIVERSIDAD DE PANAMÁ VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO			
CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA EL ESTUDIO					
Exposición ocupacional a compuestos orgánicos volátiles (COVs) y su asociación con alteraciones hematológicas en trabajadores expuestos a hidrocarburos, Panamá 2025					
Código de Formulario:	Versión: 2.0	Fecha:	Página 4 de 7		
CÓDIGO DE PARTICIPANTE: # _____					

(moretón) en el sitio de la extracción de la muestra de sangre. En el caso improbable de que experimente una complicación durante o después de la extracción se tomarán las siguientes medidas:

- Atención inmediata: Contaremos con la presencia de un doctor al momento de la toma de muestra, por lo cual recibirá atención inmediata por parte del personal médico presente.
- Seguimiento médico: Si se considera necesario, el personal médico evaluará la situación y se le derivará al centro de salud más cercano del área.

Por otra parte, puede ser que algunas preguntas en los cuestionarios puedan causar alguna incomodidad, pero le aseguramos que todas las respuestas son manejadas con un alto grado de confidencialidad y no podrán ser asociadas con usted al momento de la presentación final de los resultados de la investigación y sus publicaciones.

Riesgos: ¿Es esto malo o peligroso para mí?

Este estudio de investigación no conlleva riesgos mayores a los de la atención rutinaria del control de salud regular, exceptuando los mencionados en el punto anterior.

Beneficios: ¿Hay algo bueno que vaya a ocurrirme?

Si participa en este estudio de investigación, ayudará a mejorar el conocimiento de la situación de salud ocupacional y de los posibles efectos que tiene la exposición al


COMITÉ DE BIOÉTICA
APROBADO
 Firma: 
 Dr. Marcos Young
 Código de identificación: **084**
 Referencia: **RESEGIS 3943**
 Fecha: **12 marzo 2025**

		UNIVERSIDAD DE PANAMÁ VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO			
CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA EL ESTUDIO					
Exposición ocupacional a compuestos orgánicos volátiles (COVs) y su asociación con alteraciones hematológicas en trabajadores expuestos a hidrocarburos, Panamá 2025					
Código de Formulario:	Versión: 2.0	Fecha:	Página 5 de 7		
CÓDIGO DE PARTICIPANTE: # _____					

benceno y así contribuirá a mejorar las políticas de seguridad y monitoreo de los colaboradores.

En caso de que hubiese sido seleccionado para la toma de muestras, recibirá una copia de todos los resultados de las pruebas que se le realizó. Si existe alguna alteración en los resultados de los exámenes, será referido (a) al Sistema de Salud Pública para tu atención.

Compensaciones Económica: ¿Obtengo algo por participar en la investigación?

No hay ningún pago a los participantes de esta investigación. Todos aquellos gastos relacionados con el análisis de su muestra de sangre y el transporte a la instalación de salud serán cubiertos (pagados) por la investigación.

Dudas o Consultas

Si tiene consultas, quejas o dudas sobre sus derechos como participante, puede contactarse con el Comité de Bioética en Investigación de The Panama Clinic, Presidente del CBI-TPC a los teléfonos: 310-2414, Ext. 613 o al correo electrónico: comitebioeticatpc@thepanamaclinic.com


COMITÉ DE BIOÉTICA
APROBADO
 Firma: 
 Dr. Marcos Young
 Código de identificación: EC-CBITPC-084
 Referencia: **RESEGIS 3943**
 Fecha: **12 marzo 2025**

		UNIVERSIDAD DE PANAMÁ VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO			
CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA EL ESTUDIO					
Exposición ocupacional a compuestos orgánicos volátiles (COVs) y su asociación con alteraciones hematológicas en trabajadores expuestos a hidrocarburos, Panamá 2025					
Código de Formulario:	Versión: 2.0	Fecha:	Página 6 de 7		
CÓDIGO DE PARTICIPANTE: # _____					

Parte B: Formulario de Consentimiento Informado

Yo, _____

(Nombre y apellidos en letra imprenta)

Número de Identificación: _____

Declaro que:

- He leído la hoja de información que me han facilitado.
- He podido formular las preguntas que he considerado necesarias acerca del estudio.
- He recibido información adecuada y suficiente por el investigador abajo indicado sobre:
 - Los objetivos del estudio y sus procedimientos.
 - Los beneficios e inconvenientes del proceso.
 - El procedimiento y la finalidad con que se utilizarán mis datos personales y las garantías de cumplimiento de la legalidad vigente.
- Que mi participación es voluntaria y altruista
- Que en cualquier momento puedo revocar mi consentimiento (sin necesidad de explicar el motivo y sin que ello afecte a mi atención médica) y solicitar la eliminación de mis datos personales.
- Que tengo derecho de acceso y rectificación a mis datos personales.

