

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)
EN UN LABORATORIO DE HIDROCARBUROS Y SU ASOCIACIÓN CON EL
DESEMPEÑO EN LA EVALUACIÓN NEUROCONDUCTUAL. PANAMÁ, 2025*

BERNARDINO ESCARTÍN RÍOS

TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA

PANAMÁ, REPÚBLICA DE PANAMÁ

2025

*EXPOSICIÓN OCUPACIONAL A COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COVS)
EN UN LABORATORIO DE HIDROCARBUROS Y SU ASOCIACIÓN CON EL
DESEMPEÑO EN LA EVALUACIÓN NEUROCONDUCTUAL. PANAMÁ, 2025*

PRESENTADA POR: BERNARDINO ESCARTÍN RÍOS

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

JURADO CALIFICADOR:

Dr. Martín Alpírez Guardao Director (a) de Tesis _____

Dra. Brenda Sobenis Miembro del Jurado _____

Dra. Thelma Pavezi Miembro del Jurado _____

REPRESENTANTE DE LA VICERRECTORÍA DE
INVESTIGACIÓN Y POST GRADO _____

COORDINADOR (A) DE POST GRADO _____

Fecha: Panamá, 4 de mayo de 2026.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a todos aquellos que creen en el poder del conocimiento. A todas las personas que buscan superarse y alcanzar una meta. A todos mis compañeros con los cuales compartí momentos inolvidables durante este largo camino de preparación profesional. A mi esposa Noris y a mi princesa Elah, que son mi fuente de motivación; a mi madre, a mis hermanos, a todos mis profesores y, sobre todo, a Dios, por darme la fortaleza, sabiduría y paciencia para culminar este proyecto.

Bernardino Escartín Ríos

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a todos los involucrados en este proceso de preparación y superación profesional. A mis maestros: Hildauro Patiño, Teresa Rodríguez, Martín Alpírez, María Inés Esquivel, a todos los profesores de la maestría, al staff del CIIMET, a todo el equipo del Centro de Estudios de la Salud del Trabajador y Ecología Humana (CESTEH) de la Fundación Oswaldo Cruz, en Río de Janeiro, Brasil y a todo el personal del Centro de Información Toxicológica (CIAT) en Montevideo, Uruguay, les estaré eternamente agradecido por ser parte de esta historia.

Bernardino Escartín Ríos

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN.....	2
CAPÍTULO PRIMERO.....	3
MARCO CONCEPTUAL	3
1. ANTECEDENTES	4
1.1. ASPECTOS GENERALES	4
1.1.1. Planteamiento del problema	4
1.1.2. Justificación e importancia	6
1.1.3. Hipótesis de trabajo	6
1.1.4. Objetivo general	7
1.1.5. Objetivos específicos.....	7
1.2. Cobertura del estudio	7
1.3. Limitaciones	7
CAPÍTULO SEGUNDO	10
MARCO TEÓRICO – REFERENCIAL.....	10
2. Compuestos orgánicos volátiles (COVs).....	11
2.1. Benceno, tolueno y xilenos	12
2.2. Antecedentes	13
2.3. Exposición profesional.....	15
2.4. Efectos neuroconductuales	16
2.5. Desempeño neuroconductual	16
2.6. Vigilancia de la salud de los trabajadores.....	17
2.6.1. Marco legal internacional.....	17
2.6.2. Marco legal nacional	18
CAPÍTULO TERCERO.....	21

METODOLOGÍA	21
3. Metodología	22
3.1. Tipo y diseño del estudio	22
3.2. Participantes	22
3.3. Criterios de inclusión.....	23
3.4. Criterios de exclusión.....	23
3.5. Variables	23
3.5.1. Variables independientes	23
3.5.2. Variables dependientes.....	25
3.6. Operacionalización de las variables	27
3.7. Recolección de información, instrumentos a utilizar y métodos para el control de calidad de los datos.....	32
3.8. Aspectos éticos.....	32
3.9. Análisis estadístico.....	33
CAPÍTULO CUARTO	34
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
4. Presentación y discusión de los resultados	35
4.1. Resultados.....	35
4.1.1. Flujo de proceso del laboratorio	35
4.1.2. Características sociodemográficas.....	37
4.1.3. Historia laboral	37
4.1.4. Hábitos y antecedentes de salud	40
4.1.5. Exposición a largo plazo.....	42
4.1.6. Exposición reciente.....	42
4.1.7. Efectos neuroconductuales.....	44
4.1.8. Desempeño en las pruebas neuroconductuales.....	44

4.1.9. Relación entre la exposición a largo plazo y reciente a BTX y el desempeño en las pruebas neuroconductuales	48
4.2. Discusión.....	52
4.2.1. Análisis complementario	61
CONCLUSIONES.....	62
CONTRIBUCIÓN DEL ESTUDIO Y RECOMENDACIONES	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
ANEXOS	77
ANEXO 1.....	78
ANEXO 2.....	122
ANEXO 3.....	125
ANEXO 4.....	129
ANEXO 5.....	132
ANEXO 6.....	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Datos sociodemográficos de los trabajadores de los laboratorios de análisis químico, Colón y Albrook.....	37
Tabla 2 Historia laboral de los trabajadores de los laboratorios de análisis químico, Colón y Albrook	39
Tabla 3 Hábitos de los trabajadores de los laboratorios de análisis químico, Colón y Albrook	40
Tabla 4 Antecedentes de salud de los trabajadores de los laboratorios de análisis químico, Colón y Albrook.....	41
Tabla 5 Nivel de exposición a largo plazo a BTX en base a la mediana de la CDI de los trabajadores en los laboratorios de análisis químico, Colón y Albrook.....	42
Tabla 6 Índice de riesgo (IR) de BTX, en los laboratorios de análisis químico, Colón y Albrook	43
Tabla 7 Desempeño del tiempo de reacción simple visual promedio de los trabajadores de los laboratorios de análisis químico, Colón y Albrook	44
Tabla 8 Desempeño en las fuerzas de pinza y agarre de los trabajadores de los laboratorios de análisis químico, Colón y Albrook.....	45
Tabla 9 Desempeño en la prueba de dígitos de los trabajadores de los laboratorios de análisis químico, Colón y Albrook	46
Tabla 10 Determinación de síntomas neuropsicológicos y neuropsiquiátricos mediante la aplicación del cuestionario Q-16 a los trabajadores de los laboratorios de análisis químico, Colón y Albrook	47
Tabla 11 Relación entre la exposición a BTX y el desempeño de las pruebas neuroconductuales de los trabajadores de los laboratorios químicos de Colón (expuestos) y Albrook (no expuestos)	49
Tabla suplementaria 1 Prueba de distribución normal Shapiro Wilk.....	78
Tabla suplementaria 2 Relación entre la exposición a largo plazo a BTX y el desempeño en las pruebas neuroconductuales de los trabajadores de los laboratorios químicos de Colón y Albrook	78
Tabla suplementaria 3 Relación entre la exposición reciente a BTX y el desempeño en las pruebas neuroconductuales de los trabajadores de los laboratorios químicos de Colón y Albrook.	80

Tabla suplementaria 4 Regresión logística binaria nivel univariado para variables confusoras sobre los efectos neuroconductuales.	82
Tabla suplementaria 5 Relación entre el nivel de exposición a BTX y el desempeño en la fuerza de pinzas y agarre, mano dominante, de los trabajadores del laboratorio de Colón.	85
Tabla suplementaria 6 Relación entre el nivel de exposición a BTX y el desempeño en la fuerza de pinzas y agarre, mano no dominante, de los trabajadores del laboratorio de Colón.	86
Tabla suplementaria 7 Nivel de exposición a largo plazo a BTX a partir de la mediana de la ADD de los trabajadores expuestos y no expuestos.	86
Tabla Suplementaria 8 Comparación de la CDI de BTX con valores de referencia nacional e internacional de exposición ponderada en el tiempo, y la estimación del nivel de exposición a largo plazo en los trabajadores del laboratorio de Colón.	87
Tabla Suplementaria 9 Índice de riesgo (IR) de BTX según los valores de referencia nacional e internacional de exposición ponderada en el tiempo en diferentes zonas de muestreo y estimación del nivel de exposición reciente en el laboratorio de Colón.	88
Tabla Suplementaria 10 Evaluación de los peligros identificados en los laboratorios según las etapas del flujo de procesos y matriz de riesgo.	88
Tabla Suplementaria 11 Identificación de peligros y evaluación de riesgos de las sustancias químicas del laboratorio de Colón.	89
Tabla Suplementaria 12 Identificación de peligros y evaluación de riesgos de las sustancias químicas del laboratorio de Albrook.	97
Tabla Suplementaria 13 Resumen de las normativas nacionales de salud y seguridad ocupacional.	108

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1	Esquema del proceso productivo del laboratorio de análisis químico.....	36
Figura 2	Distribución de la edad promedio según el grupo de exposición a BTX.....	110
Figura 3	Distribución del peso corporal según el grupo de exposición a BTX.....	111
Figura 4	Frecuencia de distribución del sexo según el grupo de exposición a BTX. .	111
Figura 5	Distribución de la escolaridad según el grupo de exposición a BTX.	112
Figura 6	Distribución de la ocupación o cargo según el grupo de exposición a BTX.	112
Figura 7	Tiempo de descanso dentro de la jornada laboral según el grupo de exposición a BTX.....	113
Figura 8	Uso de equipo de protección personal según el grupo de exposición a BTX.....	113
Figura 9	Capacitación en higiene, seguridad y protección personal según el grupo de exposición a BTX.....	114
Figura 10	Control de salud por parte de la empresa según grupo de exposición a BTX.....	114
Figura 11	Consumo de sustancias psicoactivas según grupo de exposición a BTX.	115
Figura 12	Frecuencia de antecedentes patológicos según grupo de exposición a BTX.....	115
Figura 13	Frecuencia de uso de medicamentos psicoactivos según el grupo de exposición a BTX.....	116
Figura 14	Nivel de exposición a largo plazo en el grupo expuesto a BTX.....	116
Figura 15	Índice de riesgo (IR) según los valores nacionales de referencia vigentes para la exposición reciente a BTX en diferentes zonas del laboratorio químico.	117
Figura 16	Índice de riesgo (IR) según valores internacionales de referencia para la exposición reciente a BTX en diferentes zonas del laboratorio químico.....	117
Figura 17	Distribución del desempeño del TRSV según el grupo de exposición a BTX.....	118
Figura 18	Distribución del desempeño de las fuerzas de pinzas y agarre en mano dominante según el grupo de exposición a BTX.	118
Figura 19	Distribución del desempeño de las fuerzas de pinzas y agarre en mano no dominante según el grupo de exposición a BTX.	119
Figura 20	Distribución del desempeño de la prueba de dígitos según el grupo de exposición a BTX.....	119

Figura 21	<i>Distribución del desempeño en la aplicación del cuestionario q-16 según el grupo de exposición a BTX.....</i>	<i>120</i>
Figura 22	<i>Asociación entre la exposición a BTX y el desempeño neuroconductual..</i>	<i>120</i>
Figura 23	<i>Jerarquía de Controles</i>	<i>121</i>
Figura 24	<i>Fórmula para el cálculo de la ingesta diaria promedio</i>	<i>121</i>
Figura 25	<i>Valores de referencia promedios de las fuerzas de pinzas según sexo y edad.....</i>	<i>132</i>
Figura 26	<i>Valores de referencia de la fuerza de agarre según sexo y edad.....</i>	<i>131</i>
Figura 27	<i>Certificados de calibración del medidor multigás ALTAIR5X.....</i>	<i>133</i>
Figura 28	<i>Certificado de calibración del dinamómetro de pinza.....</i>	<i>134</i>
Figura 29	<i>Mapa de procesos del laboratorio.....</i>	<i>134</i>

ABREVIATURAS

ACGIH: Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales

ADD: Dosis diaria promedio

AT: Tiempo promedio (días/año)

ATSDR: Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades

BTX: Benceno, tolueno y xilenos

CDI: Exposición diaria inhalatoria promedio

COVs: Compuestos orgánicos volátiles

CCT: Concentración para exposición de tiempo corto (15 minutos)

CPT: Concentración ponderada en el tiempo (8 horas)

DGNTI-COPANIT: Dirección General de Normas y Tecnología Industrial. Comisión Panameña de Normas Industriales y Técnicas

DE: Desviación estándar

ECHA: Agencia Europea de Sustancias y Mezclas Químicas

ED Duración de la exposición (años)

EF: Frecuencia de exposición (días/año)

ET: Tiempo de exposición (horas/día)

EPA: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos

GHS: Sistema globalmente armonizado

IARC: Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer

INSST: Instituto Nacional de seguridad y salud en el trabajo de España

IR: Índice de riesgo

MINSa: Ministerio de Salud de Panamá

NIOSH: Instituto Nacional para la Salud y Seguridad Ocupacional

OIT: Organización Internacional del Trabajo

OMS: Organización Mundial de la Salud

OPS: Organización Panamericana de la Salud

OR: Odds ratio

RESEGIS: Registro y Seguimiento de Investigación para la Salud, Ministerio de Salud

TRSV: Tiempo de reacción simple visual

TrLA: Trabajadores del laboratorio de Albrook

TrLC: Trabajadores del laboratorio de Colón

TLV-TWA: Valor límite umbral promedio ponderado en el tiempo

RESUMEN

La exposición ocupacional a BTX se ha asociado con efectos neurotóxicos progresivos, alteraciones neuroconductuales y déficits cognitivos sutiles, las exposiciones crónicas con bajas concentraciones pueden generar efectos subclínicos en poblaciones expuestas. El objetivo de este estudio fue evaluar la asociación ocupacional a COVs, específicamente benceno, tolueno, xileno (BTX) y el desempeño neuroconductual en los trabajadores de un laboratorio de hidrocarburos. Se empleó un diseño transversal analítico. Participaron un total de 32 trabajadores activos clasificados en grupo expuesto y no expuesto. La exposición prolongada se estimó mediante la CDI y la exposición reciente, a través del IR obtenido a partir de la cuantificación CPT. El desempeño neuroconductual fue evaluado a través de la aplicación de pruebas neuroconductuales estandarizadas que evaluaron el dominio cognitivo/motor (TRSV), cognitivo (prueba de dígitos), el dominio motor (fuerza de pinza y garre) y el dominio afectivo (cuestionario Q-16). Resultados: las pruebas del dominio motor mostraron asociaciones positivas con la exposición a BTX. En la mano no dominante, la pinza lateral presentó un OR = 5.56 (IC95 %: 0.95 – 32.50), $P = 0.065$, compatible con un efecto fuerte; en tanto que la pinza palmar mostró un OR = 3.33 (IC95 %: 0.68 – 16.30), $P = 0.158$, correspondiente a un efecto moderado. En la mano dominante, los ORs oscilaron entre 1.22 y 1.88, sugiriendo efectos débiles a moderados. Conclusión: aunque las asociaciones no fueron estadísticamente significativas la magnitud de los efectos son compatibles con alteraciones neuroconductuales subclínicas en los trabajadores expuestos.

Palabras claves: COVs, benceno, tolueno, xileno, desempeño neuroconductual.

SUMMARY

Occupational exposure to BTX has been associated with progressive neurotoxic outcomes, including neurobehavioral alterations and subtle cognitive deficits, while chronic exposure to low-level exposure may result in subclinical neurological effects in exposed populations. The objective of this study was to evaluate the occupational exposure to BTX and its association with neurobehavioral performance among workers in a hydrocarbon laboratory. An analytical cross-sectional design was employed, including 32 active workers categorized into exposed and non-exposed groups. Prolonged exposure was assessed through the calculation of chronic daily intakes (CDI) and recent exposure, by estimating the Risk Index (RI) obtained from quantifying the TWA. Neurobehavioral performance was assessed using standardized tools for neurotoxic symptoms. The simple reaction time test (TRSV) evaluated cognitive–motor coordination, the digit span test assessed cognitive function, grip and pinch strength tests measured motor performance, and the Q-16 questionnaire, the affective domain. Results indicated that evaluation of motor performance suggested a trend toward impaired function associated with BTX exposure. In the non-dominant hand, lateral pinch strength showed the largest effect estimate (OR = 5.56; 95% CI: 0.95 – 32.50; $p = 0.065$) followed by palmar pinch strength (OR = 3.33; 95% CI: 0.68 – 16.30; $p = 0.158$), corresponding to strong and moderate effect magnitudes, respectively. Estimates for the dominant hand were lower (OR range: 1.22 to 1.88), indicating weak to moderate effects. Although no statistically significant associations were observed, the pattern and magnitude of the effect estimates are consistent with early subclinical neurobehavioral changes among workers occupationally exposed.

Key Words: VOCs, Benzene, Toluene, Xylene, Neurobehavioral performance.

INTRODUCCIÓN

La exposición a COVs en el medio laboral continúa siendo un desafío importante para la salud ocupacional, específicamente en aquellas actividades donde se utilizan o manipulan sustancias químicas que liberan o producen esta clase de compuestos. Entre ellos, el benceno ocupa un lugar relevante debido a su uso extendido en procesos industriales y a la evidencia científica que demuestra su alta toxicidad tanto aguda como crónica. Este compuesto, reconocido por ser un agente carcinogénico, también ha sido vinculado, junto al tolueno y xilenos como sustancias capaces de producir alteraciones en el sistema nervioso central, las cuales pueden manifestarse a través de cambios en el comportamiento, atención y la coordinación motora.

En Panamá, los estudios que tratan sobre la exposición ocupacional COVs y sus efectos sobre las funciones neuroconductuales son escasos. Esta falta de información dificulta la planificación de estrategias preventivas y limita la capacidad institucional para evaluar de manera oportuna los riesgos asociados a este tipo de sustancias. Ante ello, resulta necesario generar datos locales que permitan entender el impacto a la salud de los trabajadores, sobre todo la exposición crónica y a bajas concentraciones de COVs.

El objetivo de este trabajo es evaluar la asociación entre la exposición laboral a COVs (benceno, tolueno, xilenos) y los efectos sobre el desempeño neuroconductual en los trabajadores de un laboratorio de hidrocarburos, considerando las condiciones reales de su ambiente laboral.

Mediante la aplicación de pruebas estandarizadas y el análisis comparativo de grupos expuestos y no expuestos, se busca identificar diferencias que orienten futuras acciones preventivas, de vigilancia y control, así como contribuir al desarrollo de políticas públicas que garanticen un ambiente de trabajo seguro.

CAPÍTULO PRIMERO
MARCO CONCEPTUAL

1. ANTECEDENTES

1.1. ASPECTOS GENERALES

1.1.1. Planteamiento del problema

Las intoxicaciones laborales u ocupacionales son un problema de salud pública a nivel mundial. De acuerdo con cifras de la Organización Mundial de la Salud (OMS), para el 2004, se notificaron cerca de 346,000 reportes de intoxicaciones accidentales por sustancias químicas, donde el porcentaje más alto se observó en países con ingresos bajos. Así pues, la Organización Panamericana de la Salud (OPS), en el informe de la Salud en las Américas en el 2012, destaca que la exposición a los contaminantes químicos en la región es una situación poco atendida, estimándose un incremento de 10 veces más en la producción y utilización de químicos a nivel mundial para el 2010 (Instituto Nacional de Salud de Colombia, 2016).

Es por ello, que en el Plan de Acción Sobre la Salud de los Trabajadores 2015 – 2025 (OPS/OMS), se establecieron estrategias para la identificación, evaluación, prevención y control de las condiciones y exposiciones peligrosas en el trabajo, permitiendo valorar la fuente, los medios de transmisión y la magnitud de los agentes de riesgos ocupacionales (químicos, físicos, biológicos, psicosociales, higiénicos y estresores ergonómicos).

La exposición a sustancias químicas se ha convertido en un importante riesgo por exposición ocupacional en todo el mundo, por ejemplo, millones de trabajadores están expuestos a compuestos orgánicos volátiles (COVs) diariamente. Según datos del Instituto Nacional para la Salud y Seguridad Ocupacional (NIOSH), el impacto producido a la salud por exposición a sustancias químicas representa un costo económico muy elevado, en más de \$1.000 millones de dólares anuales solo en problemas dermatológicos (Ortiz y Sánchez, 2018).

La exposición laboral a COVs ha sido evaluada en diferentes actividades profesionales, tales como pintores, carpinteros restauradores de obras de arte, zapateros, bomberos, trabajadores de la industria petrolera, operadores de máquina, expendedores de combustibles, mecánicos automotrices, entre otras. Varios investigadores han evaluado la exposición de COVs en trabajadores de la industria petrolera, siendo los hidrocarburos aromáticos como el benceno, tolueno y xilenos entre los COVs los más estudiados. En estudios realizados en trabajadores de estaciones de combustible, se ha demostrado que existe una alta correlación entre la exposición en aire ambiental y en el aire exhalado de los trabajadores expuestos. (Hidalgo, Fernández y Simó, 2009).

Entre los efectos que se han estudiado por la exposición a COVs de hidrocarburos destacan: efectos neuroconductuales, mutagénicos, carcinogénicos, hematológicos, inmunológicos, cardiovasculares, renales hepáticos e incluso la muerte. Por ejemplo, el benceno, ha sido catalogado como agente cancerígeno para los seres humanos, grupo 1 de la IARC.

Las repercusiones de una intoxicación crónica generalmente son de consideración y en alguno de los casos, graves; afectando en gran medida la calidad de vida de la persona, produciendo discapacidad y en el peor de los casos la muerte por una enfermedad como el cáncer. El sistema nervioso es uno de los sistemas con mayor sensibilidad a los efectos de los COVs por lo que se considera un sistema centinela para la vigilancia de los efectos de estos en trabajadores expuestos (Soni et al, 2018).

En Panamá, entre las ocupaciones expuestas a COVs se encuentran: los trabajadores de las terminales de hidrocarburos (manejan los muelles para desembarco y almacenamiento de petróleo crudo, semiprocado y procesado; algunos realizan ciertas actividades de refinado y manejan los ductos), de laboratorios de análisis y acreditación de calidad de los hidrocarburos (parámetros físico-químicos, punto de niebla, octanaje, determinación de azufre en diésel, gasolina y gas licuado, determinación de agua en productos derivados del petróleo, determinación de cenizas en derivados del petróleo, sedimentación total en combustibles residuales, determinación de ésteres metílicos de ácidos grasos en combustible y otros), trabajadores de estaciones de servicio, bomberos, trabajadores expuestos al tráfico etc. Sin embargo, los registros estadísticos de salud no reflejan los riesgos por intoxicaciones agudas y mucho menos por exposición a largo plazo para este tipo de sustancias.

Por lo anterior, se plantea el problema de investigación:

¿Qué niveles de exposición de COVs de hidrocarburos se asocian a efectos neuroconductuales en los trabajadores de un laboratorio químico?

Así, por lo expuesto anteriormente, se propone investigar la exposición ocupacional prolongada a COVs en un laboratorio químico, donde se muestrean y analizan muestras de los hidrocarburos que ingresan al país, mediante la medición de las concentraciones máximas permisibles en aire de los COVs y la determinación de posibles efectos neuroconductuales en los trabajadores.

1.1.2. Justificación e importancia

De acuerdo con la Agenda Nacional de Prioridades de Investigación para la Salud, 2016 – 2025, de Panamá, se ha establecido la salud laboral como una de las áreas prioritarias a desarrollar. Una de las líneas estratégicas de investigación planteadas en esta área son los determinantes, factores de riesgo y condiciones laborales (ambiente, lugar, manejo de sustancias tóxicas).

El propósito principal de esta investigación es evidenciar la magnitud del problema a través de los resultados que se obtengan, ya que en Panamá no existen estudios relacionados con el tema.

Basado en la pirámide de gestión de riesgo, el alcance de este estudio está dirigido a garantizar la seguridad del trabajador. De acuerdo a dicha pirámide, las recomendaciones podrían relacionarse con dotación de equipos de protección personal adecuados, controles de salud periódicos; proponer cambios administrativos como capacitación permanente, cumplimiento de las normas vigentes para la higiene y seguridad industrial, rotación de puestos de trabajo, cambios en la carga horaria, tiempo de descanso, vincularse al entorno con el fin de brindar asesorías técnicas en materia de toxicología ocupacional para mejorar los procesos productivos haciéndolos más seguros, eficaces y eficientes. También podría ser necesario un rediseño de ingeniería del área de trabajo como: mejora de la ventilación, control de temperatura y humedad, acondicionamiento de un área de cocina, vestidores y baño, todo con el objetivo de reducir la exposición.