Se mantendrá de manera privada toda la información confidencial encontrada en las historias clínicas relacionados con esta investigación, así como el nombre de


APROBADO
 Firma: _____
 Dr. Marcos Young
 Código de identificación: RESEGIS-084-3943
 Referencia: RESEGIS-3943
 Fecha: 12 marzo 2025

		UNIVERSIDAD DE PANAMÁ VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO			
CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA EL ESTUDIO					
Exposición ocupacional a compuestos orgánicos volátiles (COVs) y su asociación con alteraciones hematológicas en trabajadores expuestos a hidrocarburos, Panamá 2025					
Código de Formulario:	Versión: 2.0	Fecha:	Página 7 de 7		
CÓDIGO DE PARTICIPANTE: # _____					

la empresa. Los resultados de la investigación se informarán de forma grupal en una reunión programada con la empresa, sin revelar información confidencial; de hallarse algún resultado de un trabajador que comprometa su salud, el médico le notificará de forma individual donde será referido (a) al Sistema de Salud Pública para tu atención, sin comprometer a la empresa.

CONSIENTO EN LA PARTICIPACIÓN EN EL PRESENTE ESTUDIO

☐ SÍ ☐ NO

(marcar lo que corresponda)

Para dejar constancia de todo ello, firmo a continuación:

Firma.....Fecha.....

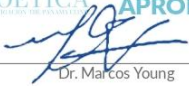
Nombre investigador

Firma del investigador.....

- Teléfono: 66426337
- Correo Electrónico: meredith.gonzalez@up.ac.pa / meredith.apps16@gmail.com
megonzalez@thepanamaclinic.com

Centro de Investigación: Universidad de Panamá, Centro de Investigación e Información de Medicamentos y Tóxicos (CIIMET). Bella Vista, Manuel E. Batista y Ave. José De Fábrega. (507) 523-4948


COMITÉ DE BIOÉTICA
APROBADO

Firma:  Dr. Marcos Young

Código de identificación: EC-CBITPC-084

Referencia: **RESEGIS 3943**

Fecha: **12 marzo 2025**

ANEXO 3. Cuestionario

		UNIVERSIDAD DE PANAMÁ VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO			
CUESTIONARIO INFORMACIÓN DE LOS PARTICIPANTES					
Exposición ocupacional a compuestos orgánicos volátiles (COVs) y su asociación con alteraciones hematológicas en trabajadores expuestos a hidrocarburos, Panamá 2025					
Código de Formulario:	Versión: 2.0	Fecha:	Página 1 de 4		
CÓDIGO DE PARTICIPANTE: # _____					

A-DATOS DEMOGRAFICOS DEL PARTICIPANTE	
1. Numero de Participante:	_____
2. Fecha de nacimiento	___ / ___ / ___
3. Edad: (Años):	___
4. Sexo:	Hombre • Mujer •
5. Corregimiento:	_____
6. Provincia	_____
7. Celular.	_____
8. Escolaridad:	Analfabeta• Primaria• Secundaria• Técnico• Universitario• Otro: _____
B-HABITOS Y ESTILO DE VIDA:	
9. Fumador:	No • Sí •
10. Bebe Alcohol:	No • Sí •
10.1. Si responde sí ¿Cuántas veces a la semana?	_____
11. Actividad física:	No • Sí •
12. Suplementos alimenticios:	No • Sí • ¿Cuál? _____
13. Consumidor de drogas:	No • Sí • ¿Cuál? _____


COMITÉ DE BIOÉTICA
APROBADO
 Firma: _____
 Dr. Marcos Young 084
 Código de identificación: EC-CBITPC-
 Referencia: **RESEGIS#3943**
 Fecha: **12 marzo 2025**