Finalmente, crear conciencia de que las intoxicaciones son parte de los efectos y riesgos profesionales que deben estar bien identificados, valorados y documentados, para poder generar políticas e instrumentos en el ámbito de la toxicología ocupacional, por lo que la investigación está dirigida a todos los interesados como trabajadores, empresarios y profesionales de la salud y seguridad ocupacional que quieran seguir generando conocimientos a través de investigaciones futuras en esta área.

1.1.3. Hipótesis de trabajo

Existe asociación entre la exposición ocupacional a COVs de hidrocarburos y la disminución en el desempeño de las pruebas neuroconductuales en un laboratorio de hidrocarburos en Panamá.

1.1.4. Objetivo general

Evaluar la exposición ocupacional a COVs de hidrocarburos y su asociación con el desempeño en la evaluación neuroconductual en trabajadores de un laboratorio de los hidrocarburos.

1.1.5. Objetivos específicos

Describir el flujo de proceso del laboratorio.

Medir la concentración en aire de COVs en distintas zonas de trabajo.

Estimar la exposición crónica a COVs mediante los parámetros de la historia laboral.

Estimar la exposición reciente a COVs a partir de la concentración ponderada en el tiempo.

Describir el desempeño de los trabajadores en la evaluación neuroconductual considerando los dominios cognitivos y motor.

Determinar la asociación entre la exposición de COVs y el desempeño de los trabajadores en las pruebas neuroconductuales.

1.2. Cobertura del estudio

Esta investigación se llevó a cabo en un laboratorio de análisis químico con dos emplazamientos, uno está ubicado en Albrook, corregimiento de Ancón, ciudad de Panamá, y el otro localizado en Bahía las Minas, corregimiento de Cativá, ciudad de Colón. Durante el mes de mayo se realizaron las mediciones en aire de ambos laboratorios y se ejecutaron las pruebas neuroconductuales, centrándose en la evaluación de la exposición a COVs y su asociación con el desempeño neuroconductual.

1.3. Limitaciones

Las limitaciones en este estudio derivan principalmente del diseño metodológico y el número de participantes. Se utilizó un diseño analítico de corte transversal basado en criterios científicos, logísticos y éticos. Este tipo de estudios es considerado apropiado para investigaciones en el campo ocupacional donde se busca explorar posibles asociaciones, en este caso, entre la exposición a COVs y el desempeño neuroconductual dentro de un mismo momento, sin manipular variables ni intervenir en las condiciones laborales. La principal limitante es que no se puede inferir algún tipo de causalidad, sin embargo, genera información útil para la vigilancia epidemiológica y para la identificación de grupos de riesgo (Bonita, Beaglehole, Kjellström, 2006). Por su parte, en escenarios donde no es viable un seguimiento temporal, los estudios transversales son válidos ya que generan evidencia inicial de asociación exposición/efecto (Rothman, 2021).

En cuanto al tamaño de la muestra, se optó por incluir a la totalidad de los trabajadores que cumplieran con los criterios de inclusión. Si bien se logró incluir a casi todos los trabajadores, la cantidad absoluta de los participantes sigue siendo modesta y condiciona el alcance de los resultados, es decir limita la potencia estadística y restringe la generalización de estos (Rothman, 2021). Aunque se obtuvieron datos importantes sobre la exposición a COVs y la disminución en el desempeño motor, el tamaño reducido de la población laboral impidió establecer asociaciones estadísticamente significativas.

Otro aspecto por considerar es que el estudio se enfocó en COVs de origen hidrocarburos aromáticos, específicamente benceno, tolueno y xilenos (BTX), sin considerar otros grupos de COVs o mezclas, porque son los compuestos más representativos, además de ser ampliamente reconocidos como indicadores de exposición a solventes derivados del petróleo (ATSDR, 2007; OMS, 2010). No obstante, se reconoce que esta delimitación pudo excluir a otros compuestos que pueden estar presentes como: etilbenceno, hexano y otros, que también pueden contribuir a un efecto combinado sobre el sistema nervioso, lo cual podría subestimar el riesgo global (Khan et al, 2021).

Las mediciones de BTX, se realizaron en diferentes áreas y por periodos de ocho horas, durante la jornada laboral diurna, sin embargo, considerando la naturaleza del proceso productivo y el funcionamiento continuo del laboratorio durante las 24 horas, la ejecución de actividades analíticas presenta una variabilidad operativa intrínseca a los turnos de trabajo. En este contexto, los resultados son representativos de las condiciones de exposición propias del turno diurno, pudiendo no capturar posibles variaciones asociadas a otros periodos operativos, como el turno nocturno o de madrugada, lo cual constituye una limitación metodológica del estudio.

En cuanto a las pruebas neuroconductuales, si bien se usaron instrumentos validados, diversos factores pudieron afectar los resultados, tales como condiciones individuales y laborales de los participantes, es decir, el estilo de vida, fatiga, motivación, descanso laboral, aun cuando se controlaron covariables influyentes como la edad, género, consumo de alcohol y café, antecedentes de hipertensión arterial, hipotiroidismo y ansiedad/depresión, años de trabajar y carga horaria de trabajo. Es importante mencionar que las pruebas fueron aplicadas en un ambiente controlado sin interrupciones. Dicho espacio mantenía condiciones adecuadas de iluminación, ventilación, comodidad y privacidad; el uso de este espacio garantizó la homogeneidad en las condiciones de aplicación de las pruebas.

Es muy importante destacar que, a pesar de las limitaciones de nuestra investigación, la participación voluntaria de casi todos los trabajadores confiere validez interna a nuestros resultados, aun cuando no se alcanzó la significancia estadística.

CAPÍTULO SEGUNDO
MARCO TEÓRICO – REFERENCIAL

2. Compuestos orgánicos volátiles (COVs)

La exposición ocupacional a los COVs ocurre casi a diario, durante varios meses al año hasta por más de 20 años. Distintas investigaciones han documentado efectos neurotóxicos debido a la exposición aguda, subcrónica o crónica a combustibles de hidrocarburo y otros compuestos químicos presentes (Ritchie et al, 2001).

El (Real Decreto 117/2003, sobre limitación de emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes en determinadas actividades, 2003) Ministerio de la Presidencia, España, define compuesto orgánico, a todo compuesto que contenga carbono y uno o más de los siguientes elementos: hidrógeno, halógenos, oxígeno, azufre, fósforo, silicio o nitrógeno, salvo los óxidos de carbono y los carbonatos y bicarbonatos inorgánicos. A su vez, define compuesto orgánico volátil (COV), como todo compuesto orgánico que tenga a 293,15 K una presión de vapor de 0,01 kPa o más, o que tenga una volatilidad equivalente en las condiciones particulares de uso.

Una gran cantidad de sustancias químicas se constituyen como COVs, entre las cuales tenemos: hidrocarburos alifáticos, aromáticos y clorados; aldehídos, cetonas, éteres, ácidos y alcoholes. Por su parte, sustancias como el benceno, cloruro de vinilo y el 1,2 dicloroetano han sido catalogados como sustancias de extrema peligrosidad para la salud de las personas, según la Agencia de Medioambiente del Reino Unido (Guía de apoyo en la implantación del RD 117/2003 sobre limitación de emisiones de COV debidas al uso de disolventes en determinadas actividades, 2007).

Aproximadamente 200 de estas sustancias se constituyen como solventes formando parte de diferentes productos comerciales que se utilizan en distintas áreas industriales y son consideradas agentes neurotóxicos. En Estados Unidos se comercializan alrededor de 100,000 productos de los cuales 750 se asocian a efectos neurotóxicos (Castellar Anillo, 2007). Datos referentes de la European Solvents Industry Group, aproximadamente, una cuarta parte de los compuestos orgánicos volátiles emitidos al aire tienen una fuente antropogénica, principalmente por el uso de disolventes a nivel industrial y doméstico. Otras fuentes antropogénicas son transporte, quema de combustible, el resto es de fuente natural.

Cada año se fabrican, transportan, almacenan y consumen internacionalmente miles de millones de galones de combustibles de hidrocarburos como gasolina, combustibles para aviones, diésel, diésel marino, los cuales son fuentes importantes de una gran cantidad de COVs. En esos productos se han detectados concentraciones relativas de COVs que

producen efectos neurotóxicos conocidos en las personas, cuyos valores oscilan entre menos del 2 % hasta más del 25 % con un promedio de 14.5 %, siendo el benceno, tolueno, m-, o-, p-xileno, n-hexano, varias fracciones de n-C9–C11 (n-propilbenceno, isómeros de trimetilbenceno, etc.) y naftaleno, las principales sustancias encontradas (Ritchie et al, 2001).

2.1. Benceno, tolueno y xilenos

El benceno (C_6H_6), tolueno ($C_6H_5CH_3$) e isómeros de xileno (orto – xileno, meta – xileno, para – xileno) ($C_6H_4(CH_3)_2$) son compuestos orgánicos volátiles que pertenecen al grupo de los hidrocarburos aromáticos monoalquílicos en conjunto son conocidos como BTX puesto que comparten propiedades químicas y toxicológicas similares. Son compuestos líquidos, incoloros, con olor dulce, altamente volátiles e inflamables, con moderada solubilidad en agua (Rubiano Hernández, 2013).

Según datos de la Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR) estos compuestos son peligrosos por su potencial efecto dañino sobre la función hepática, renal, respiratoria, neurológica, inmunitaria, hematológica, además de producir daños sobre el ADN y la posibilidad de ocasionar efectos genotóxicos.

Spyker y Morris, 2001 citado por (Rubiano Hernández, 2013) detallan que “estos compuestos tienen la capacidad de atravesar la barrera hematoencefálica llegando a producir un daño orgánico cerebral por su potencial efecto neurotóxico”.

Como se ha informado, el benceno es un agente carcinogénico, según la IARC, categoría 1A. “el benceno no solo afecta la sangre y la médula ósea, también tiene propiedades hepatotóxicas, citotóxicas y genotóxicas” (Bugarin et al, 2024). Se metaboliza vía citocromo P4502E1, este es oxidado transformándose en fenol por una parte y en cisteína por otra, el fenol se convierte en catecol mediante acción enzimática y luego al ácido trans,trans-muconaldehído, el fenol también puede ser hidroxilado y convertirse en benzoquinona; la cisteína se transforma a ácido fenilmercaptúrico (García et al, 2023). Aun cuando los mecanismos de acción del benceno sobre los efectos hematotóxicos están bien documentados, el mecanismo de toxicidad sobre el sistema nervioso sigue siendo un desafío. Múltiples autores han documentado los efectos neurotóxicos de acuerdo con el nivel de exposición. Síntomas producidos tras una exposición aguda a altas dosis pueden provocar pérdida del equilibrio, confusión mental, pérdida del conocimiento, convulsiones en incluso, la muerte en tanto que la exposición prolongada puede generar una depresión del sistema nerviosos central, fatiga psíquica, depresión,

respuestas afectivas exageradas, retraso en el tiempo de reacción, polineuropatías sensitivo-motoras y trastornos del rendimiento psicomotor (Ritchie et al, 2001).

El tolueno presenta una afinidad significativa por los tejidos grasos y altamente vascularizados. Se metaboliza vía del citocromo P450 mediante la acción de las enzimas de alcohol y aldehído deshidrogenasa produciendo al alcohol bencílico y ácido hipúrico respectivamente. Diversos investigadores han estudiado los efectos en humanos sobre el sistema nervioso central. Se han reportado efectos agudos a bajo y moderado nivel de exposición tales como: estado de embriaguez, euforia, mareo, dolor de cabeza, dificultad para hablar, debilidad, náuseas, vómitos. La exposición prolongada a altas concentraciones provoca disnea, vértigo, desorientación, diplopía, acidosis metabólica, alucinaciones, convulsiones y coma. La evaluación neuroconductual tras la exposición moderada a tolueno ha indicado alteraciones en la temperatura, percepción del ruido, alteración de la memoria a corto plazo, alteración de la destreza manual y de los tiempos de reacción (Ritchie et al, 2001). Aunque el mecanismo de acción del daño a nivel del sistema nervioso central no está completamente definido, los hallazgos experimentales han documentado que dicho daño puede deberse a varios procesos: alta afinidad lipofílica, daño directo a la mielina, estrés oxidativo y peroxidación lipídica, alteración de la función glial, degeneración progresiva de la sustancia blanca con preservación de las neuronas, lo que se conoce como leucoencefalopatía tóxica por tolueno; la exposición prolongada puede generar daños irreversibles provocando trastornos cognitivos severos como alteración en la memoria y de las funciones visuoespaciales (Filley, Halliday y Kleinschmidt-DeMasters, 2004).

En cuanto a los xilenos, estos ejercen su acción neurotóxica al alterar la homeostasis del calcio intracelular de las neuronas, produce una inhibición selectiva de los canales de calcio voltaje dependientes tipo P/Q, afectando la capacidad de las terminales sinápticas para liberar y reciclar neurotransmisores, también obstaculiza la maduración sináptica y reduce la actividad de la red neuronal. La exposición a esta sustancia produce un deterioro neuroconductual que incluye síntomas como dolor de cabeza, mareo y depresión, así como deterioro cognitivo y pérdida de la memoria; la exposición a altos niveles puede provocar neuropatía periférica (Eom y Lee, 2025).

2.2. Antecedentes

Múltiples estudios han concluido que la presencia de estos compuestos genera efectos neurotóxicos en los trabajadores expuestos a ellos. Por ejemplo, (Castellar Anillo, 2007)

en Colombia, realizó una investigación documental donde describió los efectos en el neurocomportamiento debido a la exposición ocupacional prolongada a los solventes orgánicos. Esta investigación encontró 42 publicaciones, de las cuales 15 cumplían con los objetivos del investigador; 7 estudios de corte transversal, 1 analítico experimental de cohorte, 2 de seguimiento, 1 de casos y controles, 1 metaanálisis, 1 revisión sistemática y 2 opiniones de expertos. Los hallazgos encontrados muestran que existen alteraciones de aprendizaje, memoria visual reciente y retrograda, memoria de retención, en la atención, flexibilidad mental, coordinación oculomanual y destreza visoespacial, también se encontraron alteraciones en las velocidades de percepción, procesamiento de la información, del estado de ánimo, como ansiedad y depresión.

Para el 2013 (García Zarate, 2013) condujo un estudio de tipo exploratorio en la ciudad de Baja California, México, donde se evaluó la exposición a compuestos orgánicos volátiles y las posibles alteraciones clínicas, conductuales y psicofisiológicas. Se evaluaron a 370 participantes para evaluar el grado y tipo de afectación neurológica. Se concluyó la existencia de alteraciones neuroconductuales por exposición COVs como el benceno, tolueno y xilenos.

En el Municipio de Nicolás Romero, estado de México, México (Pérez Zamora, Ostrosky-Shejet, y López-Portillo, 2016) llevaron a cabo un estudio en la Unidad de Medicina Familiar N.º 63, en la cual se evaluaron a 35 trabajadores expuestos de distintas áreas como: mecánico automotriz, despachadores de combustible, pintores, ebanistas, hojalateros, restauradores de obras de arte, entre otros; comparados con un grupo de referencia de 35 trabajadores, donde se observaron diferencias estadísticas en las pruebas neuroconductuales entre los dos grupos, describiéndose en los trabajadores expuestos alteraciones en las áreas de atención, memoria y funciones ejecutivas.

Por su parte, en el oriente ecuatoriano (Pinto Sánchez et al, 2017), realizaron una investigación de tipo transversal analítica, en una empresa petrolera, donde se evaluaron 119 trabajadores expuestos, 26 y 60 con mayor y menor exposición respectivamente comparados con 33 no expuestos; se aplicó la prueba de retención visual de Benton que evalúa memoria visual, percepción y habilidad visoconstructiva, el Q-16 y un cuestionario sociodemográfico y laboral. Se concluyó que existen diferencias estadísticas ante la presencia de efectos neurológicos en los trabajadores de mayor exposición a solventes como tolueno, xilenos, benceno y sus mezclas.

Recientemente, en las ciudades de León y Chinandega, Nicaragua (Sorto Centeno y Sevilla Torrez, 2020) condujeron un estudio transversal analítico donde participaron 68 trabajadores expuestos y fueron categorizados en dos grupos según niveles de exposición mayor o igual y menor a 1 ppm de COVs totales en gasolineras, respectivamente (Límite de exposición laboral ponderado para 8 horas). Las pruebas neuroconductuales que se midieron fueron: fluidez verbal, tiempo de reacción simple y fuerza de agarre. Concluyeron que existe correspondencia entre las alteraciones neuroconductuales evaluadas y la exposición a COVs, presentes en la gasolina, siendo los operadores de bomba los más afectados.

(Juárez-Pérez et al, 2022) realizaron un estudio en la ciudad de Salamanca, en el estado de Guanajuato, México, en una planta desparafinadora. Se encontraron 203 trabajadores: 102 expuestos a disolventes orgánicos y 101 no expuestos. Se evaluó el desempeño neuropsicológico con “Neurobehavioral Core Test Battery” y la exposición con la medición de metabolitos en orina para tolueno, xilenos y benceno. Se llegó a la conclusión de que la exposición ocupacional a disolventes orgánicos, aun a niveles permitidos, se relacionó con un menor desempeño neuropsicológico.

2.3. Exposición profesional

Los trabajadores que se exponen a COVs pueden tener manifestaciones tóxicas, dependiendo de las concentraciones, características del ambiente (cerrado o abierto), temperatura del área, humedad, por exposición a corto y a largo plazo. La principal vía de exposición de los trabajadores a los COVs es la vía inhalatoria, dadas las características fisicoquímicas de dichas sustancias.

La exposición profesional constituye uno de los principales determinantes de riesgo, ya que representa el contacto directo e indirecto que los trabajadores mantienen con diferentes sustancias químicas, agentes físicos y productos biológicos. Los efectos que ello produce sobre la salud de los trabajadores no siempre ocurren de manera inmediata, sino que se van acumulando con el pasar del tiempo.

En muchos sectores productivos la exposición a sustancias químicas peligrosas es una realidad que se vive todos los días. En particular, con los COVs como el benceno, tolueno y xilenos. La exposición a estas sustancias es muy importante dado que está demostrado que aun a exposiciones bajas hay efectos dañinos a la salud (Juarez-Pérez et al, 2022), (Sánchez Pinto et al, 2014), especialmente en trabajadores que laboran en espacios cerrados y con una ventilación insuficiente o deficiente.

La exposición profesional no solo se limita al riesgo químico, también implica una dimensión social y preventiva, puesto que es el reflejo de la organización de un ambiente de trabajo, las medidas de protección disponible adoptadas y el nivel de cumplimiento de los trabajadores.

Desde la óptica de la salud ocupacional, la evaluación de la exposición profesional busca identificar vulnerabilidades, priorizar intervenciones y promover entornos saludables. El reconocimiento de los factores que influyen en la exposición (ambientales, organizativos o individuales) permite diseñar estrategias efectivas para disminuir el riesgo y proteger la integridad de los trabajadores.

2.4. Efectos neuroconductuales

A nivel mundial, millones de trabajadores incluyendo los de la industria del petróleo se exponen a diario a COVs, mismos que afectan diversas funciones del sistema nervioso y con distintos perfiles de daño. Las funciones frecuentemente afectadas son las sensoriales, motoras, cognitivas y afectivas. Los efectos agudos suelen ser fácilmente detectados y en la mayoría de los casos reversibles. Según datos reportados en la ATSDR los efectos agudos incluyen somnolencia, mareo, cefalea, vértigo, temblor, confusión, alteración del equilibrio y pérdida de la conciencia. Sin embargo, si la dosis del tóxico es lo suficientemente elevada o si hay una exposición repetida y constante por tiempo prolongado, la persona expuesta puede sufrir secuelas neurológicas importantes e irreversibles. Múltiples investigadores han documentado efectos tóxicos sobre el sistema nervioso tras la exposición prolongada, entre ellos: dificultad para dormir, pérdida de la memoria, fatiga, entumecimiento, neuropatías periféricas motoras y sensitivas (Cowan et al, 2025).

La exposición crónica y a bajas dosis puede provocar alteraciones neuroconductuales como: alteración de la memoria reciente, de la concentración y atención, irritabilidad, alteración del manejo de la información, así como la coordinación visual y manual, que no se logran detectar fácilmente (Sánchez Pinto et al, 2014).

2.5. Desempeño neuroconductual

El desempeño neuroconductual constituye un indicador sensible del funcionamiento del sistema nervioso y permite detectar alteraciones tempranas en distintos dominios cognitivos como: la atención, velocidad de respuesta, coordinación motora, memoria y funciones sensoriales. Las pruebas que evalúan el desempeño neuroconductual son herramientas fundamentales en la evaluación de poblaciones laboralmente expuestas

permitiendo evidenciar cambios sutiles incluso antes de que aparezcan manifestaciones clínicas (van Wendel de Joode et al, 2000).

La edad, el sexo y la escolaridad constituyen determinantes esenciales en la interpretación de las pruebas neuroconductuales, pues cada uno puede modificar el desempeño independientemente de la exposición a COVs. La edad influye de manera marcada en la velocidad, precisión y desempeño cognitivo, dado que las funciones del sistema nervioso varían y disminuyen a lo largo de la vida. El sexo también genera variabilidad no solo por diferencias fisiológicas que afectan tareas motoras y de fuerza, sino porque en muchos entornos laborales se ocupan puestos con exposiciones y demandas distintas. La escolaridad influye considerablemente sobre las pruebas cognitivas, personas con menor escolaridad presentan rendimientos más bajos en la memoria, atención y tareas abstractas pudiendo enmascarar cambios tempranos atribuibles a la exposición (van Wendel de Joode et al, 2000).

Asimismo, los factores laborales influyen en la interpretación de las pruebas neuroconductuales especialmente la antigüedad laboral y el tiempo de exposición, dado que los trabajadores con más años en el trabajo suelen haber enfrentado condiciones históricas más intensas, lo cual puede confundirse con efectos acumulativos de los COVs como con cambios propios de la edad. Por su parte, el efecto del trabajador sano, donde quienes presentan síntomas tempranos tienden a abandonar los puestos de mayor exposición (van Wendel de Joode et al, 2000).

En relación con los hábitos, el consumo de café, alcohol y tabaquismo pueden influir en la función neuroconductual. Por último, se debe tener especial cuidado sobre todo con aquellos trabajadores que padezcan de enfermedades que afecten al sistema nervioso como: accidente cerebrovascular, enfermedad de Parkinson, epilepsia, traumatismos craneales, entre otras, así como con el uso de medicamentos que puedan alterar las funciones nerviosas (van Wendel de Joode et al, 2000).

2.6. Vigilancia de la salud de los trabajadores

2.6.1. Marco legal internacional

La OIT ha dispuesto una serie de convenios y recomendaciones que constituyen la base legal internacional en materia de seguridad, salud y vigilancia de los trabajadores expuestos a riesgos ocupacionales.

El Convenio C155 sobre la Seguridad y Salud de los Trabajadores, 1981, establece la obligación de formular y aplicar una política nacional coherente en materia de seguridad

tanto en la salud de los trabajadores como en el ambiente laboral, con el objetivo de prevenir accidentes y daños. Se exige a las empresas que garanticen lugares de trabajo seguros, así como el equipamiento necesario y apropiado de protección personal, para que los procesos sean seguros y no generen riesgos para la salud. Estas medidas no deben implicar una carga financiera para los trabajadores.

El Convenio C161, sobre los Servicios de Salud en el Trabajo, 1985, está centrado en el establecimiento progresivo de servicios de salud en el trabajo con funciones esencialmente preventivas para todos los trabajadores. Con los servicios de salud en el lugar de trabajo se busca identificar y evaluar los riesgos, vigilar el ambiente de trabajo y la salud de los trabajadores, así como asesorar en la planificación de las diferentes actividades de trabajo.

El Convenio C170, sobre los Productos Químicos, 1990, tiene como objetivo garantizar la seguridad en la utilización de productos químicos en el trabajo. Buscando prevenir enfermedades y accidentes derivados de tales productos, los cuales deben ser evaluados para determinar el peligro que representan.

El Convenio C187, sobre el Marco Promocional para la Seguridad y Salud en el Trabajo, 2006, establece las pautas para promover una mejora continua en la seguridad y salud en el trabajo. Su objetivo va encaminado a contribuir a la protección de los trabajadores mediante la eliminación o reducción al mínimo de los riesgos del trabajo.

2.6.2. Marco legal nacional

A nivel nacional, son varias dependencias gubernamentales que rigen y regulan la materia. El Ministerio de Salud es la autoridad rectora en la salud de los trabajadores, el Programa de Salud Ocupacional tiene la responsabilidad de regular y vigilar las condiciones de salud y seguridad en el trabajo mediante la formulación de políticas, normas y protocolos basados en evidencia científica y alineados con convenios internacionales. Sus funciones incluyen establecer estándares para la calidad de aire, sustancias químicas, agentes físicos, biológicos y ergonómicos, así como supervisar la seguridad de equipos, materiales y tecnologías utilizadas en los ambientes de trabajo. Este programa también desarrolla y actualiza los sistemas de vigilancia de la salud de la población trabajadora, integrando la evaluación epidemiológica de riesgos, daños y siniestralidad laboral. Además, coordina de manera interinstitucional e interdisciplinaria la elaboración y revisión de normas técnicas, la ejecución de políticas de prevención y la validación de investigaciones, promueve la conformación de comités de salud y seguridad

en empresas públicas y privadas, garantizando la atención médica ocupacional a través de equipos multidisciplinarios. Finalmente, incorpora la gestión de salud ocupacional en los planes nacionales de desarrollo y vela por la mejora continua de los ambientes de trabajo, fortaleciendo la cultura de prevención, la protección de la salud del trabajador y la sostenibilidad de los procesos productivos del país.

Por otra parte, el Ministerio de Comercio e Industrias desempeña un papel regulador y complementario en la protección de la salud de los trabajadores, especialmente en actividades económicas que involucran el manejo, almacenamiento, transporte y uso de sustancias químicas y materiales peligrosos. Su principal función es supervisar que las empresas cumplan con las normativas, garantizando que los procesos, insumos y tecnologías usadas se ajusten a estándares de seguridad que minimicen los riesgos ocupacionales. La Resolución N.º 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.

Cuadro 1

Niveles máximos permisibles de algunos COVs en Panamá.

Sustancia química	CPT (ppm)	CCT (ppm)	Clasificación carcinogénica
Benceno	1	5	1
Tolueno	50	200	3
Xilenos	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

Nota: 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.

La Resolución N.º 45,588-2011-J.D. del 17 de febrero de 2011 que establece el reglamento general de prevención de riesgos profesionales y de seguridad e higiene en el trabajo de la Caja de Seguro Social complementa el reglamento técnico DGNTI – COPANIT 43 -2001, toda vez que ordena el cumplimiento en los centros de trabajo de mantener los niveles permisibles de sustancias químicas sólidas, líquidas o gaseosas, así como otros factores que sean capaces de contaminar el ambiente de trabajo y alterar la salud de los trabajadores.

El Ministerio de Trabajo es la entidad encargada de fiscalizar el cumplimiento normativo y es garante de los derechos de los trabajadores en relación con la seguridad y salud en el trabajo.

La Caja de Seguro Social tiene competencias directas en la protección, atención y rehabilitación del trabajador frente a riesgos derivados del trabajo mediante su programa de riesgos profesionales articulando la vigilancia clínica y la compensación económica del daño ocurrido en el trabajo, conformando un pilar esencial del sistema de protección de riesgos ocupacionales a nivel nacional. Con el Decreto de Gabinete N.º 68 de 31 de marzo de 1970, se centraliza en la Caja de Seguro Social la cobertura obligatoria de los riesgos profesionales para todos los trabajadores públicos y privados que operan en la república. En la tabla suplementaria 13 en anexo 1, se presenta una síntesis del marco normativo e institucional vigente en Panamá, en materia de salud y seguridad en el trabajo, incluyendo la normativa general, reglamentos técnicos aplicables y las instituciones responsables de la rectoría, fiscalización, normalización y coordinación intersectorial.

CAPÍTULO TERCERO

METODOLOGÍA

3. Metodología

3.1. Tipo y diseño del estudio

El diseño del presente estudio es de corte transversal analítico. Se ejecutó en un laboratorio privado de hidrocarburos, el cual cuenta con dos emplazamientos, uno en la ciudad de Colón y otro en ciudad de Panamá en el barrio de Albrook, mayo de 2025. Previo a ello, se realizaron varias reuniones con los encargados de la empresa, obteniéndose los permisos respectivos para realizar el trabajo investigativo.

Antes de la ejecución de la investigación, se realizó una búsqueda estructurada de literatura en diferentes bases de datos: PubMed, Scielo, Google Scholar, así como repositorios: NIOSH, ASTDRS, OIT, además de una búsqueda abierta. Se combinaron diferentes términos tanto en español como en inglés y se aplicaron filtros para recuperar estudios en humanos y en el contexto ocupacional. La literatura científica ha documentado diversos efectos neuroconductuales asociados a la exposición ocupacional a COVs en distintos sectores productivos. Sin embargo, los estudios realizados específicamente en laboratorios de hidrocarburos de control de calidad son escasos, lo que dificulta el desarrollo de medidas preventivas basadas en datos locales. Esto justifica y respalda la elección de un diseño transversal analítico para caracterizar la exposición y explorar su asociación con el rendimiento neuroconductual aportando información en un ámbito laboral poco explorado.

3.2. Participantes

Se conversó con cada uno de los trabajadores de ambos emplazamientos, de manera presencial, donde se les explicó el objetivo del estudio. Todos los participantes firmaron el consentimiento informado. Participaron del estudio 33 personas, de las cuales 1 fue excluida ya que no cumplía con el criterio de inclusión, al menos un año de laborar.

Los antecedentes de los trabajadores fueron recolectados mediante un cuestionario que incluía datos sociodemográficos, entre ellos: edad, género, último nivel académico aprobado. Hábitos: tabaquismo, consumo de sustancias psicoactivas (café, alcohol, bebidas energizantes); antecedentes de salud: enfermedades preexistentes, uso de medicamentos psicoactivos (benzodiacepinas, antidepresivos, ansiolíticos, hipnóticos y sedantes) y la historia laboral: años de trabajar en la empresa, carga horaria de trabajo, días al año trabajados, tiempo de descanso laboral, uso de equipo de protección personal, capacitación en materia de higiene y salud ocupacional y controles de salud como medida de control, prevención y detección de enfermedades derivadas del trabajo.

Controlamos los criterios de exclusión, todos los participantes reportaron que no mantenían otro trabajo en donde pudiera existir una exposición cruzada, además manifestaron que no padecían de alguna enfermedad del sistema nervioso o discapacidad.

3.3. Criterios de inclusión

Trabajadores activos que den su consentimiento para participar.

Trabajadores de 18 a 62 años y que tengan al menos un año de laborar.

3.4. Criterios de exclusión

Tener otro trabajo en el cual pudiera existir exposición ocupacional cruzada, entre ellos: bomberos, policía, zapateros, conductores de bus, trabajadores de la aviación, mecánicos y cualquier otro que se justifique.

Antecedentes de trauma craneal severo, epilepsia, meningitis, meningoencefalitis, cefaleas secundarias, neuropatía periférica de causa conocida (por tumores, discopatías, traumatismos, infecciones por herpes zoster y VIH), neuropatía diabética y/o cualquier discapacidad que no le permita realizar las pruebas.

3.5. Variables

3.5.1. Variables independientes

3.5.1.1. Evaluación de la exposición a largo plazo por la historia laboral

Mediante el siguiente cálculo:

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

CDI: Exposición inhalatoria diaria crónica promedio (mg/m³) (Çankaya, et al, 2018), (EPA, 2023).

C: Concentración de COVs en el aire medido en mg/m³

ET = Tiempo de exposición (horas/día x 1 día/24 horas)

EF = Frecuencia de exposición (días/año)

ED = Duración de la exposición (años)

AT = Tiempo promedio (ED x 365 días/año)

Para el cálculo de la concentración de COVs (BTX) en el aire se tomó el promedio de todas las zonas muestreadas debido a que los trabajadores realizan diferentes tareas en diferentes localizaciones de los laboratorios.

3.5.1.2. Cuantificación de la exposición reciente mediante la determinación de las concentraciones de COVS en el aire

Para determinar las concentraciones de COVs (BTX) en aire utilizamos un detector de gases múltiples MSA ALTAIR® 5X. Este medidor utiliza un detector de fotoionización (PID) a través de una lámpara ultravioleta para ionizar el compuesto que se mide, produciéndose una corriente proporcional a la concentración del compuesto orgánico volátil presente, la cual es analizada y mostrada en tiempo real en la pantalla del dispositivo.

Se midió la concentración de BTX en aire tanto en el emplazamiento de Albrook como en el de Colón. Se muestrearon diversas zonas a saber: zona de mayor ventilación, zona de menor ventilación y zona central. El grado de ventilación de las zonas fue establecido de acuerdo con sus características estructurales, proximidad a ventanas, puertas, aires acondicionados, extractores de aire o cámaras de extracción. En el emplazamiento de Albrook, la zona de menor ventilación fue el cuarto de balanzas: un cuarto cerrado, sin ventanas ni aires, ni extractores con una temperatura promedio de 26 °C y humedad promedio del 50 %; la zona de mayor ventilación fue una esquina del laboratorio cerca de aire acondicionado tipo *split* de techo, cámara de extracción, salida de emergencia, con una temperatura promedio de 22 °C y humedad promedio de 63 %. La zona central se ubicó en el centro del laboratorio, sin considerar las áreas administrativas, con temperatura promedio de 21 °C y humedad promedio de 71 %. En el emplazamiento de Colón, la zona de menor ventilación se ubicó en el cuarto de cromatografía: un cuarto cerrado, solo con aire acondicionado, con una temperatura promedio de 23 °C y humedad promedio de 62 %; la zona de mayor ventilación, caracterizada por su cercanía a cámaras de extracción, aire acondicionado, puertas hacia el exterior, con una temperatura promedio de 23 °C y 78 % de humedad promedio; la zona central se mantenía con una temperatura promedio de 22 °C y 92 % de humedad. En cada zona se programó el medidor de gases para que obtuviera registros del aire cada 15 minutos por un periodo de 8 horas.

El emplazamiento de Albrook es un laboratorio químico de aguas y suelo, en este no se realiza análisis de muestras de COVs. Se procedió a analizar el aire en las distintas zonas de forma global. El emplazamiento de Colón es donde se manejan, analizan y utilizan COVs, es el laboratorio de hidrocarburos de la empresa. De la misma forma que en el emplazamiento de Albrook, se procedió a realizar las mediciones de aire, primero COVs

totales y posteriormente, benceno, tolueno y xilenos, cada uno en las tres zonas determinadas. No se detectaron niveles de CO₂ en ninguno de los laboratorios.

Luego de obtener los datos de las mediciones, se procedió a calcular la concentración ponderada en el tiempo, para 8 horas (CPT) y determinar el índice de riesgo (IR). Este índice es la relación entre la CPT medida y la CPT teórica. Para la CPT teórica, se usaron los valores límites umbrales para Panamá de acuerdo con el reglamento técnico DGNTI – COPANIT 43 -2001, el cual establece 1 ppm para benceno, 50 ppm para tolueno y 100 ppm para xilenos.

3.5.2. Variables dependientes

3.5.2.1. Efectos neuroconductuales

Se aplicaron pruebas neuroconductuales validadas de la Batería Central de Pruebas Neuroconductuales de la OMS que evalúan el funcionamiento del sistema nervioso en personas expuestas a sustancias neurotóxicas y que son herramientas de apoyo en el ámbito ocupacional, epidemiológico, así como para el establecimiento de estrategias de vigilancia y prevención (van Wendel de Joode et al, 2000). Es importante mencionar que, para la aplicación de las pruebas, se destinó un salón tanto en el emplazamiento de Albrook como en el de Colón, en donde los participantes tenían las condiciones para concentrarse en la realización de las pruebas. Además, cada prueba fue explicada previamente a su ejecución, asegurándose que los participantes entendieran y no tuvieran dudas al momento de realizarlas.

3.5.2.1.1. Tiempo de reacción simple visual

Esta prueba evalúa el dominio cognitivo/motor. Para ello se utiliza el programa INQUISIT LAB versión 6, prueba del tiempo de reacción simple visual promedio (TRSV). La prueba consistió en que los sujetos se posicionaran frente a la computadora y observaran una cruz en el centro de la pantalla, cuando aparecía un círculo rojo sobre la cruz, los participantes debían tocar la barra espaciadora lo más rápido posible como respuesta al estímulo visual. Cada participante realizó 20 ensayos. El valor de referencia para determinar si el desempeño de la prueba fue adecuado o disminuido fue de 300 milisegundos (ms) (Passell et al, 2021).

3.5.2.1.2. Fuerzas de pinza y agarre

Para la evaluación del desempeño en esta prueba, que evalúa el dominio motor, se interrogó a los participantes sobre cuál era su mano dominante. Para la fuerza de pinza se utilizó un dinamómetro mecánico de la marca Baseline, se evaluó la fuerza de pinza

palmar, pinza lateral y pinza de llave, empezando por la mano dominante. A continuación, se midió la fuerza de agarre con un dinamómetro digital de la marca Handexer. Posteriormente, se evaluaron las fuerzas en la mano no dominante. Hubo dos mediciones de cada ejercicio y se estableció un promedio para cada fuerza medida. Para determinar si el desempeño de cada participante fue adecuado o disminuido, se utilizaron los valores de referencia para edad y sexo según los manuales de cada dinamómetro para las diferentes fuerzas. (Anexo 5).

3.5.2.1.3. Prueba de dígitos

Esta prueba del dominio cognitivo evalúa la memoria inmediata. En la prueba hay una secuencia de dígitos de forma aleatoria y que aumentan progresivamente. La prueba consistió en que el participante debía repetir las secuencias de dígitos en el mismo orden y en orden inverso, que le mencionaba el investigador. La prueba terminaba si el participante fallaba dos secuencias seguidas con la misma cantidad de dígitos. Para categorizar el desempeño en adecuado o disminuido se utilizó la mediana de la población general, cuyo valor fue de 11 puntos.

3.5.2.1.4. Cuestionario Q-16

Este cuestionario evaluó la posibilidad de síntomas neuropsicológicos y neuropsiquiátricos dentro del dominio afectivo. La prueba consistió en un cuestionario de 16 preguntas estratégicamente estructuradas. Los participantes contestaban sí o no, sin analizarlas detenidamente. El desempeño en esta prueba se determinó mediante la ponderación de respuestas afirmativas como posibilidad de síntomas neuropsicológicos y neuropsiquiátricos. Para la prueba general, 6 o más puntos afirmativos (Lundberg & colaboradores, 1997) (Rodezno & colaboradores, 1995) fue considerado como positivo para la posibilidad de síntomas neuropsicológicos y neuropsiquiátricos. Por su parte, se evaluó cada dominio de la prueba, es decir el dominio, cognitivo, el neuroconductual y el motor. Para el dominio cognitivo y neuroconductual tres o más respuestas positivas determinaron la posibilidad de síntomas neuropsicológicos y neuropsiquiátricos, mientras que, para el dominio motor, debían ser cuatro o más.

3.6. Operacionalización de las variables

Cuadro 2

Descripción de las variables de estudio.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicador	Escala
Variables dependientes	Efectos neuroconductuales Cambios en las funciones sensoriales, motoras, cognitivas y/o afectivas debido a la exposición crónica de sustancias químicas (van Wendel de Joode & colaboradores, 2000)	Evaluación de la función cognitivo/motora mediante la aplicación de la prueba de tiempo de reacción simple	Promedio del tiempo de reacción simple visual	Razón cuantitativa
		Evaluación de la función motora mediante la prueba de fuerza de pinza y agarre	Promedio de la dinamometría (libras) de pinza palmar, lateral y de llave en ambas manos	Razón cuantitativa
			Promedio de la dinamometría (Kg) de agarre en ambas manos	Razón cuantitativa
		Evaluación de la función cognitiva mediante la aplicación de la prueba de dígitos	Total de puntos obtenidos en ambas secuencias (ordenada e inversa)	Razón cuantitativa
		Evaluación de la función afectiva mediante el Q-16	1. Positivo 2. Negativo	Nominal

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicador	Escala
Variable independiente	Exposición a largo plazo: contacto con una sustancia que ocurre durante un período prolongado (más de 1 año). (ATSDR, 2009)	Exposición inhalatoria diaria crónica promedio (CDI)	1. Baja Exposición 2. Alta exposición	Nominal
Variable independiente	Exposición reciente: cuando se ha estado expuesto a una sustancia química durante un período corto de tiempo. (EPA, United States Environmental Protection Agency, 2023)	Índice de riesgo (IR)	1. Exposición media-baja 2. Exposición alta-muy alta	Nominal
Edad	Último cumpleaños del participante al momento de ser censado (Instituto Nacional de Estadística y Censo de Panamá, 2010).	Registro de la edad en el cuestionario	Edad en años	Intervalo cuantitativa
Sexo	Características fenotípicas y genotípicas que diferencian al organismo (Descriptores en ciencias de la salud, 2023)	Registro del sexo en el cuestionario	1. Masculino 2. Femenino	Nominal

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicador	Escala
Escolaridad	Nivel educativo o educacional de un individuo (Descriptores en ciencias de la salud, 2023)	Registro en el cuestionario del último nivel académico aprobado	1. Ninguna 2. Primaria 3. Premedia 4. Media 5. Superior	Ordinal
Peso corporal	Masa o cantidad de peso de un individuo. Se expresa en unidades de libras o kilogramos. (Descriptores en ciencias de la salud, 2023)	Registro en el cuestionario del peso corporal	Medición registrada por báscula en kilogramos	Intervalo cuantitativo
Tabaquismo	Enfermedad adictiva y crónica que evoluciona con recaídas, causa dependencia física y psicológica (OMS)	Registro de la actividad de fumar en el cuestionario	1. Sí 2. No	Nominal
Consumo de sustancias psicoactivas	Uso de compuestos naturales o sintéticos, que actúan y alteran las funciones del sistema nervioso (OPS/OMS)	Registro de consumo de alguna de las siguientes sustancias: 1. Alcohol 2. Café 3. Energizantes 4. Drogas	1. Sí 2. No	Nominal
Antecedentes patológicos	Enfermedad o discapacidad que presenta el participante al momento del estudio	Reporte en el cuestionario de alguna enfermedad	Abierta	Nominal

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicador	Escala
Uso de medicamentos psicoactivos	Medicamentos que causan un efecto en el sistema nervioso central	Uso de alguno de estos medicamentos como: tranquilizantes, ansiolíticos, antidepresivos, hipnóticos, sedantes	1. Sí 2. No	Nominal
Antigüedad laboral	Tiempo que ha trabajado una persona para una empresa (Ivette, 2021)	Registro de los años de servicio en el cuestionario Representa la duración de la exposición (ED)	Años de servicio	Intervalo cuantitativo
Ocupación	Profesión, oficio o clase de trabajo que ejerce la persona que trabaja (Instituto Nacional de Estadística y Censo de Panamá, 2010).	Registro del cargo o puesto que ejerce en el cuestionario	Respuesta abierta	Nominal
Carga horaria de trabajo	Horas de trabajo al día que realiza el trabajador o cantidad de días laborados al año	Horas registradas de trabajo en el cuestionario. Representa el tiempo de exposición (ET) Días al año de trabajo y representa la frecuencia de exposición (EF)	1. Horas/día 2. Días/año	Cuantitativa Intervalo

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicador	Escala
Tiempo de descanso	Período de descanso normal que necesitan los trabajadores para reponer sus fuerzas dentro de la jornada de trabajo (Código de Trabajo, Actualizado 2016)	Tiempo registrado para el descanso dentro de la jornada laboral en el cuestionario	1. Nunca 2. Media hora 3. Una hora 4. Dos horas	Ordinal
Uso de equipo de protección personal	Equipo que protege al trabajador del riesgo de accidentes o de efectos adversos para la salud (OIT)	Uso de equipo de protección personal conformado por: 1. Lentes 2. Guantes 3. Ropa (bata, overol)	1. Sí 2. No	Nominal
Capacitación	Educación del trabajador sobre normas de higiene y protección personal (Albiano, 2015)	Adiestramiento recibido	1. Nunca 2. Una vez al año 3. Más de una vez al año	Ordinal
Controles de salud	Actividad clínica cuya finalidad es prevenir los daños ocasionados por los riesgos o la transmisión de enfermedades en el trabajo. (Caja de Seguro Social, 2020) (Reglamento general de prevención de riesgos profesionales y de seguridad e higiene en el trabajo)	Registro de evaluación clínica ocupacional en el cuestionario	1. Nunca 2. Una vez al año 3. Más de una vez al año	Ordinal

3.7. Recolección de información, instrumentos a utilizar y métodos para el control de calidad de los datos

La información se recolectó de forma sistemática mediante los instrumentos presentados en el protocolo, siguiendo los aspectos previamente establecidos. Los datos se obtuvieron directamente del interrogatorio mediante los cuestionarios a cada participante y de la aplicación de las pruebas neuroconductuales. Estos datos se registraron de forma manual en los formularios impresos diseñados para esta investigación. La toma de datos fue asistida por la Licenciada en Tecnología Médica Meredith González, debidamente capacitada y con conocimiento del tema investigación.

El instrumento que se utilizó para la medición de los COVs en el aire estaba debidamente calibrado, además de contar con la certificación de calibración.

Se codificaron los datos generales de los participantes y posteriormente se transcribieron todos los datos obtenidos a la base de dato digital, la cual fue presentada al profesor asesor para su revisión. Finalmente, los datos están almacenados de forma segura, garantizando la trazabilidad y confidencialidad de la información.

3.8. Aspectos éticos

Este estudio fue planificado y ejecutado de acuerdo con los principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos de la Asociación Médica Mundial, contenidos en la Declaración de Helsinki. Este estudio se desarrolló en el marco de una colaboración académica con la licenciada Meredith González, también estudiante de la Maestría en Toxicología Ocupacional, cuyo trabajo lleva por título “Exposición ocupacional a compuestos orgánicos volátiles (COVs) y su asociación con alteraciones hematológicas en trabajadores expuestos a hidrocarburos, Panamá 2025”. Esta colaboración se sustentó en que los estudios comparten tanto el contexto como los participantes y la metodología empleada para evaluar la exposición a largo plazo y reciente; se abordaron de forma integral los problemas planteados en ambos estudios. Los investigadores se apoyaron mutuamente en la recolección de los datos. La aplicación de las pruebas neuroconductuales se realizó previo a la extracción de la muestra sanguínea para evitar distracciones en los participantes por algún tipo de molestia o incomodidad que pudiera producir la extracción de sangre. La inclusión de los participantes en la investigación fue totalmente voluntaria previa explicación del propósito, procedimientos, posibles riesgos y beneficios del estudio. Todos firmaron el documento de consentimiento informado, garantizándose la confidencialidad de los datos. Este trabajo cuenta con la aprobación

del Comité de Bioética en la Investigación del Hospital The Panama Clinic, código de identificación EC CBITPC 085 y número de RESEGIS 3940.

3.9. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el programa SPSS® de IBM en la versión 26, con N.º de licencia c57f817e05c023ae5352.

Se realizó la prueba de normalidad Shapiro Wilk (tabla suplementaria 1) para las variables cuantitativas. Los datos que presentaron una distribución normal se reportaron a través de la media aritmética y la desviación estándar, los datos que no siguieron una distribución normal se reportaron por medio de la mediana, el mínimo y máximo. Los resultados se presentaron en tablas y gráficos. Para las variables categóricas se determinaron las frecuencias absolutas y porcentajes.

Se comparó el desempeño en las pruebas neuroconductuales entre los trabajadores del laboratorio de Colón (TrLC) *versus* los trabajadores del laboratorio de Albrook (TrLA).

Se realizó un análisis bivariado para valorar la exposición a COVs, en donde se establecieron categorías de exposición estratificando a los trabajadores en base a los valores de la CDI y del IR. Para ello se utilizó la mediana como punto de corte para la estratificación del CDI. Los valores $\leq$ a la mediana se consideraron de baja exposición y los mayores, de alta exposición. El índice de riesgo se estratificó en base a las recomendaciones de la nota técnica 106 de RAE System Inc., categorizando el índice de riesgo en: $IR \leq 0.9$, exposición media-baja, $IR > 0.9$, exposición alta-muy alta.