 UNIVERSIDAD DE PANAMÁ VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO 	
CUESTIONARIO INFORMACIÓN DE LOS PARTICIPANTES	
Exposición ocupacional a compuestos orgánicos volátiles (COVs) y su asociación con alteraciones hematológicas en trabajadores expuestos a hidrocarburos, Panamá 2025	
Código de Formulario:	Versión: 2.0 Fecha: Página 2 de 4
CÓDIGO DE PARTICIPANTE: # _____	

C-ANTECEDENTES									
14. Antecedentes personales patológicos Hipertensión• Epilepsia• Enfermedad Renal Crónica• Diabetes• Otra: _____ Ninguna•									
15. En el último mes presento algunas de estas enfermedades: Dengue• Malaria• Ninguna•									
16. Donación de sangre: No• Sí • ¿Cuándo? _____									
17. Enfermedad hematológica: No• Sí • 17.1. Si responde sí, tipo de enfermedad hematológica: _____									
18. Tiene algún familiar con enfermedad hematológica: No• Sí • 18.1. Si response sí, lazo sanguíneo _____									
D-INFORMACIÓN LABORAL Y DE EXPOSICIÓN									
19. Lugar de Trabajo: _____									
20. Sección o Departamento: _____									
21. Tarea que desempeña: _____									
22. Breve descripción del uso de hidrocarburos: <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td>Aplica sobre pieza o equipo•</td> <td>Mezcla con otros componentes•</td> </tr> <tr> <td>Limpia materiales o superficies•</td> <td>Trasvase el producto en otros recipientes •</td> </tr> <tr> <td>Muestreo •</td> <td>Recepción de muestras •</td> </tr> <tr> <td>Otro _____•</td> <td>No utiliza hidrocarburos•</td> </tr> </table>		Aplica sobre pieza o equipo•	Mezcla con otros componentes•	Limpia materiales o superficies•	Trasvase el producto en otros recipientes •	Muestreo •	Recepción de muestras •	Otro _____•	No utiliza hidrocarburos•
Aplica sobre pieza o equipo•	Mezcla con otros componentes•								
Limpia materiales o superficies•	Trasvase el producto en otros recipientes •								
Muestreo •	Recepción de muestras •								
Otro _____•	No utiliza hidrocarburos•								





Firma: _____ Dr. Marcos Young **084**

Código de identificación: EC-CBITPC- _____

Referencia: **RESEGIS#3943**

Fecha: **13 marzo 2025**

 UNIVERSIDAD DE PANAMÁ VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO 	
CUESTIONARIO INFORMACIÓN DE LOS PARTICIPANTES	
Exposición ocupacional a compuestos orgánicos volátiles (COVs) y su asociación con alteraciones hematológicas en trabajadores expuestos a hidrocarburos, Panamá 2025	
Código de Formulario:	Versión: 2.0 Fecha: _____
Página 3 de 4	
CÓDIGO DE PARTICIPANTE: # _____	

23. ¿En qué fecha ingresó a trabajar en esta empresa? _____

24. Antigüedad o tiempo laborando en la empresa(años) _____

25. ¿Cuánto tiempo trabaja en contacto con hidrocarburos?

Horas/día _____ Día/semana _____ (Representa: Días año _____)

Horas extras/semana _____

26. Tiene otro trabajo u ocupación en su tiempo libre No• Sí •

26.1. Si response sí, ¿Cuál? _____

27. ¿Trabaja en otro sitio en el que se encuentre en contacto directo con hidrocarburos o disolventes? (Taxi, talleres de pintura, zapatería, imprentas) No• Sí •

28. ¿Ha trabajado (anteriormente) en otro sitio en que estuvo en contacto directo con hidrocarburos o disolventes? No• Sí • , ¿Cuál? _____