Para el grado de relación entre el desempeño en las pruebas neuroconductuales y los indicadores de exposición a COVs de largo plazo (CDI) y de exposición reciente (IR), se determinaron los OR crudos con sus intervalos de confianza del 95 % y el valor de p mediante la prueba exacta de Fisher dado el número de participantes. Para el ajuste por variables confusoras se calcularon los OR ajustados y sus intervalos de confianza del 95 % mediante regresión logística binaria nivel univariado. Los datos fueron revisados por la Dra. Teresa Rodríguez (asesora internacional) magister en Toxicología y doctorado en Medicina Ocupacional y Ambiental y por la Dra. Indiana López, docente en Bioestadística, Investigación y Epidemiología e investigadora en Salud Pública y Ocupacional.

CAPÍTULO CUARTO
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. Presentación y discusión de los resultados

4.1. Resultados

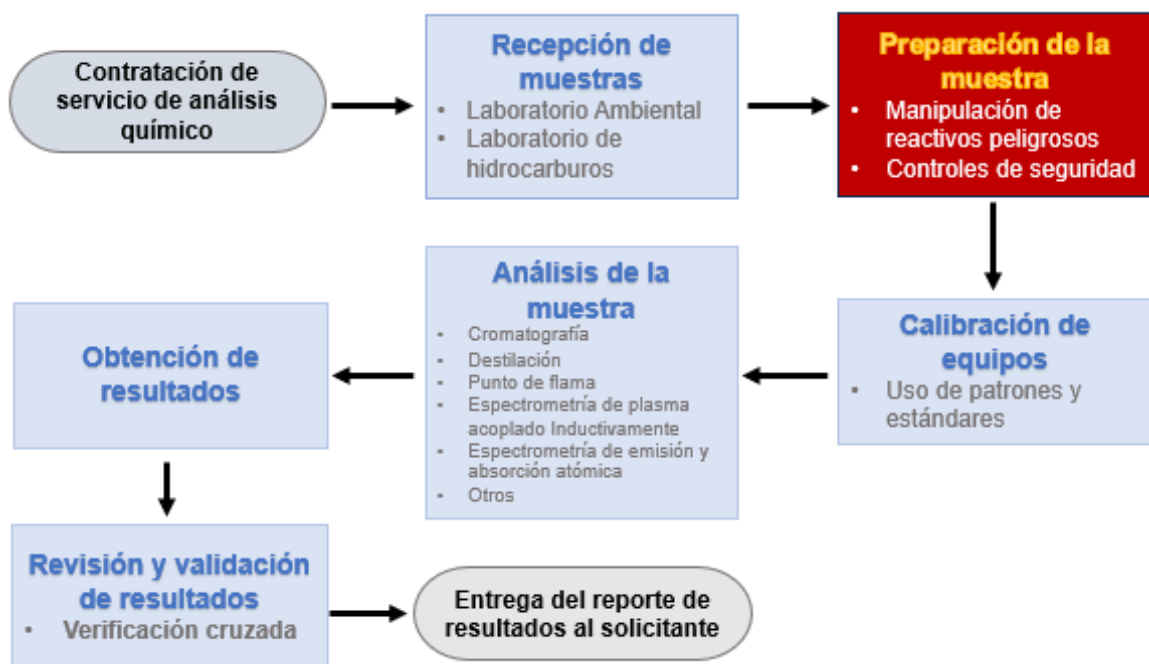
4.1.1. Caracterización del puesto de trabajo

4.1.1.1. Flujo de proceso del laboratorio

El laboratorio de análisis químico de la empresa donde se realizó la investigación cuenta con dos emplazamientos, uno está ubicado en Albrook, corregimiento de Ancón, ciudad de Panamá, dedicado al análisis ambiental en matrices como: agua natural, agua residual, agua potable, agua marina, suelo y lodo; el otro está localizado en Bahía las Minas, corregimiento de Cativá, ciudad de Colón, aplicado al análisis de hidrocarburos en distintas matrices, entre ellas: diésel, gasolina, asfalto, *fuel oil*, jet, lubricantes, hidrocarburos en general; siendo la actividad principal, la prestación de servicios de análisis químicos y de inspección, cuyo sistema productivo es cerrado, perteneciendo al sector económico terciario, específicamente de ensayos, inspección y certificación. El interés de este estudio se ubicó en la prestación de servicios de análisis químico. En ese sentido, el flujo de proceso del laboratorio se basa en la recepción de una muestra física, su transformación en datos validados y certificados, los cuales son entregados al solicitante o peticionario mediante un informe o certificación de los resultados obtenidos. Una vez contratados los servicios del laboratorio, las muestras son recibidas e ingresadas al laboratorio según corresponda. Las muestras de agua y suelo, por ejemplo, serán recibidas en el laboratorio de Albrook, en tanto que, las muestras de gasolina y diésel serán admitidas en el laboratorio de Colón. Seguidamente, los analistas de laboratorio proceden a preparar la muestra y a calibrar los equipos con los patrones respectivos. En esta fase suele manejarse la mayor cantidad de reactivos peligrosos ya que se realizan operaciones como digestiones ácidas mediante ácido sulfúrico, ácido nítrico, ácido clorhídrico, entre otros, o extracciones donde se usan solventes orgánicos como tolueno y hexano. Preparada la muestra, se realiza el análisis químico mediante equipos analíticos diversos, entre ellos: cromatógrafos, equipos de destilación, probadores de punto de flama, medidores de octanaje, entre otros. Luego de obtener los resultados, estos son revisados y validados por el supervisor de laboratorio y/o gerente de laboratorio mediante una verificación cruzada. Finalmente, el reporte de los resultados es entregado al solicitante.

Figura 1

Esquema del proceso productivo del laboratorio de análisis químico.



Nota: en rojo se identifica la etapa de mayor riesgo de exposición a COVs y otras sustancias químicas. No se documentó ningún incidente durante los días de medición del aire.

4.1.1.2. Identificación de peligros en el puesto de trabajo

Como parte de la caracterización del puesto de trabajo, se realizó una identificación general de los peligros presentes en el entorno laboral, considerando no solo los agentes químicos, sino también factores físicos, ergonómicos y de seguridad, asociados a las distintas etapas del proceso.

En este sentido, se identificaron peligros químicos relacionados con la manipulación de sustancias químicas como ácidos fuertes y solventes; peligros físicos asociados al uso de equipos analíticos (temperatura, presión, ruido), factores ergonómicos derivados de actividades repetitivas como posturas prolongadas y manipulación manual de muestras. Asimismo, se consideraron peligros asociados a condiciones de seguridad como derrames, contacto accidental y manejo de sustancias peligrosas aun cuando no se observó ningún incidente durante el tiempo que se estuvo presente en los laboratorios. (Ver tabla suplementaria 10 en anexo 1). Este análisis permitió reconocer que, si bien existen múltiples tipos de peligros en los laboratorios, la etapa de preparación de

muestras concentra el mayor nivel de riesgo, principalmente por la exposición directa a agentes químicos, sin dejar de reconocer la presencia de otros factores que pueden influir en la salud de los trabajadores, tal como se representa en la figura 1.

Esta contextualización permite valorar el puesto de trabajo desde una perspectiva más amplia, manteniendo la coherencia de los objetivos de nuestro estudio.

En coherencia con la identificación de peligros químicos del puesto de trabajo, se elaboró un inventario de sustancias químicas utilizadas en los laboratorios, organizando las mismas según su naturaleza, propiedades peligrosas en función de su clasificación bajo el sistema globalmente armonizado y los efectos a la salud. Tablas suplementarias 11 y 12 en anexo 1.

4.1.1.3. Controles

En relación con los controles para la mitigación de riesgos y en concordancia con lo mostrado en la figura 23 en el anexo 1, durante la evaluación en los laboratorios se evidenció que las medidas implementadas se concentran principalmente en los controles de ingeniería, administrativos y uso del equipo de protección personal (batas, guantes, gafas, respiradores), orientados a reducir la exposición por inhalación y contacto dérmico. No se documentaron medidas correspondientes a los niveles de sustitución o eliminación del agente químico.

4.1.2. Características sociodemográficas

Un total de 32 trabajadores participaron del estudio, de los cuales 19 pertenecían al laboratorio de Albrook (no expuestos) y 13 al laboratorio de Colón (expuestos). La edad promedio general fue aproximadamente 40 años y el peso promedio cercano a 80 kg. En cuanto al sexo, la distribución fue equilibrada entre hombres y mujeres

Al comparar los grupos, los trabajadores del laboratorio de Albrook presentaron mayores valores promedios de edad y peso. La distribución por sexo mostró un patrón opuesto entre los grupos, con predominio femenino en Albrook y masculino en Colón. En ambos grupos de trabajadores predominó la educación superior. Ver tabla 1 (figuras 2-5 en anexo 1).

4.1.3. Historia laboral

En cuanto a la historia laboral, la ocupación mayormente reportada por los trabajadores del laboratorio de Albrook fue puestos administrativos, mientras que en el laboratorio de Colón fue el de analistas químicos. El tiempo de descanso laboral mayormente reportado fue de una hora en ambos laboratorios. La mayoría de los trabajadores en ambos

laboratorios manifestaron usar equipo de protección personal, recibir adiestramiento o capacitación en higiene, seguridad y protección personal más de una vez al año. En cambio, el 100 % de los trabajadores de Colón y más de la mitad de los trabajadores de Albrook, informaron nunca haber recibido atención médica por parte de la empresa como medida de control, prevención y detección de enfermedades derivadas del trabajo. Finalmente, la antigüedad laboral fue mayor en los trabajadores del laboratorio de Albrook (mediana = 11 años) en comparación con los trabajadores Colón (mediana = 7 años) y la carga horaria diaria con una mediana de 12 horas, fue reportada mayormente por los trabajadores de Colón, tal como se resume en la tabla 2 (figuras 6-10 en anexo 1).

Tabla 1

Datos sociodemográficos de los trabajadores de los laboratorios de análisis químico, Colón y Albrook.

Variables	TrLC (n = 13)		TrLA (n = 19)	
	Media	DE	Media	DE
Edad (años)	37.6	8.6	42.1	8.7
Peso (kg)	76.6	8.9	81.8	17.3
	n	%	n	%
Sexo				
Masculino	9	69.2	6	31.6
Femenino	4	30.8	13	68.4
Escolaridad				
Primaria	0	0	1	5.3
Media	3	23.1	2	10.5
Superior	10	76.9	16	84.2

Nota: TrLC: trabajadores del laboratorio de Colón. TrLA: trabajadores del laboratorio de Albrook.

Tabla 2

Historia laboral de los trabajadores de los laboratorios de análisis químico, Colón y Albrook.

Variables	TrLC (n = 13)		TrLA (n = 19)	
	n	%	n	%
Ocupación o cargo				
Administrativo	2	15.4	9	47.4
Analista químico	6	46.2	6	31.6
Supervisor de laboratorio	2	15.4	2	1.5
Inspector	2	15.4	1	5.3
Limpieza	1	7.7	1	5.3
Tiempo de descanso dentro de la jornada laboral				
Nunca	1	7.7	0	.0
Media hora	0	0	1	5.3
Una hora	7	53.8	17	89.5
Dos horas	5	38.5	0	.0
Más de 2 horas	0	0	1	5.3
Uso de equipo de protección personal				
Sí	12	92.3	11	57.9
No	1	7.7	8	42.1
Recibe adiestramiento o capacitación en higiene, seguridad y protección personal				
Nunca	1	7.7	0	.0
Una vez al año	1	7.7	4	21.1
Más de una vez al año	11	84.6	15	78.9

Variables	TrLC (n = 13)		TrLA (n = 19)	
	n	%	n	%

Recibe atención médica por parte de la empresa como medida de control, prevención y detección de enfermedades derivadas del trabajo

Nunca	13	100	11	57.9
Una vez al año	0	0	8	42.1

	Mediana	Min - Max	Mediana	Min - Max
Antigüedad laboral (ED)	7	1 – 25	11	4 – 25
Horas trabajadas al día (ET)	12	8.0 - 12	8	8 – 12
Días trabajados al año (EF)	192	192 – 275	240	144 – 308

4.1.4. Hábitos y antecedentes de salud

Los hábitos evaluados en los trabajadores de los laboratorios químicos de Albrook y Colón fueron: el tabaquismo y el consumo de sustancias psicoactivas (alcohol, café, bebidas energizantes), según se puede observar en la tabla 3 (figura 11 en anexo 1). Todos los trabajadores reportaron no fumar. De las sustancias psicoactivas, los trabajadores informaron sobre el consumo de café y alcohol principalmente. El consumo de café fue similar en ambos grupos de trabajadores. Mientras tanto, se registró un mayor consumo de alcohol en los trabajadores de Albrook en comparación con los trabajadores de Colón; el consumo de bebidas energizantes fue mínimo en ambos grupos de trabajadores.

Por otro lado, en la tabla 4 se describen los principales antecedentes de salud reportados por ambos grupos de trabajadores (figura 12 en anexo 1), así como el uso de medicamentos psicoactivos (figura 13 en anexo 1). El 61.5 % de los trabajadores del laboratorio de Colón manifestaron no padecer de algún tipo de enfermedad, en tanto que los trabajadores de Albrook reportaron un 42.1 %. Las enfermedades más relevantes documentadas por ambos grupos fueron: hipertensión arterial, hipotiroidismo, quiste de tiroides, ansiedad y depresión. Otras enfermedades reportadas al menos por un participante fueron: dermatitis atópica, endometriosis, fibroma uterino, herpes tipo 2, malaria, quiste de mamá, miopía, astigmatismo, litiasis renal, asma y rinitis. Sobre el uso de medicamentos psicoactivos, solo 1 persona en el grupo de trabajadores de Albrook

refirió usar fluoxetina y clonazepam; en Colón reportaron no usar medicamentos psicoactivos.

Tabla 3

Hábitos de los trabajadores de los laboratorios de análisis químico, Colón y Albrook.

Variables	TrLC (n = 13)		TrLA (n = 19)	
	n	%	n	%
Café				
Sí	10	76.9	15	78.9
No	3	23.1	4	21.1
Alcohol				
Sí	4	30.8	12	63.2
No	9	69.2	7	36.8
Energizantes				
Sí	2	15.4	1	5.3
No	11	84.6	18	94.7
Tabaquismo				
Sí	0	0	0	0
No	13	100	19	100

Tabla 4

Antecedentes de salud de los trabajadores de los laboratorios de análisis químico, Colón y Albrook.

Variables	TrLC (n = 13)		TrLA (n = 19)	
	n	%	n	%
Antecedentes patológicos				
Hipertensión arterial	2	15.4	1	5.3
Hipotiroidismo, quiste de tiroides	0	.0	4	21.0

Variables	TrLC (n = 13)		TrLA (n = 19)	
	n	%	n	%
Ansiedad y depresión	0	.0	1	5.3
Otras	3	23.1	5	26.3
No	8	61.5	8	42.1

Medicamentos Psicoactivos				
Sí	0	.0	1	5.3
No	13	100	18	94.7

4.1.5. Exposición a largo plazo

En el laboratorio de Albrook no se detectaron niveles de BTX en aire. En el laboratorio de Colón, las medianas para las CDI fueron de 0.30 mg/m³ (mínimo: 0.25; máximo: 0.44) para benceno, 2.77 mg/m³ (mínimo: 2.31 máximo: 3.97) para tolueno y 3.05 mg/m³ (mínimo: 2.54; máximo: 4.36) para xilenos. El laboratorio de Colón es el emplazamiento donde se realizan análisis de hidrocarburos, entre las muestras que se analizan se puede mencionar: gasolina, diésel, solventes orgánicos, petroquímicos, *jet fuel*, keroseno, nafta, lubricantes y petróleo crudo. Tanto las muestras como los reactivos utilizados para su análisis son parte de las sustancias químicas que están presentes en este laboratorio. En la tabla 5 se describen los niveles de exposición a largo plazo para BTX según la mediana de la CDI. En el laboratorio de Colón se determinaron exposiciones altas y bajas a BTX en tanto que en el laboratorio de Albrook no se registró exposición (figura 14 en anexo 1).

4.1.6. Exposición reciente

De acuerdo con los valores de referencia nacionales vigentes, en el laboratorio de Colón, se identificaron, $IR \leq 0.9$ para BTX. EL benceno presentó valores mayores particularmente en la zona de mayor ventilación y en la zona central. Ver tabla 6. De igual manera, se determinó el índice de riesgo utilizando los valores de referencia internacional de la ACGIH (2025), para los cual, el benceno reportó $IR > 0.9$, tanto en la zona de mayor ventilación como en la zona de central. (Ver figura 15 y 16 en anexo 1).

Tabla 5

Nivel de exposición a largo plazo a BTX en base a la mediana de la CDI de los trabajadores en los laboratorios de análisis químico, Colón y Albrook.

Variables	TrLC (n = 13)		TrLA (n = 19)	
	n	%	n	%
Exposición a benceno				
Sin exposición	0	0	19	100.0
Baja exposición	9	69.2	0	0
Alta exposición	4	30.8	0	0
Exposición a tolueno				
Sin exposición	0	0	19	100
Baja exposición	9	69.2	0	0
Alta exposición	4	30.8	0	0
Exposición a xilenos				
Sin exposición	0	0	19	100
Baja exposición	9	69.2	0	0
Alta exposición	4	30.8	0	0

Nota: En el laboratorio de Albrook no se detectó BTX, Sin exposición = 0 mg/m³.

Tabla 6

Índice de riesgo (IR) de BTX, en los laboratorios de análisis químico, Colón y Albrook.

	TrLC (IR)			TrLA (IR)		
	B	T	X	B	T	X
Zonas						
Mayor ventilación	0.71	0.071	0.003	0	0	0
Menor ventilación	0	0.070	0.058	0	0	0
Central	0.38	0.027	0.019	0	0	0
Promedio	0.36	0.056	0.027	0	0	0

Nota: B = benceno, T = tolueno y X = xilenos. De acuerdo con el reglamento técnico DGNTI – COPANIT 43 -2001.

4.1.7. Efectos neuroconductuales

En la prueba de TRSV, la mediana fue de 313.3 ms (mínimo: 228.6; máximo: 531.4). Para la prueba de dígitos, se obtuvo una mediana de 11 puntos (mínimo: 5; máximo: 21). El cuestionario Q-16 arrojó una mediana de 5 puntos (mínimo: 0; máximo: 14), en tanto, su dominio cognitivo presentó una mediana de 2 puntos (mínimo: 0; máximo: 5), el dominio neuroconductual, 1 punto (mínimo: 0; máximo: 5) y el dominio motor 1.5 puntos (mínimo: 0; máximo: 5).

Para la prueba de fuerza de pinzas y agarre, se perdió un participante debido a problemas de salud al momento de realizar las pruebas. No obstante, todos los trabajadores manifestaron que la mano derecha era su mano dominante. En consecuencia, la fuerza de pinza palmar dominante presentó una media de 19.2 lb (DE = 4.3); la fuerza de pinza lateral dominante, una media de 14.6 lb (DE = 3.3); fuerza de pinza de llave dominante, media de 19.6 lb (DE = 4.3) y la fuerza de agarre una media de 32.4 kg (DE = 9.9). En caso contrario, la mano no dominante presentó una media de 19.0 lb (DE = 3.9) en la fuerza de pinza palmar, una media de 13.6 lb (DE = 2.8) en la fuerza de pinza lateral, 18.5 lb (DE = 4.3) en la fuerza de pinza de llave y 30.0 kg (DE = 9.8) en la fuerza de agarre.

4.1.8. Desempeño en las pruebas neuroconductuales

4.1.8.1. Tiempo de reacción simple visual promedio (TRSV)

Los trabajadores del laboratorio de Albrook presentaron un menor desempeño en el TRSV en comparación con los trabajadores de Colón. La tabla 7 muestra la frecuencia en el desempeño, según si fue adecuado o disminuido en cada grupo de trabajadores (figura 17 en anexo 1).

Tabla 7

Desempeño del tiempo de reacción simple visual promedio de los trabajadores de los laboratorios de análisis químico, Colón y Albrook.

Prueba	TrLC (n = 13)		TrLA (n = 19)	
	n	%	n	%
TRSV				
Disminuido	7	53.8	15	78.9
Adecuado	6	46.2	4	21.1

Nota: el TRSV evaluó el dominio cognitivo/motor.

4.1.8.2. Fuerzas de pinza y agarre

El desempeño en la fuerza de pinza palmar y de agarre de la mano dominante fue menor en los trabajadores de Colón. Por su parte en los trabajadores de Albrook, se registró un menor desempeño en la fuerza de pinza lateral y de llave de la mano dominante. Por otro lado, el desempeño en las fuerzas de pinza palmar, lateral, llave y fuerza de agarre de la mano no dominante fue predominantemente disminuido en los trabajadores de Colón. En la tabla 8 se describe la frecuencia en el desempeño en las fuerzas de pinza y agarre tanto para la mano dominante como para la no dominante, según el grupo de trabajadores (figuras 18 y 19 en anexo 1).

Tabla 8

Desempeño en las fuerzas de pinza y agarre de los trabajadores de los laboratorios de análisis químico, Colón y Albrook.

Pruebas	TrLC (n = 12)		TrLA (n = 19)	
	n	%	n	%
Fuerza en mano dominante				
Pinza palmar				
Disminuido	8	66.7	11	57.9
Adecuado	4	33.3	8	42.1
Pinza lateral				
Disminuido	5	41.7	7	36.8
Adecuado	7	58.3	12	63.2
Pinza de llave				
Disminuido	9	75.0	15	78.9
Adecuado	3	25.0	4	21.1
Agarre				
Disminuido	4	33.3	4	21.1
Adecuado	8	66.7	15	78.9

Pruebas	TrLC (n = 12)		TrLA (n = 19)	
	n	%	n	%
Fuerza en mano no dominante				
Pinza palmar				
Disminuido	9	75.0	9	47.4
Adecuado	3	25.0	10	52.6
Pinza lateral				
Disminuido	10	83.3	9	47.4
Adecuado	2	16.7	10	52.6
Pinza de llave				
Disminuido	9	75.0	12	63.2
Adecuado	3	25.0	7	36.8
Agarre				
Disminuido	5	41.7	6	31.6
Adecuado	7	58.3	13	68.4

Nota: la fuerza de pinza y agarre evaluó el dominio motor.

4.1.8.3. Prueba de dígitos

Hubo una mayor proporción del desempeño disminuido en la prueba de dígitos, en los trabajadores de Albrook en contraste con los trabajadores de Colón. Ver tabla 9 (figura 20 en anexo 1).

4.1.8.4. Cuestionario Q-16 y sus dominios

Los trabajadores del laboratorio de Albrook reportaron mayor cantidad de respuestas positivas a la presencia de síntomas neuropsicológicos y neuropsiquiátricos, tanto en la evaluación general como en la evaluación específica por dominio, en comparación con los trabajadores de Colón, para mayor detalle consultar la tabla 10 (figura 21 en anexo 1).

Tabla 9

Desempeño en la prueba de dígitos de los trabajadores de los laboratorios de análisis químico, Colón y Albrook.

Prueba	TrLC (n = 13)		TrLA (n = 19)	
	n	%	n	%
Prueba de dígitos				
Disminuido	4	30.8	9	47.4
Adecuado	9	69.2	10	52.6

Nota: la prueba de dígitos evaluó la memoria inmediata en el dominio cognitivo.

Tabla 10

Determinación de síntomas neuropsicológicos y neuropsiquiátricos mediante la aplicación del cuestionario Q-16 a los trabajadores de los laboratorios de análisis químico, Colón y Albrook.

Prueba	TrLC (n = 13)		TrLA (n = 19)	
	n	%	n	%
Cuestionario Q-16				
Positivo	6	46.2	10	52.6
Negativo	7	53.8	9	47.4
Dominio Cognitivo				
Positivo	4	30.8	8	42.1
Negativo	9	69.2	11	57.9
Dominio neuroconductual				
Positivo	3	23.1	5	26.3
Negativo	10	76.9	14	73.7
Dominio motor				
Positivo	0	0	5	26.3
Negativo	13	100.0	14	73.7

Nota: el cuestionario Q-16 y cada uno de sus dominios evaluó la presencia de síntomas neuropsicológicos y neuropsiquiátricos dentro del dominio afectivo.

4.1.9. Relación entre la exposición a largo plazo y reciente a BTX y el desempeño en las pruebas neuroconductuales

De acuerdo con el protocolo, la exposición a BTX fue evaluada inicialmente mediante el laboratorio de procedencia de los trabajadores y los indicadores de exposición: la CDI y el IR. Para establecer las relaciones era fundamental dicotomizar los datos obtenidos en expuestos y no expuestos. Al comparar las 3 categorías, el laboratorio de procedencia, la CDI y del IR, ya dicotomizadas, en relación con los hallazgos neuroconductuales, se observó que las asociaciones obtenidas fueron equivalentes en dirección, magnitud y significancia sin diferencias entre los 3 indicadores. Asimismo, los resultados derivados de estas estratificaciones cuantitativas fueron consistentes con la clasificación operacional basada en el laboratorio de procedencia, donde el laboratorio de Colón, por sus características y procesos analíticos se corresponden con el grupo expuesto, mientras que el laboratorio de Albrook con el grupo no expuesto. En ese sentido, las tres aproximaciones de exposición: el laboratorio de procedencia, la CDI y el IR, convergieron en un mismo patrón analítico. Por ello, la presentación final de estos resultados se simplificó utilizando la categorización de expuestos (TrLC) y no expuestos (TrLA) versus el desempeño neuroconductual, sin que se contradiga la estratificación original definida en el protocolo (ver tablas suplementarias 2 y 3 en anexo 1).

De acuerdo con los datos presentados en la tabla 11, las asociaciones entre la exposición a BTX y el desempeño en las pruebas neuroconductuales no fueron estadísticamente significativas. Se observó una asociación positiva fuerte entre la exposición a BTX y el desempeño en la fuerza de pinza lateral en la mano no dominante; una asociación positiva moderada para la fuerza de agarre en la mano dominante, para la fuerza de pinza palmar y pinza de llave en la mano no dominante; se encontró una asociación positiva débil para la fuerza de pinza palmar y pinza lateral en la mano dominante, y para la fuerza de pinza de agarre en la mano no dominante. (Mayor detalle en tabla suplementaria 2, 3 y figura 22 en anexo 1).

Tabla 11

Relación entre la exposición a BTX y el desempeño de las pruebas neuroconductuales de los trabajadores de los laboratorios químicos de Colón (expuestos) y Albrook (no expuestos).

Prueba	Grupo	Desempeño	Desempeño	OR	IC95%	p
		disminuido	adecuado			
		n (%)	n (%)			
TRSV	Expuestos	7 (53.8)	6 (46.2)	0.31	0.07 - 1.47	.244
	No expuestos	15 (78.9)	4 (21.1)			
Fuerza en mano dominante						
Pinza palmar	Expuestos	8 (66.7)	4 (33.3)	1.46	0.32 – 6.56	.717
	No expuestos	11 (57.9)	8 (42.1)			
Pinza lateral	Expuestos	5 (41.7)	7 (58.3)	1.22	0.28 – 5.37	1.000
	No expuestos	7 (36.8)	12 (63.2)			
Pinza de llave	Expuestos	9 (75.0)	3 (25.0)	0.80	0.15 - 4.42	1.000
	No expuestos	15 (78.9)	4 (21.1)			
Agarre	Expuestos	4 (33.3)	8 (66.7)	1.88	0.37 – 9.57	.676
	No expuestos	4 (21.1)	15 (78.9)			
Fuerza mano no dominante						
Pinza palmar	Expuestos	9 (75.0)	3 (25.0)	3.33	0.68 – 16.30	.158
	No expuestos	10 (52.6)	9 (47.4)			
Pinza lateral	Expuestos	10 (83.3)	2 (16.7)	5.56	0.95 – 32.50	.065
	No expuestos	10 (52.6)	9 (47.4)			

Prueba	Grupo	Desempeño	Desempeño	OR	IC95%	p
		disminuido	adecuado			
		n (%)	n (%)			
Pinza de llave	Expuestos	9 (75.0)	3 (25.0)	1.75	0.35 – 8.71	.697
	No expuestos	12 (63.2)	7 (36.8)			
Agarre	Expuestos	5 (41.7)	7 (58.3)	1.55	0.35 – 6.94	.705
	No expuestos	6 (31.6)	13 (68.4)			
Prueba de dígitos	Expuestos	4 (30.8)	9 (69.2)	0.49	0.11 – 2.18	.471
	No expuestos	9 (47.4)	10 (52.6)			
Presencia de síntomas neuropsicológicos y neuropsiquiátricos						
Cuestionario Q-16	Expuestos	Positivo	Negativo	0.77	0.19 – 3.17	1.000
		n (%)	n (%)			
		6 (46.2)	7 (53.8)			
		10 (52.6)	9 (47.4)			
Cognitivo	Expuestos	4 (30.8)	9 (69.2)	0.61	0.14 – 2.71	.713
	No expuestos	8 (42.1)	11 (57.9)			
Neuroconductual	Expuestos	3 (23.1)	10 (76.9)	0.84	0.16 – 4.35	1.000
	No expuestos	5 (26.3)	14 (73.7)			
Motor*	Expuestos	0 (0.0)	13 (100)	0.00	0	.064
	No expuestos	5 (15.6)	14 (73.7)			

Nota: * el OR del dominio motor del cuestionario Q-16 no puede calcularse debido a que no se encontró la presencia de síntomas en los trabajadores de Colón (expuestos).

Posteriormente, se evaluó la relación entre el nivel de exposición a largo plazo a BTX y el desempeño neuroconductual, centrándonos en el dominio motor de los trabajadores

expuestos (TrLC), dado que las fuerzas de pinzas y agarre, en ambas manos, presentaron un riesgo aumentado de disminución del desempeño neuroconductual.

No se realizó el análisis de asociación entre el nivel de exposición a largo plazo a BTX y el desempeño en el TRSV, prueba de dígitos, ni el cuestionario Q-16, debido a que estas variables no evidenciaron un riesgo aumentado en los análisis preliminares.

Asimismo, no se analizó la relación entre el nivel de exposición reciente a BTX y el desempeño neuroconductual, ya que solo se identificó un nivel de exposición (media-baja). Cabe destacar que, para los tres compuestos evaluados, el nivel de exposición a largo plazo fue el mismo.

Las estimaciones de los ORs entre los niveles de exposición a largo plazo a BTX y el desempeño neuroconductual en las fuerzas de pinzas y agarre en los trabajadores expuestos fueron limitadas por el reducido número de participantes y la baja frecuencia de eventos. En varias comparaciones se observaron frecuencias nulas, lo que dio lugar a ORs indefinidos o no estimables. Por su parte, aquellos que pudieron calcularse, los intervalos de confianza al 95 % fueron muy amplios, lo que refleja baja precisión y limitada potencia estadística (ver tablas suplementarias 5 y 6 en anexo 1).

Finalmente, se calcularon los ORs ajustados para aquellos efectos que resultaron en ORs crudos $>$ de 1.0, evaluando posibles variables confusoras, mediante una regresión logística binaria nivel univariado. No se evaluó el tabaquismo dado que todos reportaron no fumar.

Ninguna de las variables evaluadas mostró asociación estadísticamente significativa con el desempeño en el TRSV. El sexo femenino, la edad, el consumo de alcohol, el antecedente de hipertensión arterial y la antigüedad laboral presentaron ORs mayores a 1 con intervalos de confianza que incluyen la unidad y valores de $p > 0.05$.

En cuanto al desempeño en las fuerzas de pinzas y agarre en ambas manos no se realizaron ajustes por edad y sexo debido a que los datos ya están ponderados según estas variables. No se evidenciaron asociaciones estadísticamente significativas entre las variables evaluadas y el desempeño en las fuerzas de pinzas y agarre en la mano dominante, aunque algunas variables mostraron ORs $>$ 1, todos los intervalos incluyeron la unidad y valores de $p > 0.05$.

De igual forma, en la mano no dominante tampoco se identificaron asociaciones estadísticamente significativas entre las variables analizadas y el desempeño en las

fuerzas de pinzas y agarres. Se pudo observar una tendencia consistente, aunque no significativa, entre las horas trabajadas al día y el desempeño en la fuerza de pinza palmar, lateral y de llave, con valores de p cercanos a 0.05. Para más detalles consultar la tabla suplementaria 4 en anexo 1.

No se realizó el análisis de la regresión logística a la prueba de dígitos ni al cuestionario Q-16, dado que los ORs crudos obtenidos fueron < 1.0 .

4.2. Discusión

El objetivo principal de este estudio es evaluar la exposición ocupacional a COVs y su asociación con el desempeño en la evaluación neuroconductual en trabajadores de un laboratorio de los hidrocarburos.

Los resultados de esta investigación deben interpretarse en el contexto de la limitada evidencia disponible en trabajadores de laboratorios vinculados a hidrocarburos. La mayoría de los estudios disponibles sobre COVs y el desempeño neuroconductual se han desarrollado en otros sectores laborales, como la industria petroquímica, refinerías, estaciones de servicio, talleres de pintura, manufactura, entre otros, lo que dificulta hacer comparaciones directas con el entorno de laboratorio.

En este sentido, los hallazgos del presente estudio aportan información novedosa para un escenario ocupacional poco estudiado. Asimismo, el posible efecto del trabajador sano fue controlado, no se reportaron cambios de trabajo ni trabajadores expuestos que hubiesen dejado de laborar durante el estudio.

La caracterización del puesto de trabajo logró identificar de manera general los principales peligros presentes en el entorno laboral, incluyendo factores químicos, físicos, ergonómicos y de seguridad. Este análisis permitió reconocer que la etapa de preparación de muestras concentra la mayor probabilidad riesgo de exposición, principalmente por la manipulación de sustancias químicas peligrosas. En este sentido, los resultados obtenidos en la evaluación de COVs son consistentes con las condiciones operativas observadas, donde la principal vía de exposición es inhalatoria.

Diversas investigaciones han demostrado que las sustancias químicas como BTX producen daño a la salud de los trabajadores expuestos. Sin embargo, los efectos en la salud suelen no ser evidentes debido a exposiciones prolongadas a bajas dosis, lo cual dificulta la identificación de síntomas o alteraciones neuroconductuales como un factor de riesgo laboral. (Sánchez B. et al, 2014). Los efectos crónicos a BTX suelen requerir exposiciones prolongadas y acumulativas para manifestarse clínicamente, distintos

autores han señalado que debe existir un tiempo mínimo de exposición de aproximadamente 7 a 8 años para detectar síntomas tempranos y generalmente mayor a 10 años para hablar de causalidad, salvo en exposiciones agudas a altas concentraciones (Castellar Anillo, 2007). La antigüedad laboral para los trabajadores del laboratorio de Colón fue de 7 años (mínimo: 1, máximo: 25) y para los trabajadores del laboratorio de Albrook, de 11 años (mínimo: 4, máximo: 25). Según el modelo de Leavell y Clark de la historia natural de la enfermedad, los trabajadores expuestos estarían ubicados en la fase subclínica del periodo patogénico.

Los valores de CDI estimados para BTX permiten interpretar la exposición ocupacional a largo plazo en los trabajadores expuestos, evidenciándose que, con base en la mediana calculada, el 30.8 % de los trabajadores expuestos presentaron una alta exposición, mientras que el 69.2 % mostraron una exposición baja según la distribución interna de la población estudiada. Si bien la CDI constituye una estimación de la exposición crónica promedio y no un límite ocupacional regulatorio, su comparación con valores de referencia como la CPT establecida en el reglamento el reglamento técnico DGNTI – COPANIT 43 -2001 y los valores límites umbrales ponderados en el tiempo (TLV-TWA) propuestos por la ACGIH (2025), permite una interpretación orientativa del nivel de exposición y del grado de protección ofrecido por cada marco regulatorio. En este sentido, al contrastar las estimaciones de la CDI con los valores de referencia a nivel nacional, 1 ppm (3.2 mg/m³) para benceno, 50 ppm (188.4 mg/m³) para tolueno y 100 ppm (434.2 mg/m³) para xilenos, la exposición a largo plazo se clasificaría como baja. No obstante, al compararse con los valores de la ACGIH, se evidencia que la exposición a largo plazo al benceno (0.30mg/m³) supera el valor de referencia de 0.02 ppm (0.064 mg/m³), lo que indicaría una alta exposición a benceno, mientras que los valores estimados de tolueno (2.77 mg/m³) y xilenos (3.05 mg/m³) se mantienen por debajo de los valores límites, tolueno, 20 ppm (75.4 mg/m³) y xilenos 20 ppm (86.84 mg/m³), (tabla suplementaria 8 en anexos). Estas comparaciones ponen de manifiesto la necesidad de interpretar los resultados a la luz de marcos regulatorios actualizados, especialmente considerando que los límites de exposición ocupacional han sido progresivamente reducidos en respuesta a la evidencia acumulada sobre los efectos adversos del benceno. En este contexto, los hallazgos subrayan la importancia de integrar enfoques normativos y de evaluación de riesgo para una interpretación más integral de la exposición ocupacional y sus posibles implicaciones para la salud de los trabajadores.

Es importante destacar que la normativa nacional no ha cambiado desde el año 2001, en tanto que, a nivel internacional, los umbrales permitidos para estas sustancias se han ido reduciendo debido al creciente potencial de ocasionar daño.

La OIT a través de sus convenios, específicamente el 155 y el 187, establece las bases de una política nacional para un entorno laboral seguro y saludable garantizando la protección de los trabajadores. El Estado panameño es miembro de la OIT, cuenta con una política nacional de seguridad y salud en el trabajo fundamentada en normativas locales como: el Código de Trabajo, el Decreto de Gabinete N.º 68 de 31 de marzo de 1970, por el cual se centraliza en la Caja de Seguro Social la cobertura obligatoria de los riesgos, profesionales para todos los trabajadores del Estado y de las empresas particulares que operan en la República de Panamá; la Resolución N.º 45,588-2011-J.D. de 17 de febrero de 2011, correspondiente al reglamento general de prevención de riesgos profesionales y de seguridad e higiene en el trabajo de la Caja de Seguro Social; la Ley Orgánica de la Caja de Seguro Social, los reglamentos técnicos de la DGNTI-COPANIT y el programa de Salud Ocupacional del Ministerio de Salud. A pesar de ello, el Estado panameño no ha ratificado los convenios 155 y 187 de la OIT, lo cual es un requisito legal para adoptar formalmente una política nacional y un programa de seguridad y salud de los trabajadores (OIT, 2024).

Asimismo, se determinó que la exposición reciente a BTX, en promedio, fue media baja de acuerdo con los valores de referencia establecidos según la normativa nacional vigente, sin embargo, al utilizar los valores de referencia actuales de la ACGIH (2025), la exposición reciente a benceno, en promedio, resultó ser alta-muy alta, mientras que la de tolueno y xilenos se mantuvo en media-baja (ver tabla suplementaria 9 y figuras 15 – 16 en anexos). Hay que recordar que el grado de ventilación de las zonas muestreadas fue establecido de acuerdo con sus características estructurales, proximidad a ventanas, puertas, aires acondicionados, extractores de aire o cámaras de extracción, siendo los niveles de CO₂ indetectables en todas las zonas. En ese sentido, la zona establecida de mayor ventilación en el laboratorio de Colón presentó un patrón algo inesperado, toda vez que se detectó benceno y tolueno, lo cual contrasta con la evidencia, ya que lo esperado es que las zonas de menor ventilación sean las que presenten mayores concentraciones de COVs. Pero estos hallazgos podrían explicarse por diferentes factores técnicos: (1) efectos de corrientes de aire cruzada, es decir un desbalance en el flujo de aire puede arrastrar al compuesto a una zona determinada produciendo un aumento en la

concentración en dicha zona; (2) partículas más pequeñas ($< 1\mu\text{m}$) siguen el patrón del aire, se dispersan más rápido y se distribuyen ampliamente; (3) características fisicoquímicas de los COVs: el benceno y tolueno son más volátiles que los xilenos, por lo que en ambientes más ventilados pueden dispersarse más rápido y ocupar espacios amplios; (4) el análisis de las muestras: depende de varios factores, tales como cantidad de muestras, el horario de análisis (puede ser a cualquier hora), los analistas químicos (no todo el personal trabaja en el mismo horario); (5) el tipo de muestra, estudio analítico a realizar y la carga de trabajo presentan una variabilidad operativa propia de los procesos de rutina. En este contexto, existen jornadas con baja demanda analítica, así como variaciones temporales y espaciales en la ejecución de los procesos analíticos, los cuales no necesariamente coinciden con los periodos ni áreas específicas muestreadas, siendo estos hallazgos comparables con el estudio de (Rim y Novoselac, 2010).

En consecuencia, a pesar de que los valores de exposición a largo plazo y reciente sugieren una exposición baja y media baja respectivamente, de acuerdo con la normativa nacional vigente, el benceno es un agente carcinógeno del grupo 1 de la IARC y aunque el riesgo neurotóxico agudo sugiere ser menor, debe considerarse que la exposición simultánea a BTX, aun en niveles inferiores a los valores de referencia, puede generar una sinergia sobre los efectos en la función neuroconductual.

Conforme a los resultados obtenidos de la historia laboral, el grupo de trabajadores con mayor exposición a COVs son los analistas químicos (46.2 %) seguidos por los supervisores e inspectores (15.4 % cada uno) dada la naturaleza de sus funciones. El 92.3 % de los trabajadores del laboratorio de Colón reportó tener tiempo de descanso en una hora y dos horas, en tanto que el 89.5 % de los trabajadores de Albrook reportaron un tener una hora de descanso. De ese modo, se resalta el cumplimiento con lo establecido en el Código de Trabajo, en su artículo 39 donde la jornada de trabajo tendrá periodos de descanso no menores a media hora ni mayores a dos horas.

Sobre el uso de equipo de protección personal, se registró que el 92.3 % de los trabajadores de Colón usan equipo de protección personal, solo una persona reportó no usarlo dada la naturaleza de sus funciones (administrativas); en el laboratorio de Albrook el 57.9 % reportó usar equipo de protección personal mientras que el 42.1 % reportó no usarlo, de igual manera, atribuible a sus funciones (administrativas), cumpliendo con lo establecido en el Reglamento General de Prevención de Riesgos Profesionales y de Seguridad e Higiene en el Trabajo de la Caja de Seguro Social. En cuanto a si los

trabajadores reciben adiestramiento o capacitación en higiene, seguridad y protección personal, solo una persona contestó nunca haber recibido capacitación, sin embargo aclaró que tenía 1 a 2 años que no recibía capacitación, por lo que se entiende que anteriormente sí había recibido capacitación por parte de la empresa. El resto recibe capacitación en este tema, el 84.6 % de los trabajadores de Colón informaron recibir capacitación más de una vez al año mientras que el 78.9 % de los trabajadores de Albrook también registró capacitaciones más de una vez al año, lo cual cumple con el Reglamento General de Prevención de Riesgos Profesionales y de Seguridad e Higiene en el Trabajo de la Caja de Seguro Social. Un dato importante dentro de la historia laboral es que el 100 % de los trabajadores expuestos a BTX y el 57.9 % de los trabajadores no expuestos manifestaron no recibir atención médica por parte de la empresa como medida de control, prevención y detección de enfermedades derivadas del trabajo, en tanto que el 42.1 % de los trabajadores no expuestos manifestaron recibir atención médica, sin embargo, debe quedar claro que estos controles son por solicitud de los clientes del laboratorio como requisito para atender operaciones en campo, garantizando que el trabajador esté en buenas condiciones de salud para ejecutar el trabajo requerido. Debido a esto, se evidencia una ausencia de controles médicos conforme a los principios establecidos en el Reglamento General de Prevención de Riesgos Profesionales y de Seguridad e Higiene en el Trabajo de la Caja de Seguro Social y en el Convenio 161 de 1985 de la OIT, donde se establece que los servicios de salud en el trabajo deben garantizar la prevención, vigilancia sistemática y detección temprana de enfermedades relacionadas con el trabajo. Frente a los antecedentes de salud, el 100 % de los participantes negó padecer alguna enfermedad considerada en los criterios de exclusión. Sin embargo, fueron reportados otros padecimientos, al menos por un participante, entre los cuales destacan: dermatitis atópica, endometriosis, fibroma uterino, herpes tipo 2, malaria, quiste de mamá, miopía, astigmatismo, litiasis renal, asma y rinitis, portador de anemia falciforme. Los efectos de BTX sobre la salud dependen de la dosis y de la duración de la exposición. La ATSDR ha informado sobre el potencial efecto dañino de estos compuestos sobre la función hepática, renal, respiratoria, neurológica, inmunitaria, hematológica, además de producir daños sobre el ADN y la posibilidad de ocasionar efectos genotóxicos. Estudios epidemiológicos han demostrado que la exposición ocupacional a benceno, tolueno, etilbenceno y xileno puede producir enfermedades respiratorias crónicas, disminución de la función pulmonar, rinitis y alteraciones hematológicas (Alves et al, 2017). Cruz et al,

2017, concluyeron que hay un riesgo elevado de cáncer en trabajadores de estaciones de combustible expuestos a benceno durante 30 años. También existe evidencia reciente que la exposición a estos compuestos está asociada a factores de riesgo cardiovascular y enfermedades cardíacas como la angina de pecho y la insuficiencia cardíaca congestiva (He et al, 2024). En ese sentido, la investigación apoya la necesidad imperativa de controles periódicos de salud y vigilancia ambiental con base y fundamento en la normativa nacional vigente.

Las pruebas neuroconductuales aplicadas son parte de la Batería de Pruebas Neuroconductuales Básicas de la OMS. Estas pruebas tienen la capacidad de detectar efectos neurotóxicos tempranos muy sutiles en fases subclínicas en grupo de personas expuestas (no individualmente), su sensibilidad y especificidad es aceptable recordando que estas pruebas no buscan diagnosticar enfermedades específicas, sino detectar un deterioro funcional temprano asociado a exposición de sustancias neurotóxicas. (van Wendel de Joode et al, 2000). Como se ha detallado anteriormente, se requiere de una exposición prolongada a COVs, así como grupos de observación más grandes para lograr una precisión y validez que lleven a resultados significativos (van Wendel de Joode et al, 2000). La población del estudio fue pequeña, dificultando evidenciar relaciones estadísticamente significativas.

En nuestro estudio, la relación entre la exposición a BTX y el desempeño neuroconductual se centró en el dominio motor. La evaluación del dominio motor se llevó a cabo mediante la determinación de las fuerzas de pinzas (palmar, lateral y de llave) y de agarre, tanto en la mano dominante como la mano no dominante. Hubo un desempeño disminuido en las fuerzas de pinza palmar, lateral y fuerza de agarre en la mano dominante, mientras que, en la mano no dominante, todas las fuerzas mostraron un desempeño disminuido. Diferentes estudios han demostrado que la exposición a BTX producen alteraciones en la función motora. En la tesis doctoral llevada a cabo por (Sorto C. y Sevilla T., 2020) se evaluó la exposición a COVs en trabajadores de gasolineras en la ciudad de León y Chinandenga, Nicaragua y su asociación con el desempeño en pruebas de función nerviosa, entre las cuales se evidenció una asociación positiva estadísticamente significativa entre la exposición de los trabajadores y la disminución del desempeño en la fuerza de agarre de la mano no dominante. Por otra parte, en la ciudad de México se realizó un estudio en trabajadores de una fábrica de pintura, las asociaciones observadas

entre la exposición a COVs y el desempeño motor mediante la fuerza de agarre no fueron estadísticamente significativa (Juárez Pérez et al, 2019).

No se encontró una asociación positiva estadísticamente significativa entre la exposición a BTX y el desempeño en el TRSV (dominio cognitivo/motor). En este sentido, los resultados de nuestro estudio contrastan con investigaciones que reportan un desempeño disminuido del TRSV en poblaciones expuestas a distintos COVs y mezclas, entre ellos benceno, tolueno y xileno (Liu y Jia, 2014). Un estudio longitudinal realizado en una unidad de pintura de una industria automotriz determinó la presencia en aire de COVs (benceno, tolueno, etilbenceno y xileno principalmente) y evidenció que los trabajadores expuestos presentaron un aumento estadísticamente significativo en el tiempo de reacción simple, en comparación con los no expuestos (Golbabaie et al, 2018).