29. ¿Utiliza equipo de protección laboral? Siempre • Casi siempre •

A veces• Nunca •

30. Equipo de protección que utiliza: guantes • gafas protectoras•

mascarilla• bata• Overol•

botas• casco• ninguno•

baño/ducha • respirador• ¿Cuál? _____

Otro _____

31. Su lugar de residencia se encuentra cerca de alguna fabrica No• Sí • . Si response sí, especifique _____


COMITÉ DE BIOÉTICA
APROBADO

Firma: _____ Dr. Marcos Young 084

Código de identificación: EC-CBITPC

Referencia: **RESEGIS#3943**

Fecha: **13 marzo 2025**

 UNIVERSIDAD DE PANAMÁ VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO 	
CUESTIONARIO INFORMACIÓN DE LOS PARTICIPANTES	
Exposición ocupacional a compuestos orgánicos volátiles (COVs) y su asociación con alteraciones hematológicas en trabajadores expuestos a hidrocarburos, Panamá 2025	
Código de Formulario:	Versión: 2.0 Fecha: Página 4 de 4
CÓDIGO DE PARTICIPANTE: # _____	

D-SÍNTOMAS																
32. Presenta o ha presentado los siguientes síntomas: <table style="width: 100%;"> <tr> <td>Dolores de cabezas persistentes•</td> <td>Cansancio•</td> </tr> <tr> <td>Moretones sin motivos•</td> <td>Sensación de náuseas•</td> </tr> <tr> <td>Vómitos •</td> <td>Mareos •</td> </tr> <tr> <td>Somnolencia diurna •</td> <td>Perdida de conocimiento•</td> </tr> <tr> <td>Sensación de estar borracho•</td> <td>Irritación ocular •</td> </tr> <tr> <td>Irritación de garganta •</td> <td>Tos persistente •</td> </tr> <tr> <td>Trastornos de memoria •</td> <td>Disminución de fuerzas en miembros •</td> </tr> <tr> <td>Problema para respirar •</td> <td></td> </tr> </table> 33. ¿Ha tenido accidentes laborales relacionados con derrames o sobreexposición con hidrocarburos? No• Sí • , ¿Cuál? _____	Dolores de cabezas persistentes•	Cansancio•	Moretones sin motivos•	Sensación de náuseas•	Vómitos •	Mareos •	Somnolencia diurna •	Perdida de conocimiento•	Sensación de estar borracho•	Irritación ocular •	Irritación de garganta •	Tos persistente •	Trastornos de memoria •	Disminución de fuerzas en miembros •	Problema para respirar •	
Dolores de cabezas persistentes•	Cansancio•															
Moretones sin motivos•	Sensación de náuseas•															
Vómitos •	Mareos •															
Somnolencia diurna •	Perdida de conocimiento•															
Sensación de estar borracho•	Irritación ocular •															
Irritación de garganta •	Tos persistente •															
Trastornos de memoria •	Disminución de fuerzas en miembros •															
Problema para respirar •																



**COMITÉ DE
BIOÉTICA**
COMITÉ CONSULTIVO

APROBADO

Firma: _____
 Dr. Marcos Young

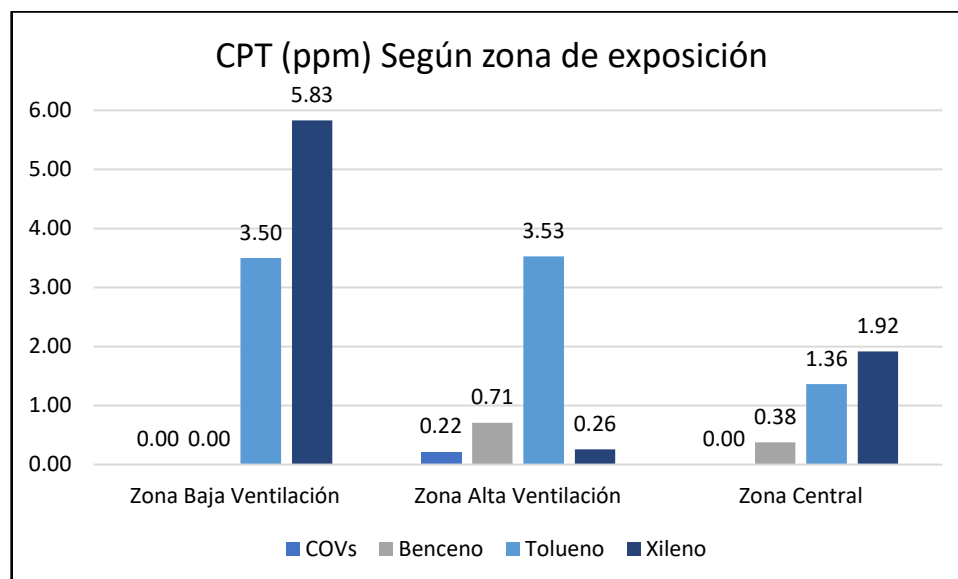
Código de identificación: EC-CBITPC- 084