Los resultados obtenidos entre la exposición a BTX y el desempeño en la prueba de dígitos, son comparable con la investigación realizada por (Otto et al, 1992) en donde determina que no hubo una alteración de la memoria inmediata al no evidenciar cambios en las pruebas aplicadas, entre ellas la prueba de dígitos. Un punto importante que describe este autor es que este hallazgo no es nada extraño en exposiciones a bajas concentraciones de COVs. Sin embargo, (Chouanière et al, 2002), en Francia, evaluaron los trastornos neuroconductuales derivados de la exposición ocupacional a tolueno mediante un estudio transversal en donde documentaron que la exposición a tolueno a bajas concentraciones se asocia significativamente a un peor desempeño de la prueba de dígitos y la edad fue un factor influyente sobre el mismo. Cabe destacar que el grupo de trabajadores no expuestos, en nuestra investigación, presentó un peor desempeño en la prueba de dígitos y a su vez la edad promedio de este grupo es mayor, lo que pudiera explicar estos resultados, tal cual como se evidencia en el trabajo realizado por Chouanière et al, 2002.

Tampoco se encontró una asociación positiva estadísticamente significativa entre la exposición a BTX y la presencia de síntomas neuropsicológicos y neuropsiquiátricos mediante la aplicación del cuestionario Q-16. Por su parte, aunque el cuestionario Q-16 es una herramienta de tamizaje útil para la determinación de síntomas neurotóxicos, su sensibilidad dependerá de exposiciones altas de COVs (Lundberg et al, 1997). Este hallazgo puede deberse a factores individuales sobre la base de contestar un sí o no a las preguntas del cuestionario Q-16, lo que puede llevar al individuo a responder sin

sinceridad o a evitar responder de forma aleatoria, o simplemente negarse a responder (Barbosa et al, 2011).

Es importante tener en cuenta que en las investigaciones donde la población de estudio es pequeña, además de la significancia estadística se tenga presente la relevancia o magnitud del efecto, por lo que la interpretación del OR no solo debe centrarse en la significancia estadística sino también en la magnitud como medida del tamaño del efecto. Puesto que en el contexto epidemiológico aun cuando existan relaciones con OR estadísticamente significativos la magnitud del efecto puede ser pequeña o tener una asociación débil e insignificante, incluso clínicamente irrelevante. En este sentido, un OR con valor cercano a 1.0 con significancia estadística puede deberse principalmente a un tamaño muestral grande más que a un efecto sustancial y un OR de mayor magnitud que refleja una asociación fuerte puede no alcanzar la significancia estadística debido a un tamaño muestral reducido (Chen, Cohen y Chen, 2010). Los autores clasifican la magnitud del efecto en débil, moderada y fuerte, es decir, un $OR < 1.5$ presenta una asociación débil o efecto pequeño, en tanto que, un $OR > 5.0$ tiene una asociación fuerte o efecto grande. Basado en ello, nuestra investigación evidenció una asociación positiva fuerte entre la exposición a BTX y el desempeño en la fuerza de pinza lateral en la mano no dominante, así como una asociación positiva moderada para la fuerza de agarre en la mano dominante y para la fuerza de pinza palmar y de llave en la mano no dominante.

El análisis de la regresión logística binaria nivel univariado para el ajuste de variables confusoras, entre ellas: variables sociodemográficas, clínicas, hábitos, laborales y el desempeño neuroconductual, mostró asociaciones sin significancia estadística. La edad, el sexo y la escolaridad son factores que influyen en procesos fisiológicos y neuropsicológicos que pueden influir en la velocidad de reacción simple (Liu y Jia, 2014). En nuestro estudio, la edad y el sexo femenino presentaron un peor desempeño en el TRSV, en tanto que la escolaridad mostró un desempeño adecuado. Estos resultados son consistentes con los hallazgos de (Liu y Jia, 2014). Por otro lado, debido a que los datos obtenidos para las fuerzas de pinzas y agarre están ponderados en base a la edad y el sexo, no se realizó la regresión logística sobre estas pruebas. No obstante, Monaharan, Sundaram y Jason, 2015, sostienen que la edad y el sexo son factores determinantes en la fuerza de agarre, toda vez que la fuerza disminuye con la edad y varía según la composición corporal. A su vez, la escolaridad presentó una tendencia con un adecuado desempeño en las fuerzas de pinzas, aunque no en las fuerzas de agarre.

Estos resultados son comparables con estudios donde se correlacionó el nivel educativo y la fuerza de agarre tanto en adultos mayores (Pothisiri, Prasitsiripphon y Saikia, 2021) como en adolescentes (Amo-Setién et al, 2020).

La evidencia científica ha demostrado que los antecedentes clínicos también pueden tener efectos sobre el desempeño neuroconductual. En la investigación realizada por (Liu y Jia, 2014) se evidenció que la hipertensión arterial disminuyó el desempeño en la velocidad de respuesta a estímulos y otros dominios. En cuanto a los antecedentes clínicos documentados y sus efectos sobre el desempeño neuroconductual, se obtuvo un comportamiento neutral con odds ratio cercanos a uno (1) o valores extremos no interpretables. El consumo de alcohol y café fueron los hábitos con mayor relevancia aun cuando no se alcanzó la significancia estadística. El consumo de alcohol tuvo una tendencia a la disminución del desempeño en el TRSV, de la fuerza de pinza lateral, y agarre de la mano dominante, fuerza de pinza palmar y agarre de la mano no dominante; sumado a ello, el consumo de café también presentó una tendencia a la disminución del desempeño en el dominio motor. Es importante destacar que la OMS ha determinado que el consumo crónico de alcohol está asociado con un mayor riesgo de lesión del sistema nervioso central, ocasionando deterioro cognitivo, trastornos mentales, depresión, ansiedad, pérdida de la atención, entre otros. La evidencia científica describe que el abuso crónico de alcohol se relaciona con disminución en el rendimiento físico y está asociado con diversos grados de daño y debilidad muscular (Monaharan, Sundaram y Jason, 2015). Por el contrario, el café, que es un neuromodulador inhibitor del sistema nervioso central, puede reducir el estrés, ansiedad, depresión y mejorar las funciones cognitivas, sin embargo, el consumo excesivo puede no ser beneficioso llegando afectar el estado emocional y las funciones cognitivas (Unsal y Sanlier, 2025). En cuanto a las variables laborales, las horas trabajadas al día fueron las más relevantes, al mostrar una tendencia a afectar el dominio motor, sobre todo en la mano no dominante lo que podría relacionarse con fatiga o sobrecarga, recordando que los trabajadores del laboratorio de Colón trabajan más horas por día. Varios estudios han evidenciado que trabajadores expuestos a COVs durante periodos de 8 a 9 horas diarias son vulnerables (Alves et al, 2017). Lavanya S. et al, 2023, describe que la exposición ocupacional a COVs produce cambios en el desempeño neuroconductual que empeoran con el tiempo. En consecuencia, las asociaciones observadas fueron mayormente débiles con algunas señales de magnitud débil a moderada sobre el desempeño motor principalmente, estos

hallazgos deben interpretarse como evidencia sugestiva y no concluyente compatible con un posible escenario de exposición a largo plazo con efectos subclínicos o tempranos. Por otro lado, los resultados obtenidos de la relación entre la exposición a largo plazo a BTX y la disminución en el desempeño neuroconductual motor en los trabajadores expuestos, deben interpretarse con cautela debido a que hubo datos cuyos valores fueron cero, lo cual es un impedimento para la estimación válida de los ORs, además de intervalos de confianza excesivamente amplios evidenciando imprecisión y alta variabilidad atribuibles al número de participantes reducido. La consideración de estos resultados debe ser únicamente de carácter exploratorios. En ese sentido, hubo una tendencia específicamente en la mano no dominante, en donde los trabajadores con alta exposición presentaron una disminución en el desempeño motor. Autores como (Alves et al, 2017), (Lavanya S. et al, 2023) describen que la exposición prolongada a COVs tiene efectos sobre el desempeño neuroconductual.

4.2.1. Análisis complementario

Con la finalidad de evaluar la robustez de los hallazgos, realizamos un análisis complementario de la exposición a largo plazo empleando la dosis diaria promedio (ADD: average daily dose) expresada en mg/kg·día (figura 23), como una medida alternativa de evaluación de la exposición a BTX a largo plazo. Se utilizó la mediana como medida de corte para estimar el grado de exposición en los trabajadores expuestos.

Bajo este análisis, el 46.2 % de los trabajadores expuestos presentaron alta exposición a BTX, mientras que el 53.2 % mostró una baja exposición, lo cual es consistente con los datos obtenidos a partir de la CDI, donde también predominó la baja exposición (tabla suplementaria 7). En este sentido, el patrón de exposición a largo plazo estimado tanto por la CDI como por la ADD fue concordante.

Cabe destacar que la normativa nacional vigente no contempla valores de referencia expresados en términos de la dosis diaria promedio (mg/kg·día). Por ello, con fines interpretativos y toxicológicos, las dosis estimadas se contrastaron con los valores de referencia internacional del sistema integrado de información de riesgo (IRIS) de la EPA, que establece valores guía de 0.004 mg/kg·día para benceno, 0.08 mg/kg·día para tolueno y 0.2 mg/kg·día para xilenos. Al comparar con estos valores, se evidenció que la exposición a largo plazo estimadas para BTX se situaron por encima de los valores de referencia respectivos, lo que sugiere una alta exposición desde el punto de vista toxicológico.

Al contrastar estos resultados se evidenció una alta exposición a largo plazo a BTX en tanto que con la CDI y los valores de referencia de la ACGIH únicamente la exposición a largo plazo a benceno, resultó alta.

Estas diferencias no representan una inconsistencia metodológica, sino que reflejan distintas bases conceptuales y niveles de protección de los marcos de referencia utilizados, uno centrado en el control ocupacional y el otro en la estimación del riesgo a la salud. Este contraste resalta la importancia de integrar múltiples enfoques en la interpretación de la exposición a largo plazo a BTX, particularmente para compuestos con reconocido potencial carcinogénico y neurotóxico como el benceno.

CONCLUSIONES

La caracterización del puesto de trabajo permitió identificar de manera general los principales peligros en el ambiente laboral reconociendo la etapa de preparación de muestras dentro del flujo de procesos, como la etapa de mayor riesgo de exposición debido a la manipulación de sustancias químicas.

Esta investigación mostró la presencia de BTX en el laboratorio de hidrocarburos ubicado en la ciudad de Colón, presentando variaciones en las concentraciones según la zona de trabajo y las condiciones de ventilación.

La evaluación de la exposición a BTX, tanto a largo plazo como reciente, evidenció diferencias relevantes según el marco de referencia utilizado. El contraste entre la normativa nacional y estándares internacionales resalta diferencias en el nivel de protección, interpretaciones basadas únicamente en la normativa local puede subestimar el riesgo real. En este sentido, destaca la necesidad de integrar diversos enfoques a la hora de interpretar la exposición, sobre todo frente a compuestos como el benceno por su potencial efecto tóxico.

Se evidenció un desempeño disminuido del dominio motor (pruebas de fuerza de pinza y agarre) en los trabajadores expuestos en comparación con los trabajadores no expuestos. No se identificaron asociaciones estadísticamente significativas entre la exposición a BTX y el desempeño en las pruebas neuroconductuales. En consecuencia, la hipótesis de trabajo no pudo ser confirmada desde el punto de vista estadístico. No obstante, los resultados evidenciaron tendencias consistentes y una magnitud del efecto compatible con una asociación positiva, de intensidad moderada a fuerte, particularmente en el dominio motor en los trabajadores expuestos. Desde el punto de vista de la toxicología ocupacional, la perspectiva epidemiológica y de la salud ocupacional, estos hallazgos son biológicamente plausibles y compatibles con la presencia de efectos motores subclínicos asociados a exposición a largo plazo a bajas concentraciones de BTX, descritos en la literatura, y aportan evidencia relevante que debe interpretarse considerando las limitaciones inherentes al diseño del estudio.

CONTRIBUCIÓN DEL ESTUDIO Y RECOMENDACIONES

Desde la perspectiva de la toxicología ocupacional y de la salud ocupacional, los hallazgos del presente estudio, aún sin evidenciar asociaciones estadísticamente significativas concluyentes, sustentan la necesidad de implementar y fortalecer medidas preventivas orientadas al control de la exposición a largo plazo a COVs.

En el ámbito administrativo, se recomienda optimizar la organización de la jornada laboral y la distribución de tareas, así como establecer programas sistemáticos de monitoreo ambiental y de vigilancia médica rutinaria, con énfasis en la detección temprana de alteraciones no solo neuroconductuales, sino también de todas las sustancias químicas con potencial riesgo para la salud, sobre todo aquellas como el benceno, por su potencial riesgo carcinogénico. Por otra parte, se sugiere la necesidad de revisar y actualizar las normativas nacionales vigentes relacionadas con la exposición ocupacional, incorporando criterios actuales, así como lineamientos armonizados con estándares internacionales y orientados a la detección temprana de efectos subclínicos.

En relación con los controles de ingeniería, se sugiere la evaluación técnica y el mejoramiento continuo de los sistemas de ventilación, asegurando tasas adecuadas de renovación de aire y una adecuada distribución de flujos, como estrategia fundamental para la reducción de la exposición ocupacional.

Esta investigación representa un novedoso y valioso aporte, siendo uno de los primeros estudios en Panamá que aborda el tema de la toxicología ocupacional, al documentar la relación entre la exposición ocupacional a COVs y el desempeño neuroconductual en trabajadores de un laboratorio de hidrocarburos, un escenario poco explorado en América Latina y menos en este país. La aplicación de pruebas neuroconductuales estandarizadas y el análisis ambiental en diferentes zonas de trabajo permiten generar evidencia contextualizada que contribuye a la identificación temprana de riesgos para la salud. Estos hallazgos sirven como base para reforzar la necesidad de implementar y orientar a futuras investigaciones mediante diseños metodológicos más robustos con el fin de fortalecer la evaluación de riesgo y la inferencia causal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Conference of Governmental Industrial Hygienists. (2025). *TLVs and BEIs: Based on the documentation of the threshold limit values for chemical substances and physical agents & biological exposure indices*. ACGIH. Recuperado el 12 de abril de 2026.

Albiano, N. F. (2015). *Toxicología laboral: criterios para el monitoreo de la salud de los trabajadores expuestos a sustancias químicas peligrosas* (Vol. 4a. ed. ampliada). Buenos Aires: Superintendencia de Riesgos del Trabajo. Recuperado el 14 de junio de 2023.

Alves, L. P., Vieira, D. S., Nunes, L. S., Cruz, L. P., Reis, A. C., Gomes, Í. V. y Esteves, M. B. (2017). Relationship between symptoms, use of PPE and habits related to occupational exposure to BTEX compounds in workers of gas stations in Bahia, Brazil. *Journal of Environmental Protection*, 8(5), 650-661. Recuperado el 25 de noviembre de 2025.

Amo-Setién, F. J., Leal-Costa, C., Abajas-Bustillo, R., González-Lamuño, D., Redondo-Figuero, C. y EXERNET, R. G. (2020). Factors associated with grip strength among adolescents: An observational study. *Journal of hand therapy*, 33(1), 96-102. Recuperado el 20 de noviembre de 2025.

Arcuri ASA, C. D. (2012). *Efeitos da Exposição ao Benzeno para a Saúde-Série benzeno*. Recuperado el 5 de octubre de 2025.

ATSDR. (2009). Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Recuperado el 10 de septiembre de 2023, de <https://www.atsdr.cdc.gov/glossary.html#Chronic%20Exposure>

ATSDR. (mayo de 2016). Agencia para sustancias tóxicas y registro de enfermedades. Recuperado el 18 de junio de 2021, de https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts61.html

Barbosa, Í. A. y Boon, M. Y. (2011). Modificación del cuestionario de síntomas neurotóxicos (Q16). *Ciencia y Tecnología para la Salud Visual y Ocular*, 9(1), 19-37. Recuperado el 20 de septiembre de 2025.

Barra Arriagada, A. J. y Rivas Hernández, C. C. (2016). Frecuencia y características del hábito tabáquico en estudiantes de profesiones de la Universidad Católica de la Santísima Concepción que forman parte del programa de salud cardiovascular implementado por el sistema de salud de Chile. Concepción, Chile. Recuperado el 24 de junio de 2023.

Barreto, G. y et al. (2009). The Role of Catechols and Free Radicals in Benzene Toxicity: An Oxidative DNA Damage Pathway. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 771-780. Recuperado el 30 de agosto de 2022.

Bonita, R., Beaglehole, R. y Kjellström, T. (2006). *Epidemiología básica* (2ª ed.). Organización Mundial de la Salud. Recuperado el 10 de noviembre de 2025, de <https://iris.who.int/handle/10665/43541>.

Boogaard, P. J. y Sittert, N. J. (1995). Biological monitoring of exposure to benzene: a comparison between S-phenylmercapturic acid, trans, trans-muconic acid, and phenol. *Occupational and Environmental Medicine*, 611-620. Recuperado el 20 de octubre de 2020.

Boogaard, P. J. y Van Sittert, N. J. (1996). Suitability of S-Phenyl Mercapturic Acid and trans-trans-Muconic Acid as Biomarkers for Exposure to Low Concentrations of Benzene. *Environmental Health Perspectives*. Recuperado el 28 de agosto de 2022.

Bugarin, O. T., Ureña, B. S., Jaime, L. F., Romero, Soto, C. L. y Palomo, K. G. (2024). Toxicidad por la exposición al benceno: Toxicidad por benceno. *Ciencia y Frontera*. Recuperado el 20 de octubre de 2025.

Caja de Seguro Social. (2020). Resolución No.45,588-2011-J.D. Reglamento general de prevención de riesgos profesionales y de seguridad e higiene en el trabajo. Panamá. Recuperado el 27 de junio de 2023.

Çankaya, S., Pekey, H., Pekey, B. y Aydın, B. Ö. (2018). Volatile organic compound concentrations and their health risks in various workplace microenvironments. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 1-21. Recuperado el 15 de septiembre de 2023.

Castellar Anillo, M. S. (2007). Efectos crónicos neurocomportamentales en trabajadores del sector petrolero expuestos a solventes orgánicos aromáticos (benceno, tolueno y xileno- BTX). Colombia: Pontificia Universidad Javeriana. Recuperado el 14 de junio de 2023.

Chaiklieng, S., Suggaravetsiri, P., Kaminski, N. y Autrup, H. (2019). Factores que afectan la detección de ácido tt-mucónico en la orina entre los trabajadores expuestos al benceno

en las gasolineras. *Revista internacional de investigación ambiental y salud pública*, 16(21), 1-11. Recuperado el 15 de junio de 2023.

Chen, H., Cohen, P., & Chen, S. (2010). How big is a big odds ratio? Interpreting the magnitudes of odds ratios in epidemiological studies. *Psychological Methods*, 15(3), 286-301. Recuperado el 28 de diciembre de 2025.

Chouanière, D., P., W., Fontana, J., Héry, M., Fournier, M., Baudin, V. y Ardiot, M. (2002). Neurobehavioral disturbances arising from occupational toluene exposure. *Am J Ind Med*, Feb;41(2):77-88. Recuperado el 6 de junio de 2023.

Código de Trabajo. (Actualizado 2016). Decreto de Gabinete No. 252, de 30 de diciembre de 1971. Panamá: Ministerio de Trabajo y Desarrollo Social. Recuperado el 23 de junio de 2023.

Comisión Nacional de la Salud de los Trabajadores de Honduras. (s.f.). Convenios Sobre Seguridad y Salud en el Trabajo. Honduras.

Cowan, K. N., Werder, E. J., Lawrence, K. G., Kwok, R. K., Stewart, P. A., Stenzel, M. R. y Engel, L. S. (2025). Associations between airborne crude oil chemicals and neurological symptoms among workers in the gulf long-term follow-up study. *Science of the Total Environment*, 998, 180159. Recuperado el 10 de noviembre de 2025.

Cruz, L. P., Alve, L. P., Santos, A. V., Esteves, M. B., Gomes, Í. V. y Nunes, L. S. (2017). Assessment of BTEX concentrations in air ambient of gas stations using passive sampling and the health risks for workers. *Journal of Environmental Protection*, 8(1), 12-25. Recuperado el 25 de noviembre de 2025.

Ducos P., G. R. (1990). Mejora en el análisis HPLC del ácido trans, trans-mucónico urinario, un sustituto prometedor del fenol en la evaluación de la exposición al benceno. En t. Arco. ocupar Reinar. *Salud.*, 62 :529–534. Recuperado el 10 de junio de 2023.

Duke Hernández, V. (1998). Contaminantes Atmosféricos Causados por Vehículos con motor de combustión interna y su efecto en la calidad del Aire. Panamá. Recuperado el 10 de noviembre de 2022.

Enrique, S. C. y Sevilla Torrez, W. S. (2020). Relación entre la exposición a compuestos orgánicos volátiles (COVs) de la gasolina y el desempeño en pruebas de función nerviosa

en los trabajadores de las gasolineras de la ciudad de León y Chinandega, Nicaragua. Facultad de Ciencias Médicas. Nicaragua: Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León. Recuperado el 16 de junio de 2023.

Eom, Y. y Lee, S. H. (2025). Xylene Impairs Neuronal Development by Dysregulating Calcium Homeostasis and Neuronal Activity in Developing Hippocampal Neurons. *Biomolecules y Therapeutics*, 33(5), 830-841. Recuperado el 20 de octubre de 2025.

EPA. (2023). United States Environmental Protection Agency. Recuperado el 10 de septiembre de 2023, de <https://www.epa.gov/east-palestine-oh-train-derailment/whats-difference-between-short-term-and-long-term-chemical#>.

EPA. (2023). United States Environmental Protection Agency. Recuperado el 10 de septiembre de 2023, de <https://www.epa.gov/expobox/exposure-assessment-tools-routes-inhalation>.

Filley, C. M., Halliday, W. y Kleinschmidt-DeMasters, B. (2004). The Effects of Toluene on the Central Nervous System. *Journal of Neuropathology and Experimental Neurology*, 63(1), 1-12. Recuperado el 20 de octubre de 2025.

García Zarate, M. A. (2013). Estudio exploratorio para el manejo de riesgo en salud laboral por exposición a COVs en estaciones de servicio en la zona urbana de Ensenada Baja California. Ensenada, Baja California: Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California. Recuperado el 5 de agosto de 2023.

García, J., Florentino, D., Ali, B. N. y Coello, F. J. (2023). Enemigo silencioso de la salud: revisión de los efectos en la salud por exposición a benceno. *Journal of Microbiology y Health Education*, 5(3), 546-555. Recuperado el 20 de octubre de 2025.

Geraldino, B. N. (2020). Análisis de la exposición al benceno en trabajadores de gasolineras que utilizan ácido trans, trans-mucónico. *Revista internacional de investigación ambiental y salud pública*, 17 (15), 5295. Recuperado el 10 de septiembre de 2023.

Golbabaie, F., Dehghani, F., Saatchi, M. y Zakerian, S. A. (2018). Evaluation of occupational exposure to different levels of mixed organic solvents and cognitive function in the painting unit of an automotive industry. *Health Promot Perspect.*, 8(4), 296-302. doi:10.15171/hpp.2018.42.

He, Y., Qiu, H., Wang, W., Lin, Y. y Ho, K. F. (2024). Exposure to BTEX is associated with cardiovascular disease, dyslipidemia and leukocytosis in national US population. *Science of The Total Environment*, 919, 170639. Recuperado el 25 de noviembre de 2025.

Hidalgo, J., Fernández, M. G. y Simó, R. M. (2009). Diferentes metodologías para la evaluación de riesgos originados por compuestos orgánicos volátiles (VOCs) en ambientes laborales. *Seguridad y Medio Ambiente*, 20-36. Recuperado el 5 de agosto de 2023.

Inoue, O., Seiji, K., Nakatsuka, H., Watanabe, T., Yin, S., Li, G. e Ikeda, M. (1989). Ácido t,t-mucónico urinario como indicador de exposición al benceno. *Hermano J. Ind. Med*, 46 :122–127. Recuperado el 15 de mayo de 2022.

Instituto Nacional de Salud de Colombia. (2016). Protocolo de vigilancia en salud pública. Intoxicaciones por sustancias químicas. Colombia. Recuperado el 25 de junio de 2023.

Ivette, A. (1 de marzo de 2021). Economipedia. Recuperado el 24 de junio de 2023, de Economipedia: <https://economipedia.com/definiciones/antiguedad-laboral.html>.