Referencia: RESEGIS#3943

Fecha: 13 marzo 2025

ANEXO 4. Gráficos de los resultados

Figura 3. Evaluación de la exposición por zonas (CPT). Laboratorio hidrocarburos



Fuente. CPT calculada de las mediciones del equipo MSA ALTAIR® 5X

ANEXO 5. Cálculos de CDI

Figura 4. *Formula exposición inhalatoria diaria promedio CDI*

$$CDI = \frac{C \times IR \times EF \times ET \times ED}{BW \times AT}$$

- **CDI**: exposición inhalatoria diaria promedio
- **C**: la concentración del compuesto en el aire en mg/m³. (se tomó el promedio de la de la medición de CPT de todas las zonas muestradas).
- **IR**: Tasa de inhalación m³/hora. (Se utilizaron los valores del Manual Guía de Evaluación en Salud Pública de ATSDR: Hombre adulto = 15.2 m³/día, Mujer adulta = 11.3 m³/día)
- **ET** = Tiempo de exposición (horas/día)
- **EF** = Frecuencia de exposición (días/año)
- **ED** = Duración de la exposición (años)
- **BW** = Peso corporal (kg)
- **AT** = Tiempo promedio (ED * EF) (días). (United States Environmental Protection Agency EPA)

Fórmula CDI (*Chronic Daily Intake*) expresada como dosis (mg/kg día), incorpora la tasa de inhalación y el peso corporal, permitiendo estimar la dosis interna crónica absorbida. Fuente: (United States Environmental Protection Agency EPA)

La mediana de CDI para el grupo expuesto fue de 0.04 mg/kg. Día para benceno (mínimo 0.03 mg/kg. Día – máximo 0.09 mg/kg. Día), tolueno 0.40 mg/kg.día (mínimo 0.29 mg/kg.día – máximo 0.84 mg/kg.día) y xileno 0.44 mg/kg.día (mínimo 0.31mg/kg.día – máximo 0.93 mg/kg.día), frente a valores nulos en el grupo no expuesto.

ANEXO 6. Datos hematológicos en expuestos según la labor que realizan vs no expuesto

Tabla 15. *Prueba T de muestras independientes. Datos hematológicos en expuestos según la labor que realizan vs no expuesto*

	Expuestos a COVs (n=13)	No expuestos a COVs (n=17)	Sig. (bilateral)	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
Variable	Media	Media	p*	Inferior	Superior
Leucocitos	7.76	7.40	0.49	-0.69	1.40
Eritrocitos	4.84	4.64	0.37	-0.24	0.64
Hemoglobina	14.13	13.41	0.23	-0.48	1.92
Hematocrito	43.07	40.23	0.10	-0.58	6.26
VCM	89.27	86.87	0.08	-0.26	5.06
Hemoglobina Corpuscular media	29.28	28.94	0.49	-0.67	1.36
Concentración de hemoglobina corpuscular media	32.80	33.32	0.10	-1.14	0.10
Amplitud de la distribución eritrocitaria	14.26	14.06	0.56	-0.50	0.90
Plaquetas	248.64	306.54	0.01	-99.54	-16.27
Volumen plaquetario medio	9.30	8.84	0.14	-0.16	1.08
Neutrófilos%	51.09	58.14	0.04	-13.68	-0.42
Linfocitos%	38.44	32.40	0.05	0.07	12.01
Monocitos%	6.41	6.74	0.60	-1.63	0.96
Eosinófilos%	3.62	2.36	0.05	0.02	2.50
Basófilos%	0.44	0.35	0.27	-0.08	0.26
Neutrófilos#	4.01	4.40	0.45	-1.42	0.65
Linfocitos#	2.96	2.32	0.00	0.24	1.04
Monocitos#	0.48	0.50	0.82	-0.13	0.10
Eosinófilos#	0.27	0.17	0.02	0.02	0.20
Basófilos#	0.03	0.03	0.44	-0.01	0.02

* Prueba T de Student para muestras independientes. Fuente: Elaboración propia, adaptado del flujograma de proceso proporcionado por la empresa.