Juárez Pérez, C. A., Aguilar Madrid, G., Sandoval Ocaña, J., Cabello López, A., Trujillo Reyes, O., Madrigal Esquivel, C. y Wesseling, C. (2019). Neuropsychological effects among workers exposed to organic solvents. *Salud Pública de México*, 61(5), 670-677. Recuperado el 5 de octubre de 2025.

Juárez-Pérez, C. A., Rodríguez-Jiménez, A., Martínez-Santiago, G., Mercado-Calderón, F. A., Trujillo-Reyes, O., Aguilar-Madrid, G. y Cabello-López, A. (2022). Neurotoxicidad en trabajadores petroquímicos con bajos índices de exposición a disolventes orgánicos. *Salud Pública de México*, 64(3), 290-298. Recuperado el 18 de agosto de 2023.

Khan, A., Kanwal, H., Bibi, S., Mushtaq, S., Khan, A., Khan, Y. H. y Mallhi, T. H. (2021). Volatile organic compounds and neurological disorders: from exposure to preventive interventions. In *Environmental contaminants and neurological disorders*. 201-230. Recuperado el 10 de noviembre de 2025.

Lavanya S., Ashwin K.N., Venugopal V., Santhanam R. y Johnson P. (2023). Effect of Volatile Organic Compounds on the Neurobehavioral Functions of Painters in Chennai, Tamilnadu: A Cross-Sectional Study. *Natl J Community*, 14(10), 658-665. Recuperado el 1 de diciembre de 2025.

Liu, B. y Jia, C. (2014). Effects of exposure to mixed volatile organic compounds on the neurobehavioral test performance in a cross-sectional study of US adults. *International Journal of Environmental Health Research*, 1-15. Recuperado el 5 de octubre de 2025.

Lundberg, I., Högberg, M., Michelsen, H., Nise, G. y Hogstedt, C. (1997). Evaluation of the Q16 questionnaire on neurotoxic symptoms and a review of its use. *Occupational and environmental medicine*, 54(5), 343-350. Recuperado el 20 de agosto de 2023.

McHale, C. et al. (2012). Current understanding of the mechanism of benzene-induced leukemia in humans: implications for risk assessment. *Carcinogenesis*, 240–252. Recuperado el 30 de agosto de 2022.

Martínez-Toledo, A. (2011). Producción de BTX en Mexico: Usos, Toxicología y Análisis. *Revista Académica de Investigación*. Recuperado el 20 de octubre de 2025.

Ministerio de Comercio e Industrias. (2001). Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 43-2001. Higiene y Seguridad Industrial. Panamá. Recuperado el 23 de mayo de 2022.

Ministerio de la Presidencia. (2003). Real Decreto 117/2003, sobre limitación de emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes en determinadas actividades. España. Recuperado el 20 de agosto de 2023.

Ministerio de Medio Ambiente. (2007). Guía de apoyo en la implantación del RD 117/2003 sobre limitación de emisiones de COV debidas al uso de disolventes en determinadas actividades. España. Recuperado el 29 de junio de 2023.

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2021). De compuestos orgánicos volátiles. Recuperado el 14 de junio de 2023, de https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/act-emis/compuestos_organicos_volatiles.aspx.

Monaharan, V., Sundaram, S. G. y Jason, J. I. (2015). Factors Affecting Hand Grip Strength and Its Evaluation: A Systemic Review. *Factors Affecting Hand Grip Strength and Its Evaluation: A Systemic Review. International Journal of Physiotherapy and Research*, 3(6), 1288-1293. Recuperado el 20 de noviembre de 2025.

OIT. (2024). Organización Internacional del Trabajo. Convenios y protocolos actualizados no ratificados por Panamá. Recuperado el 15 de noviembre de 2025, de

https://normlex.ilo.org/dyn/nrmlx_es/f?p=NORMLEXPUB:11210:0::NO::P11210_COUNT_RY_ID:102792.

OIT, O. I. (2011). Encyclopaedia of Occupational Health y Safety. Recuperado el 21 de agosto de 2023, de Encyclopaedia of Occupational Health y Safety: <https://www.iloencyclopaedia.org/es/part-iii-48230/ethical-issues/item/337-international-code-of-ethics-for-occupational-health-professionals>.

OPS/OMS. (2015). Plan de acción sobre la salud de los trabajadores. 2015-2025. Washington, D.C., EUA. Recuperado el 27 de junio de 2023.

Ortiz, C. y Sanchez, M. (2018). Caracterización de Intoxicaciones Ocupacionales Notificadas en Bogotá, 2008-2016. Tesis de grado. Bogotá, Colombia: Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. U.D.C.A. Recuperado el 09 de diciembre de 2020.

Otto, D. A., Hudnell, H. K., House, D. E., Mølhave, L. y Counts, W. (1992). Exposure of humans to a volatile organic mixture. I. Behavioral assessment. *Archives of Environmental Health: An International Journal*, 47(1), 23-30. Recuperado el 5 de octubre de 2025.

Passell, E., Strong, R. W., Rutter, L. A., Kim, H., Scheuer, L., Martini, P., Grinspoon, L., y Germine, L. (2021). Cognitive test scores vary with choice of personal digital device. *Behavior research methods*, 53(6), 2544–2557. Recuperado el 13 de abril de 2026.

Pérez Zamora, I., Ostrosky-Shejet, F. y López-Portillo, A. (2016). Alteraciones cognitivas por exposición a disolventes industriales en trabajadores mexicanos. *Archivos en Medicina Familiar*, 18(2), 31-40. Recuperado el 16 de junio de 2023.

Pinto Sánchez, J. B., Prado-León, L., León-Cortés, S., González-Baltazar, R. y Preciado-Serrano, M. D. (2017). Trabajadores de la industria petrolera (Ecuador) y síntomas en el sistema nervioso por exposición a diferentes niveles de solventes. *Salud Jalisco*, 4(1), 26-31. Recuperado el 16 de junio de 2023.

Pothisiri, W., Prasitsiripon, O. y Saikia, N. A. (2021). Education and grip strength among older Thai adults: A mediation analysis on health-related behaviors. *SSM Popul Health*. Recuperado el 20 de noviembre de 2025.

Rim, D. y Novoselac, A. (2010). Ventilation effectiveness as an indicator of occupant exposure to particles from indoor sources. *Building and Environment*, 45(5), 1214-1224.

Ritchie, G. D., Still, K. R., Alexander, W. K., Nordholm, A. F., Wilson, C. L., III, J. R. y Mattie, D. R. (2001). A review of the neurotoxicity risk of selected hydrocarbon fuels. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 223-312. Recuperado el 30 de agosto de 2022.

Rodezno, R., Lundberg, I. y Escalona, E. (1995). Development of a questionnaire in Spanish on neurotoxic symptoms. *American journal of industrial medicine*, 28(4), 505-520. Recuperado el 20 de agosto de 2023.

Rothman, K. J. (2021). The origin of Modern Epidemiology, the book. *European Journal of Epidemiology*, 36(8), 763-765. Recuperado el 10 de noviembre de 2025.

Rubiano Hernández, C. M. (2013). Un plan de gestión para la prevención y control de la contaminación del aire por BTX (Benceno, Tolueno, Xileno) en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (Doctoral dissertation). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, Medellín, Colombia. Recuperado el 26 de octubre de 2025.

Sánchez Pinto, B., León, L. P., Cortés, S. L. y Baltazar, R. G. (2014). Trabajadores expuestos a solventes y Daños a la Salud: Una Revisión Sistemática. *Revista Colombiana de Salud Ocupacional*, 4(4), 25-29. Recuperado el 14 de junio de 2023.

Sánchez, B., Prado, L., León, S. y González, R. (2014). Trabajadores expuestos a solventes y daños a la salud: una revisión sistemática. *Revista Colombiana de Salud Ocupacional*, 4(4), 25-29. Recuperado el 15 de noviembre de 2025.

Sánchez, P. B., Prado, L. L., León, C. S., González, B. R. y Preciado, S. M. (2017). Trabajadores de la industria petrolera (Ecuador) y síntomas en el sistema nervioso por exposición a diferentes niveles de solventes. *Revista Salud Jalisco*, 26–31. Recuperado el 30 de agosto de 2022.

Scherer, G., Renner, T. y Meger, M. (1998). Analysis and evaluation of trans, trans-muconic acid as a biomarker for benzene exposure. *Journal of chromatography. B, Biomedical sciences and applications*, 717(1-2), 179–199. Recuperado el 3 de diciembre de 2020.

Snyder, R., Witz, G. y Goldstein, B. D. (1993). The Toxicology of Benzene. *Environmental Health Perspectives*. Recuperado el 10 de septiembre de 2020.

Soni, V., Singh, P., Shree, V., y Goel, V. (2018). Effects of VOCs on Human Health. *Air Pollution and Control. Energy, Environment, and Sustainability*, 119–142. Recuperado el 21 de agosto de 2023.

Tsai, S.-Y., Chen, J. D., Chao, W. Y. y Wang, J. D. (1997). Neurobehavioral Effects of Occupational Exposure to Low-Level Organic Solvents among Taiwanese Workers in Paint Factories. *Environmental Research*, 73, 146–155. Recuperado el 16 de junio de 2023.

Tunsaringkarn, T., Ketkaew, P., Siriwong, W., Rungsiyothin, A. y Zapuang, K. (2012). Benzene Exposure and Its Association with Sickness Exhibited in Gasoline Station Workers. *International Journal of Environmental Pollution and Solutions*, 1-8. Recuperado el 29 de agosto de 2022.

Unsal, S. y Sanlier, N. (2025). Longitudinal Effects of Lifetime Caffeine Consumption on Levels of Depression, Anxiety, and Stress: A Comprehensive Review. *Curr Nutr Rep.*, 14(1):26.

van Wendel de Joode, B., Mergler, D., Wesseling, C., Henao, S., Amador, R. y Castillo, L. (2000). *Manual de Pruebas Neuroconductuales*. San José Costa Rica. Recuperado el 16 de junio de 2023.

VM, W., T., B. y J.D., G. (2000). alta de especificidad del ácido trans, trans-mucónico como biomarcador de benceno después de la ingestión de alimentos conservados en ácido sórbico. *Epidemiología del cáncer*, 9 :749–755. Recuperado el 6 de mayo de 2023.

ANEXOS

ANEXO 1

Tablas suplementarias y figuras

Tabla suplementaria 1

Prueba de distribución normal Shapiro Wilk.

	Estadístico	gl	Sig.
Edad en años	.943	32	.089
Peso en kg	.969	32	.464
*TRSV promedio en milisegundos	.887	32	.003
Fuerza palmar promedio mano derecha	.983	31	.894
Fuerza palmar promedio mano izquierda	.952	31	.174
Fuerza lateral promedio mano derecha	.931	31	.048
Fuerza lateral promedio mano izquierda	.976	31	.694
Fuerza de llave promedio mano derecha	.938	31	.074
Fuerza de llave promedio mano izquierda	.942	31	.092
Fuerza de agarre promedio mano derecha	.955	31	.216
Fuerza de agarre promedio mano izquierda	.941	31	.089
**CDI a benceno	.710	32	.000
**CDI a tolueno	.710	32	.000
**CDI a xileno	.710	32	.000

*Nota: **exposición inhalatoria diaria crónica promedio*

Tabla suplementaria 2

Relación entre la exposición a largo plazo a BTX y el desempeño en las pruebas neuroconductuales de los trabajadores de los laboratorios químicos de Colón y Albroom.

Prueba	Grupo	Desempeño	Desempeño	OR	IC95%	p
		disminuido n (%)	adecuado n (%)			
TRSV	TrLC	7 (53.8)	6 (46.2)	0.31	0.07 - 1.47	.244
	TrLA	15 (78.9)	4 (21.1)			

Prueba	Grupo	Desempeño disminuido n (%)	Desempeño adecuado n (%)	OR	IC95%	p
Fuerza en mano dominante						
Pinza palmar	TrLC	8 (66.7)	4 (33.3)	1.46	0.32 – 6.56	.717
	TrLA	11 (57.9)	8 (42.1)			
Pinza lateral	TrLC	5 (41.7)	7 (58.3)	1.22	0.28 – 5.37	1.000
	TrLA	7 (36.8)	12 (63.2)			
Pinza de llave	TrLC	9 (75.0)	3 (25.0)	0.80	0.15 - 4.42	1.000
	TrLA	15 (78.9)	4 (21.1)			
Agarre	TrLC	4 (33.3)	8 (66.7)	1.88	0.37 – 9.57	.676
	TrLA	4 (21.1)	15 (78.9)			
Fuerza mano no dominante						
Pinza palmar	TrLC	9 (75.0)	3 (25.0)	3.33	0.68 – 16.30	.158
	TrLA	10 (52.6)	9 (47.4)			
Pinza lateral	TrLC	10 (83.3)	2 (16.7)	5.56	0.95 – 32.50	.065
	TrLA	10 (52.6)	9 (47.4)			
Pinza de llave	TrLC	9 (75.0)	3 (25.0)	1.75	0.35 – 8.71	.697
	TrLA	12 (63.2)	7 (36.8)			
Agarre	TrLC	5 (41.7)	7 (58.3)	1.55	0.35 – 6.94	.705
	TrLA	6 (31.6)	13 (68.4)			
Prueba de dígitos	TrLC	4 (30.8)	9 (69.2)	0.49	0.11 – 2.18	.471
	TrLA	9 (47.4)	10 (52.6)			

Presencia de síntomas neuropsicológicos y neuropsiquiátricos						
Prueba	Grupo	Positivos n (%)	Negativos n (%)	OR	IC 95%	p
Cuestionario Q-16	TrLC	6 (46.2)	7 (53.8)	0.77	0.19 – 3.17	1.000
	TrLA	10 (52.6)	9 (47.4)			
Cognitivo	TrLC	4 (30.8)	9 (69.2)	0.61	0.14 – 2.71	.713
	TrLA	8 (42.1)	11 (57.9)			
Neuroconductual	TrLC	3 (23.1)	10 (76.9)	0.84	0.16 – 4.35	1.000
	TrLA	5 (26.3)	14 (73.7)			
Motor	TrLC	0 (0.0)	13 (100)	0.00	0	.064
	TrLA	5 (15.6)	14 (73.7)			

Tabla suplementaria 3

Relación entre la exposición reciente a BTX y el desempeño en las pruebas neuroconductuales de los trabajadores de los laboratorios químicos de Colón y Albroom.

Prueba	Grupo	Desempeño	Desempeño	OR	IC95%	p
		disminuido	adecuado			
		n (%)	n (%)			
TRSV	TrLC	7 (53.8)	6 (46.2)	0.31	0.07 - 1.47	.244
	TrLA	15 (78.9)	4 (21.1)			
Fuerza en mano dominante						
Pinza palmar	TrLC	8 (66.7)	4 (33.3)	1.46	0.32 – 6.56	.717
	TrLA	11 (57.9)	8 (42.1)			
Pinza lateral	TrLC	5 (41.7)	7 (58.3)	1.22	0.28 – 5.37	1.000
	TrLA	7 (36.8)	12 (63.2)			

Prueba	Grupo	Desempeño disminuido n (%)	Desempeño adecuado n (%)	OR	IC95%	p
Pinza de llave	TrLC	9 (75.0)	3 (25.0)	0.80	0.15 - 4.42	1.000
	TrLA	15 (78.9)	4 (21.1)			
Agarre	TrLC	4 (33.3)	8 (66.7)	1.88	0.37 – 9.57	.676
	TrLA	4 (21.1)	15 (78.9)			
Fuerza mano no dominante						
Pinza palmar	TrLC	9 (75.0)	3 (25.0)	3.33	0.68 – 16.30	.158
	TrLA	10 (52.6)	9 (47.4)			
Pinza lateral	TrLC	10 (83.3)	2 (16.7)	5.56	0.95 – 32.50	.065
	TrLA	10 (52.6)	9 (47.4)			
Pinza de llave	TrLC	9 (75.0)	3 (25.0)	1.75	0.35 – 8.71	.697
	TrLA	12 (63.2)	7 (36.8)			
Agarre	TrLC	5 (41.7)	7 (58.3)	1.55	0.35 – 6.94	.705
	TrLA	6 (31.6)	13 (68.4)			
Prueba de dígitos	TrLC	4 (30.8)	9 (69.2)	0.49	0.11 – 2.18	.471
	TrLA	9 (47.4)	10 (52.6)			
Presencia de síntomas neuropsicológicos y neuropsiquiátricos						
Prueba	Grupo	Positivos n (%)	Negativos n (%)	OR	IC 95%	p
Cuestionario Q-16	TrLC	6 (46.2)	7 (53.8)	0.77	0.19 – 3.17	1.000
	TrLA	10 (52.6)	9 (47.4)			

Presencia de síntomas neuropsicológicos y neuropsiquiátricos						
Prueba	Grupo	Positivos n (%)	Negativos n (%)	OR	IC 95%	p
Cognitivo	TrLC	4 (30.8)	9 (69.2)	0.61	0.14 – 2.71	.713
	TrLA	8 (42.1)	11 (57.9)			
Neuroconductual	TrLC	3 (23.1)	10 (76.9)	0.84	0.16 – 4.35	1.000
	TrLA	5 (26.3)	14 (73.7)			
Motor	TrLC	0 (0.0)	13 (100)	0.00	0	.064
	TrLA	5 (15.6)	14 (73.7)			

Tabla suplementaria 4

Regresión logística binaria nivel univariado para variables confusoras sobre los efectos neuroconductuales.

Variables	OR	IC 95%	p
TRSV			
Sexo (Femenino)	2.19	0.46 – 10.34	.324
Edad en años	1.01	0.91 – 1.12	.914
Escolaridad	0.40	0.38 – 4.25	.449
Consumo de café (Sí)	0.31	0.03 – 3.25	.329
Consumo de alcohol (Sí)	3.34	0.65 – 17.20	.150
Consumo de energizantes (Sí)	0.88	0.06 – 12.85	.925
Antecedente de hipertensión arterial	1.06	0.08 – 13.329	.965
Antigüedad laboral	1.04	0.89 – 1.22	.628
Horas trabajadas al día	0.72	0.47 – 1.10	.130
Días trabajados al año	1.00	0.97 - 1.02	.825
Fuerzas de pinzas mano dominante			
Pinza palmar			
Escolaridad	0.43	0.06 – 30.9	.401

Variables	OR	IC 95%	p
Consumo de café (Sí)	1.13	0.19 – 6.70	.896
Consumo de alcohol (Sí)	0.40	0.08 – 1.93	.256
Antecedente de hipotiroidismo	0.63	0.04 – 11.16	.749
Antigüedad laboral	1.10	0.92 – 1.32	.314
Horas trabajadas al día	1.31	0.84 – 2.05	.228
Días trabajados al año	0.99	0.97 – 1.02	.405

Pinza lateral

Escolaridad	0.43	0.09 – 1.96	.273
Consumo de café (Sí)	1.07	1.18 – 6.25	.937
Consumo de alcohol (Sí)	2.08	0.48 – 9.06	.330
Consumo de energizantes	0.57	0.04 – 7.75	.675
Antigüedad laboral	1.04	0.88 – 1.22	.645
Horas trabajadas al día	0.88	0.55 – 1.43	.615
Días trabajados al año	0.97	0.94 – 1.00	.089

Agarre

Escolaridad	1.84	0.28 – 11.90	.523
Consumo de café (Sí)	0.44	0.07 – 2.74	.377
Consumo de alcohol (Sí)	2.30	0.44 – 11.97	.321
Consumo de energizantes (Sí)	1.39	0.10 – 19.73	.808
Antecedente de hipotiroidismo	2.25	0.13 – 40.66	.583
Antigüedad laboral	1.01	0.86 – 1.20	.894
Horas trabajadas al día	1.00	0.65 – 1.54	.998
Días trabajados al año	0.99	0.96 – 1.02	.514

Fuerzas de pinza mano no dominante

Pinza palmar

Consumo de café (Sí)	0.81	0.12 – 5.28	.823
Consumo de alcohol (Sí)	1.10	0.24 – 4.98	.912
Consumo de energizantes (Sí)	0.98	0.07 – 13.02	.990
Antecedente de hipertensión arterial	0.44	0.03 – 8.03	.583

Variables	OR	IC 95%	p
Antecedente de hipotiroidismo	0.44	0.03 – 8.03	.583
Antigüedad laboral	1.02	0.86 – 1.21	.834
Horas trabajadas al día	1.53	0.93 – 2.50	.092
Días trabajados al año	0.99	0.96 – 1.02	.471

Lateral

Escolaridad	0.43	0.06 – 3.09	.401
Consumo de café (Sí)	1.41	0.24 – 8.40	.704
Consumo de alcohol (Sí)	0.47	0.10 – 2.16	.332
Consumo de energizantes (Sí)	1.15	0.08 – 15.78	.915
Antecedente de hipertensión arterial	0.44	0.25 – 8.03	.583
Antigüedad laboral	1.00	0.85 – 1.19	.964
Horas trabajadas al día	1.51	0.93 – 2.45	.095
Días trabajados al año	0.98	0.95 – 1.01	.229

Llave

Consumo de café (Sí)	1.81	0.30 – 10.77	.516
Consumo de alcohol (Sí)	0.63	0.13 – 2.94	.553
Consumo de energizantes (Sí)	0.87	0.06 – 11.84	.918
Antecedente de hipotiroidismo	0.53	0.03 – 9.50	.666
Años de trabajar	1.06	0.86 – 1.27	.574
Horas trabajadas al día	1.59	0.95 – 2.65	.077
Días trabajados al año	1.01	0.97 – 1.04	.717

Agarre

Escolaridad	1.33	0.35 – 5.05	.671
Consumo de café (Sí)	0.39	0.06 – 2.37	.306
Consumo de alcohol (Sí)	2.76	0.59 – 12.95	.199
Consumo de energizantes (Sí)	0.83	0.06 – 11.57	.886
Antecedente de hipotiroidismo	1.36	0.08 – 24.27	.833
Años de trabajar	1.04	0.89 – 1.21	.625
Horas trabajadas al día	1.02	0.68 – 1.52	.938

Días trabajados al año	0.99	0.97 – 1.02	.520
------------------------	------	-------------	------

Nota: se observaron ORs iguales a cero o al infinito debido a frecuencias nulas y al número reducido de participantes, por lo que no son interpretables ni representan asociaciones reales. TRSV (ansiedad y depresión e hipotiroidismo); pinza palmar mano dominante (consumo de energizantes, hipertensión arterial ansiedad y depresión e hipotiroidismo); pinza lateral mano dominante (hipertensión arterial, ansiedad y depresión e hipotiroidismo); pinza de agarre mano dominante (hipertensión arterial, ansiedad y depresión), pinza palmar mano no dominante (escolaridad, ansiedad y depresión); pinza lateral mano no dominante (ansiedad y depresión e hipotiroidismo); pinza de llave mano no dominante (escolaridad, hipertensión arterial, ansiedad y depresión) y pinza de agarre mano no dominante (hipertensión arterial, ansiedad y depresión).

Tabla suplementaria 5

Relación entre el nivel de exposición a BTX y el desempeño en la fuerza de pinzas y agarre, mano dominante, de los trabajadores del laboratorio de Colón.

Nivel de exposición	Fuerza de pinza	Desempeño disminuido (n)	Desempeño adecuado (n)	OR	IC 95 %	p
Alto	Palmar	4	0	Ind*	Ind*	.279
Bajo		4	4	0.0	Ind*	.279
Alto	Lateral	1	3	0.33	0.02 – 4.73	.576
Bajo		4	4	3.0	0.21 – 42.62	.576
Alto	Agarre	1	3	0.56	0.04 – 8.09	1.000
Bajo		3	5	1.8	0.12 – 26.20	1.000

Nota: * indefinido.

Tabla suplementaria 6

Relación entre el nivel de exposición a BTX y el desempeño en la fuerza de pinzas y agarre, mano no dominante, de los trabajadores del laboratorio de Colón.

Nivel de exposición	Fuerza de pinza	Desempeño disminuido n	Desempeño adecuado n	OR	IC 95 %	p
Alto	Palmar	4	0	Ind*	Ind*	.479
Bajo		5	3	0.0	Ind	.479
Alto	Lateral	4	0	Ind*	Ind*	.784
Bajo		6	2	0.0	Ind*	.784
Alto	Llave	4	0	Ind*	Ind*	.479
Bajo		5	3	0.0	Ind*	.479
Alta	Agarre	1	3	0.33	0.02 – 4.74	.576
Baja		4	4	3.0	0.21 – 42.63	.836

Nota: * indefinido.