ANEXO 7. Datos hematológicos en expuestos según años total laborando

Tabla 16. *Prueba T de muestras independientes. Datos hematológicos en expuestos según años total laborando*

Variable	Años total laborando $\geq$ 9.0 (n=16)	Años total laborando < 9.0 (n=14)	Sig. (bilateral)	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
BHC	Media	Media	p*	Inferior	Superior
Leucocitos	7.47	7.66	0.71	-1.24	0.85
Eritrocitos	4.69	4.77	0.73	-0.52	0.37
Hemoglobina	13.56	13.91	0.57	-1.56	0.87
Hematocrito	41.03	41.95	0.60	-4.47	2.63
VCM	87.62	88.24	0.65	-3.41	2.16
Hemoglobina corpuscular media	28.94	29.26	0.53	-1.32	0.69
Concentración de hemoglobina corpuscular media	33.04	33.15	0.74	-0.75	0.54
Amplitud de la distribución eritrocitaria	14.32	13.95	0.28	-0.31	1.05
Plaquetas	299.82	260.46	0.08	-5.07	83.79
Volumen plaquetario medio	8.92	9.18	0.41	-0.89	0.38
Neutrófilos%	55.93	54.12	0.61	-5.28	8.90
Linfocitos%	34.63	35.46	0.79	-7.19	5.54
Monocitos%	6.44	6.78	0.60	-1.62	0.96
Eosinófilos%	2.59	3.27	0.29	-1.98	0.62
Basófilos%	0.40	0.38	0.74	-0.14	0.20
Neutrófilos#	4.28	4.17	0.83	-0.93	1.15
Linfocitos#	2.50	2.70	0.39	-0.66	0.26
Monocitos#	0.47	0.51	0.46	-0.15	0.07
Eosinófilos#	0.18	0.25	0.17	-0.16	0.03
Basófilos#	0.03	0.03	0.57	-0.01	0.02

* Prueba T de Student para muestras independientes. Fuente: Elaboración propia, adaptado del flujograma de proceso proporcionado por la empresa.

ANEXO 8. Fotografías tomadas al realizar la investigación



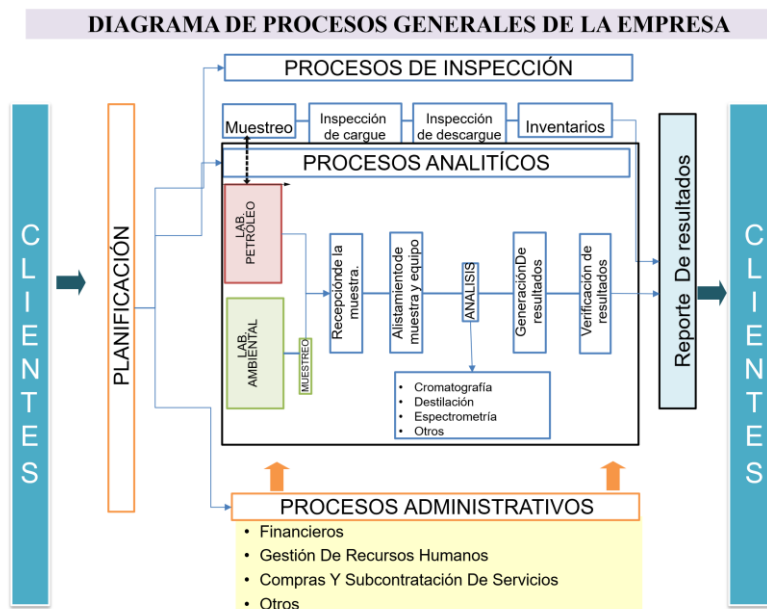
Equipo MSA ALTAIR 5X



Mediciones ambientales y pruebas de los trabajadores

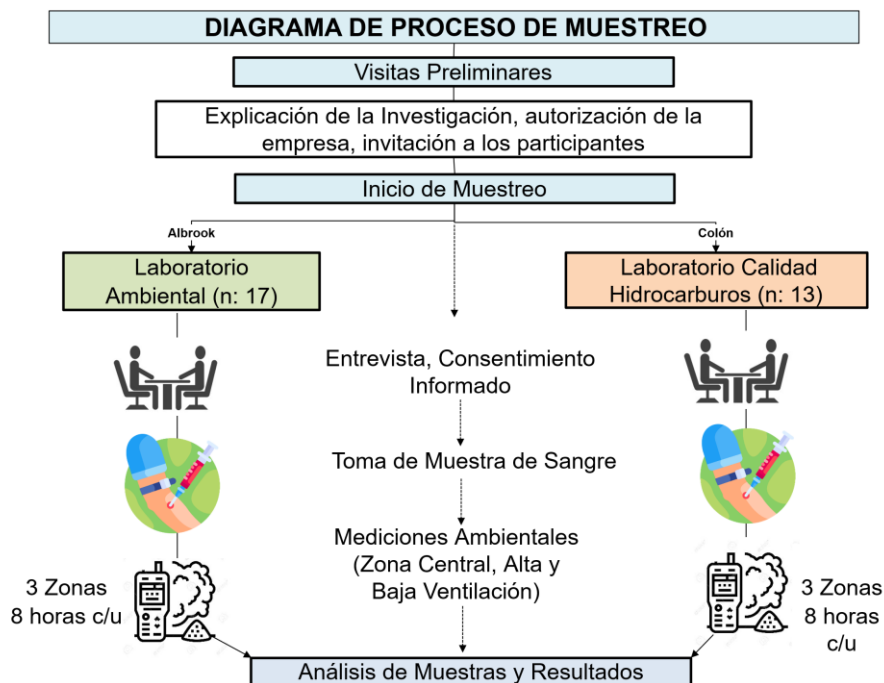
ANEXO 9. Flujo de procesos

Figura 5. Diagrama de procesos generales de la empresa



Fuente: Elaboración propia, adaptado del flujograma de proceso proporcionado por la empresa.

Figura 6. Diagrama de proceso del muestreo



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 10. Revisión de Español

Veraguas, 29 de enero de 2026

Universidad Nacional de Panamá

E.

S.

D.

Estimados señores:

Quien suscribe, Docente **MARIXENIA JORDÁN**, Licenciada en Humanidades con Especialización en español con cédula de identidad personal **8-424-924** notifica haber revisado la tesis cuyo título es "EXPOSICIÓN OCUPACIONAL A COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTICOS (COVIS) Y SU ASOCIACIÓN CON ALTERACIONES HEMATOLÓGICAS EN TRABADORES EXPUESTOS A HIDROCARBUROS, PANAMÁ 2025" por solicitud la estudiante **MEREDITH DEL CARMEN GONZÁLEZ VICTORIA** con cédula de identidad personal **8-862-1199**; para optar por el título de **MAESTRÍA EN TOXICOLOGÍA CON ÉNFASIS EN TOXICOLOGÍA OCUPACIONAL**, a su vez doy fe que el documento cumple satisfactoriamente con todos los requisitos formales de ortografía y redacción exigidos por el idioma español.

Se expide la presente a solicitud del interesado.


Lcda. **MARIXENIA JORDÁN ALMANZA**



UNIVERSIDAD DE PANAMA

LA FACULTAD DE Humanidades

EN VIRTUD DE LA POTESTAD QUE LE CONFIEREN LA LEY Y EL ESTATUTO UNIVERSITARIO,
HACE CONSTAR QUE

Marixenia Jordán Almanza

HA TERMINADO LOS ESTUDIOS Y CUMPLIDO CON LOS REQUISITOS
QUE LE HACEN ACREEDOR AL TITULO DE

**Licenciada en Humanidades con
Especialización en Español**

Y EN CONSECUENCIA SE LE CONCEDE TAL GRADO CON TODOS LOS DERECHOS,
HONORES Y PRIVILEGIOS RESPECTIVOS, EN TESTIMONIO DE LO CUAL SE LE EXPIDE
ESTE DIPLOMA EN LA CIUDAD DE PANAMÁ, A LOS **veintiocho**
DÍAS DEL MES DE **febrero** DEL AÑO DOS MIL **cinco**.

Diploma **124, 610**

Identificación Personal **8-424-924**

Secretario General

Secalder

Rector