Tabla suplementaria 7

Nivel de exposición a largo plazo a BTX a partir de la mediana de la ADD de los trabajadores expuestos y no expuestos.

Variables	Expuestos (n = 13)		No expuestos (n = 19)	
	n	%	n	%
Exposición a benceno				
Sin exposición	0	0	19	100.0
Baja exposición	7	53.2	0	0
Alta exposición	6	46.2	0	0

Variables	Expuestos (n = 13)		No expuestos (n = 19)	
	n	%	n	%
Exposición a tolueno				
Sin exposición	0	0	19	100
Baja exposición	7	53.2	0	0
Alta exposición	6	46.2	0	0
Exposición a xileno				
Sin exposición	0	0	19	100
Baja exposición	7	53.2	0	0
Alta exposición	6	46.2	0	0

Nota: benceno (mediana: 0.061 mg/kg·día, mín: 0.03 mg/kg·día; máx: 0.09 mg/kg·día), tolueno (mediana: 0.55 mg/kg·día, mín: 0.29 mg/kg·día; máx: 0.84 mg/kg·día), xileno (mediana: 0.61 mg/kg·día, mín: 0.31 mg/kg·día; máx: 0.93 mg/kg·día).

Tabla Suplementaria 8

Comparación de la CDI de BTX con valores de referencia nacional e internacional de exposición ponderada en el tiempo, y la estimación del nivel de exposición a largo plazo en los trabajadores del laboratorio de Colón.

Compuesto	CDI mediana (mg/m³)	CPT ppm (mg/m³)	TLV-TWA ppm (mg/m³)	Nivel de exposición según Panamá	Nivel de exposición según ACGIH
Benceno	0.33	1 (3.2)	0.02 (0.064)	Bajo	Alto
Tolueno	2.77	50 (188.4)	20 (75.4)	Bajo	Bajo
Xilenos	3.05	100 (434.2)	20 (86.84)	Bajo	Bajo

Nota: CPT: reglamento técnico DGNTI – COPANIT 43 -2001, TLV-TWA: ACGIH, 2025. El nivel de exposición según el promedio de las concentraciones de BTX.

Tabla Suplementaria 9

Índice de riesgo (IR) de BTX según los valores de referencia nacional e internacional de exposición ponderada en el tiempo en diferentes zonas de muestreo y estimación del nivel de exposición reciente en el laboratorio de Colón.

Compuesto	IR Zona 1 CPT (ACGIH)	IR Zona 2 CPT (ACGIH)	IR Zona 3 CPT (ACGIH)	IR promedio CPT (ACGIH)	Nivel de exposición según Panamá	Nivel de exposición según ACGIH
Benceno	0.71 (35.31)	0 (0)	0.38 (18.91)	0.36 (18.07)	Media-baja	Alta-muy alta
Tolueno	0.07 (0.18)	0.07 (0.17)	0.03 (0.07)	0.06 (0.14)	Media-baja	Media-baja
Xilenos	0.003 (0.01)	0.06 (0.29)	0.02 (0.10)	0.03 (0.13)	Media-baja	Media-baja

Nota: Zona 1: mayor ventilación, zona 2: menor ventilación y zona 3: central. $IR \leq 0.9$ = exposición media-baja, $IR > 0.9$ = exposición alta- muy alta.

Tabla Suplementaria 10

Evaluación de los peligros identificados en los laboratorios según las etapas del flujo de procesos y matriz de riesgo.

Tipo de peligro	Ejemplo	Etapas	S	P	R	Nivel de riesgo
Químico	Ácidos, solventes (tolueno, hexano)	Preparación	4	4	16	Crítico
Físico	Temperatura, equipos, ruido, vibraciones, contacto eléctrico	Análisis	3	3	9	Moderado
Ergonómico	Pipeteo, postura estática, postura forzada del cuello	Preparación / análisis	2	4	8	Moderado
Seguridad	Derrames, contacto químico	Todas	4	3	12	Alto

Tipo de peligro	Ejemplo	Etapas	S	P	R	Nivel de riesgo
Ambiental	Vapores / COVs	Preparación	5	4	20	Crítico

Nota: Severidad (S): 1 = leve, 2 = moderado, 3 = grave, 4 = muy grave, 5 = crítico (muerte/carcinógeno severo). Probabilidad (P) (sin control): 1 = rara, 2 = baja, 3 = posible, 4 = alta, 5 = muy alta. Riesgo (R = S×P): 1–5 =bajo, 6–10= moderado, 11–15 alto, 16–25 crítico.

Tabla Suplementaria 11

Identificación de peligros y evaluación de riesgos de las sustancias químicas del laboratorio de Colón.

Sustancia	Grupo químico	CAS	GHS	Efectos a la salud	P	S	R	Nivel
Isoctano	Alcano	540-84-1	Peligro por aspiración Cat. 1; Toxicidad específica (única) Cat. 3	Depresión SNC, neumonía química	4	3	12	ALTO Narcótico Altamente inflamable
2-Propanol	Alcohol	67-63-0	Irritación ocular Cat. 2; Toxicidad específica (única) Cat. 3	Irritación ocular, mareo	3	4	12	ALTO Depresor del Sistema nervioso central.
Acetona	Cetona	67-64-1	Irritación ocular Cat. 2; Toxicidad específica	Mareo, somnolencia	5	3	15	ALTO Baja toxicidad, pero alta volatilidad

Sustancia	Grupo químico	CAS	GHS	Efectos a la salud	P	S	R	Nivel
			(única) Cat. 3					
Ácido clorhídrico	Ácido inorgánico fuerte	7647-01-0	Corrosión cutánea Cat. 1; toxicidad específica por exposición única Cat. 3 (irritación respiratoria)	Quemaduras severas, lesión ocular grave, irritación intensa de vías respiratorias	4	4	16	CRÍTICO Corrosión respiratoria
Ácido nítrico	Ácido inorgánico fuerte oxidante	7697-37-2	Corrosión cutánea Cat. 1; toxicidad específica por exposición única Cat. 3 (irritación respiratoria)	Quemadura, edema pulmonar, irritación respiratoria intensa	3	5	15	ALTO Quemaduras + inhalación de vapores
Ácido sulfúrico	Ácido inorgánico fuerte	7664-93-9	Corrosión cutánea Cat. 1A; carcinogenicidad Cat. 1A solo para nieblas de	Quemaduras graves; las nieblas se asocian a cáncer por inhalación	4	5	20	CRÍTICO Corrosivo severo

Sustancia	Grupo químico	CAS	GHS	Efectos a la salud	P	S	R	Nivel
				ácido sulfúrico				
Ácido tartárico	Ácido orgánico	87-69-4	Irritación ocular Cat. 2	Irritación leve	2	2	4	BAJO Baja toxicidad
Benzina de petróleo*	Hidrocarburo	—	Peligro por aspiración Cat. 1; Toxicidad específica (única) Cat. 3	Neurotoxicidad	4	4	16	CRÍTICO Neurotóxico Riesgo de aspiración
Bromo	Halógeno	7726-95-6	Toxicidad aguda Cat. 3; Corrosión cutánea Cat. 1	Daño pulmonar severo	4	5	20	CRÍTICO Altamente tóxico por vía inhalatoria
Ciclohexano	Cicloalcano	110-82-7	Toxicidad específica (única) Cat. 3; Peligro por aspiración Cat. 1	Mareo	3	4	12	ALTO Narcótico
Cloruro de sodio	Sal inorgánica	7647-14-5	No clasificado	Irritación leve por polvo; alta ingesta altera	1	1	1	BAJO

Sustancia	Grupo químico	CAS	GHS	Efectos a la salud	P	S	R	Nivel
				balance hidroelectro lítico				
Diclorometano	Halogenado	75-09-2	Carcinogenicidad Cat. 2; Toxicidad específica (repetida) Cat. 2	Neurotoxicidad	5	4	20	CRÍTICO Carcinógeno
Dicromato de potasio	Cromo hexavalente	7778-50-9	Carcinogenicidad Cat. 1A; mutagenicidad Cat. 1B; toxicidad reproductiva Cat. 1B; sensibilización cutánea Cat. 1; toxicidad aguda; toxicidad a órganos; corrosivo/irritante según vía	Cancerígeno potente, sensibilizante, nefrotoxicidad, ulceración, daño respiratorio	3	5	15	ALTO Carcinógeno (Cr VI)

Sustancia	Grupo químico	CAS	GHS	Efectos a la salud	P	S	R	Nivel
Éter de petróleo*	Hidrocarburos	—	Peligro por aspiración Cat. 1	Neumonía química	3	5	15	ALTO Muy volátil
Fenolftaleína	Indicador orgánico	77-09-8	Carcinogenicidad Cat. 2	Sospecha de carcinogenicidad; irritación posible por polvo	2	3	6	MODERADO Potencial carcinógeno.
Tetraborato de litio	Sal	12007-60-2	Irritación ocular Cat. 2	Irritación leve	2	3	6	MODERADO Irritante
Glicerina	Alcohol	56-81-5	No clasificado	Baja toxicidad	2	1	2	BAJO
Heptano	Alcano	142-82-5	Toxicidad específica (única) Cat. 3; Peligro por aspiración Cat. 1	Mareo	4	4	16	CRÍTICO Depresión del sistema nervioso central
Hexano	Alcano	110-54-3	Peligro por aspiración Cat. 1; toxicidad específica por exposición repetida	Neurotoxicidad periférica, mareo, somnolencia, neumonía	4	4	16	CRÍTICO Neuropatía periférica

Sustancia	Grupo químico	CAS	GHS	Efectos a la salud	P	S	R	Nivel
			Cat. 2; toxicidad específica por exposición única Cat. 3	química por aspiración				
Hidrógeno ftalato de potasio	Sal ácida orgánica	877-24-7	Irritación ocular Cat. 2	Irritación ocular, irritación leve de mucosas	1	2	2	BAJO
Hidróxido de potasio	Base fuerte	1310-58-3	Corrosión cutánea Cat. 1	Quemaduras graves	4	5	20	CRÍTICO Quemadura e inhalación de vapores
Hidróxido de sodio	Base fuerte	1310-73-2	Corrosión cutánea Cat. 1A	Quemaduras graves, necrosis tisular, lesión ocular severa	4	5	20	CRÍTICO Quemadura e inhalación de vapores
Isoamil alcohol	Alcohol	123-51-3	Irritación ocular Cat. 2; Toxicidad específica (única) Cat. 3	Cefalea	3	3	9	MODERADO Irritante

Sustancia	Grupo químico	CAS	GHS	Efectos a la salud	P	S	R	Nivel
Metil isobutil cetona	Cetona	108-10-1	Irritación ocular Cat. 2; Toxicidad específica (única) Cat. 3	Mareo	3	4	12	ALTO Neurotoxicidad leve
Metanol	Alcohol	67-56-1	Toxicidad aguda Cat. 3; Toxicidad específica (única) Cat. 1	Ceguera	5	4	20	CRÍTICO Ceguera, acidosis
Molibdato de amonio	Sal	12054-85-2	Irritación ocular Cat. 2	Irritación leve	2	3	6	MODERADO Efectos irritativos
N- Hexadecano	Alcano	544-76-3	No clasificado	Baja toxicidad	2	2	4	BAJO
n-Pentano	Alcano	109-66-0	Toxicidad específica (única) Cat. 3; Peligro por aspiración Cat. 1	Mareo	5	4	20	CRÍTICO Extremadamente volátil
Nitrato de plata	Sal inorgánica oxidante	7761-88-8	Toxicidad aguda Cat. 4; corrosión cutánea	Quemaduras, lesión ocular grave,	3	4	12	MODERADO Argiria, corrosivo

Sustancia	Grupo químico	CAS	GHS	Efectos a la salud	P	S	R	Nivel
			Cat. 1B / lesión ocular grave; puede causar daño tisular local	argiria con exposición prolongada				
Óxido de zinc	Óxido metálico	1314-13-2	Toxicidad específica (única) Cat. 3 (inhalación)	Fiebre de humos	3	2	6	MODERADO Fiebre de humos metálicos
p-naftol	Fenol	135-19-3	Toxicidad aguda Cat. 4	Irritación	3	4	12	MODERADO Tóxico dérmico
Sulfato de hidrazina	Hidrazina	10034-93-2	Carcinogenicidad Cat. 1B; Toxicidad aguda Cat. 3	Hepatotoxicidad	3	5	15	ALTO Carcinógeno, hepatotóxico
Tolueno	Aromático	108-88-3	Toxicidad específica (repetida) Cat. 2; Toxicidad reproductiva Cat. 2	Neurotoxicidad	4	4	16	CRÍTICO Neurotoxicidad

Sustancia	Grupo químico	CAS	GHS	Efectos a la salud	P	S	R	Nivel
Tricloroetileno	Halogenado	79-01-6	Carcinogenicidad Cat. 1B; Toxicidad específica (repetida) Cat. 1	Daño hepático/re nal	3	5	15	ALTO Carcinógeno probable
Xilenos	Aromático	1330-20-7	Toxicidad específica (única) Cat. 3	Depresión SNC	4	4	16	CRÍTICO Efectos en sistema nervioso central

Nota: Severidad (S): 1 = leve, 2 = moderado, 3 = grave, 4 = muy grave, 5 = crítico (muerte/carcinógeno severo). Probabilidad (P) (sin control): 1 = rara, 2 = baja, 3 = posible, 4 = alta, 5 = muy alta. Riesgo (R = S×P): 1–5 =bajo, 6–10= moderado, 11–15 alto, 16–25 crítico.

Tabla Suplementaria 12

Identificación de peligros y evaluación de riesgos de las sustancias químicas del laboratorio de Albrook.

Sustancia	Grupo químico	CAS	GHS	Efectos a la salud	P	S	R	Nivel
Ácido clorhídrico	Ácido inorgánico fuerte	7647-01-0	Corrosión cutánea Cat. 1; toxicidad específica por exposición única Cat. 3 (irritación respiratoria)	Quemaduras severas, lesión ocular grave, irritación intensa de vías	4	4	16.	CRÍTICO Corrosión respiratoria

Sustancia	Grupo químico	CAS	GHS	Efectos a la salud	P	S	R	Nivel
				respiratorias				
Ácido nítrico	Ácido inorgánico fuerte oxidante	7697-37-2	Corrosión cutánea Cat. 1; toxicidad específica por exposición única Cat. 3 (irritación respiratoria)	Quemaduras, edema pulmonar, irritación respiratoria intensa	3	5	15	ALTO Quemaduras + inhalación de vapores
Ácido acético glacial	Ácido carboxílico	64-19-7	Corrosión cutánea Cat. 1A	Quemaduras severas, lesión ocular grave, irritación respiratoria por vapores	3	3	9	MODERADO
Ácido sulfúrico	Ácido inorgánico fuerte	7664-93-9	Corrosión cutánea Cat. 1A; carcinogenicidad Cat. 1A solo para nieblas de ácido sulfúrico	Quemaduras graves; las nieblas se asocian a cáncer por inhalación	4	5	20	Crítico
L-ácido glutámico	Aminoácido	56-86-0	No clasificado	Baja toxicidad; posible irritación mecánica leve	1	1	1	BAJO

Sustancia	Grupo químico	CAS	GHS	Efectos a la salud	P	S	R	Nivel
D-glucosa monohidrato	Carbohidrato	5996-10-1	No clasificado	Baja toxicidad; irritación mecánica leve por polvo	1	1	1	BAJO
N-(1-naftil) etilendiamina diclorhidrato	Amina aromática salificada	1465-25-4	Irritación cutánea Cat. 2; irritación ocular Cat. 2; toxicidad específica por exposición única Cat. 3 (irritación respiratoria)	Irrita piel, ojos y vías respiratorias	3	3	9	MODERADO
Glicerol	Alcohol polihídrico	56-81-5	No clasificado	Baja toxicidad; niebla puede irritar vías respiratorias	2	1	2	BAJO
Hidróxido de sodio	Base fuerte	1310-73-2	Corrosión cutánea Cat. 1A	Quemaduras graves, necrosis tisular, lesión ocular severa	4	5	20	CRÍTICO Quemadura e inhalación de vapores
Fenolftaleína	Indicador orgánico	77-09-8	Carcinogenicidad Cat. 2	Sospecha de carcinogenicidad; irritación	2	3	6	MODERADO Potencial carcinógeno.

Sustancia	Grupo químico	CAS	GHS	Efectos a la salud	P	S	R	Nivel
				posible por polvo				
Azul de bromofenol	Colorante indicador	115-39-9	Sin clasificación GHS armonizada fácilmente verificable en esta revisión rápida; revisar SDS del fabricante	Irritación leve posible por contacto con polvo	2	1	2	BAJO
Azul de metileno	Colorante tiazínico	61-73-4	Sin clasificación GHS armonizada clara en la revisión rápida; algunos SDS lo tratan como irritante o nocivo leve	Irritación ocular o cutánea leve; malestar gastrointestinal si se ingiere	2	2	4	BAJO
Negro de eriocromo	Colorante azoico	1787-61-7	Sin clasificación GHS armonizada clara en la revisión rápida	Irritación leve posible; evitar inhalación del polvo	2	2	4	BAJO Posible efecto crónico
Naranja de metilo	Colorante azoico	547-58-0	Sin clasificación GHS armonizada clara en la	Irritación leve posible	2	2	4	BAJO Azoico

Sustancia	Grupo químico	CAS	GHS	Efectos a la salud	P	S	R	Nivel
			revisión rápida					
Peróxido de hidrógeno	Peróxido inorgánico	7722-84-1	Depende de concentración; en soluciones concentradas : corrosión cutánea Cat. 1, lesión ocular grave, toxicidad aguda e irritación respiratoria	Irritación o quemaduras, lesión ocular severa, irritación respiratoria	4	3	12	ALTO Oxidante fuerte
Acetato de sodio trihidratado	Sal orgánica	6131-90-4	No clasificado	Baja toxicidad; posible irritación leve	2	1	2	BAJO Irritante leve
Cloruro de calcio dihidratado	Sal inorgánica	10035-04-8	Irritación ocular Cat. 2	Irritación ocular, posible irritación cutánea leve	2	1	2	BAJO Irritante
Dihidrogeno fosfato de potasio	Sal inorgánica buffer	7778-77-0	Generalmente no clasificado	Baja toxicidad; irritación leve por polvo	2	1	2	BAJO Irritante
Titriplex	Aminopolicarboxilato / agente quelante	6381-92-6	Lesión ocular grave Cat. 1 o irritación ocular relevante	Irritación importante ocular; molestias gastrointestinales	2	1	2	BAJO Irritante

Sustancia	Grupo químico	CAS	GHS	Efectos a la salud	P	S	R	Nivel
			según SDS; sin clasificación armonizada única fácilmente visible en esta revisión	stinales si se ingiere				
Dicromato de potasio	Cromo hexavalente	7778-50-9	Carcinogenicidad Cat. 1A; mutagenicidad Cat. 1B; toxicidad reproductiva Cat. 1B; sensibilización cutánea Cat. 1; toxicidad aguda; toxicidad a órganos; corrosivo/irritante según vía	Cancerígeno potente, sensibilizante, nefrotoxicidad, ulceración, daño respiratorio	3	5	15	ALTO Carcinógeno (Cr VI)
Acetato de zinc dihidratado	Sal metálica	5970-45-6	Nocivo si se ingiere Cat. 4; lesión ocular grave Cat. 1 o irritación ocular significativa según SDS comerciales	Irritación severa ocular, malestar gastrointestinal	2	1	2	BAJO Irritante

Sustancia	Grupo químico	CAS	GHS	Efectos a la salud	P	S	R	Nivel
Hidrogenoftalato de potasio	Sal ácida orgánica	877-24-7	Irritación ocular Cat. 2	Irritación ocular, irritación leve de mucosas	2	1	2	BAJO Irritante
Nitrato de plata	Sal inorgánica oxidante	7761-88-8	Toxicidad aguda Cat. 4; corrosión cutánea Cat. 1B / lesión ocular grave; puede causar daño tisular local	Quemaduras, lesión ocular grave, argiria con exposición prolongada	3	4	12	ALTO Argiria, corrosivo
Sílica gel anaranjado con indicador	Mezcla desecante	Mezcla	No tiene una sola clasificación universal; depende del indicador. Algunos productos históricos con indicador de cobalto tenían clasificación mucho más severa	Irritación por polvo; revisar SDS exacta del producto	2	2	4	BAJO Efectos respiratorios
Sulfato de amonio	Sal inorgánica	7783-20-2	Generalmente no clasificado o irritación leve según SDS	Irritación leve ocular o respiratoria por polvo	2	1	2	BAJO

Sustancia	Grupo químico	CAS	GHS	Efectos a la salud	P S R	Nivel
Sulfato de magnesio	Sal inorgánica	7487-88-9	No clasificado	Baja toxicidad	2 1 2	BAJO
Sulfato de sodio anhidro	Sal inorgánica	7757-82-6	No clasificado	Baja toxicidad; irritación mecánica leve	2 1 2	BAJO
Nitrato de sodio	Sal inorgánica oxidante	7631-99-4	Normalmente sin clasificación relevante de salud en uso analítico; puede irritar	Irritación leve; riesgo principal no es sanitario sino comburente	2 3 6	MODERADO
Nitrato de potasio	Sal inorgánica oxidante	7757-79-1	Generalmente no clasificado para salud o solo irritación leve en SDS	Irritación leve	2 3 6	MODERADO
Carbonato de calcio	Sal inorgánica	471-34-1	No clasificado	Baja toxicidad; polvo irritante mecánico	2 1 2	BAJO
Carbonato de sodio	Sal inorgánica alcalina	497-19-8	Irritación ocular Cat. 2	Irritación ocular, irritación de mucosas	2 3 4	BAJO
Cromato de potasio	Cromo hexavalente	7789-00-6	Carcinogenicidad Cat. 1B/1A;	Cancerígeno, sensibiliza	4 3 12	ALTO

Sustancia	Grupo químico	CAS	GHS	Efectos a la salud	P	S	R	Nivel
			mutagenicidad Cat. 1B; toxicidad reproductiva Cat. 1B; sensibilización cutánea Cat. 1; toxicidad aguda	nte, daño renal y respiratorio				Carcinógeno cromógeno VI
Sulfanilamida	Sulfonamida aromática	63-74-1	En algunos SDS de laboratorio: no clasificado	Baja toxicidad relativa; irritación leve posible	2	2	4	MODERADO
Dihidrogeno fosfato de sodio monohidratado	Sal inorgánica buffer	10049-21-5	Generalmente no clasificado	Baja toxicidad; irritación leve por polvo	2	1	2	BAJO
Cloruro de magnesio hexahidratado	Sal inorgánica	7791-18-6	Generalmente no clasificado o irritación leve	Irritación leve ocular o respiratoria por polvo	2	1	2	BAJO
Cloruro de potasio	Sal inorgánica	7447-40-7	No clasificado	Baja toxicidad; altas dosis alteran equilibrio electrolítico	2	1	2	BAJO

Sustancia	Grupo químico	CAS	GHS	Efectos a la salud	P	S	R	Nivel
Cloruro de sodio	Sal inorgánica	7647-14-5	No clasificado	Irritación leve por polvo; alta ingesta altera balance hidroelectrolítico	2	1	2	BAJO
“Cloruro de hierro heptahidratado”	Sal metálica	—	Nombre inconsistente : no coincide con el hidrato comercial más habitual; necesito el nombre exacto del frasco para clasificarlo sin inventar	No lo clasifico sin confirmar si es cloruro ferroso, férrico y su grado de hidratación	2	2	4	BAJO
“Cloruro de estaño dihidratado”	Sal metálica	10025-69-1 si es cloruro estañoso dihidratado	Nocivo si se ingiere Cat. 4; lesión ocular grave / irritante importante según SDS	Irritación importante, malestar gastrointestinal	2	3	6	MODERADO
Cloruro de amonio	Sal inorgánica	12125-02-9	Toxicidad aguda oral Cat. 4; irritación ocular Cat. 2	Irritación ocular y respiratoria; náuseas si se ingiere	2	2	4	MODERADO

Sustancia	Grupo químico	CAS	GHS	Efectos a la salud	P	S	R	Nivel
“Dihidrogeno-fosfato de dipotasio anhidro”	Sal fosfato	7758-11-4 si te refieres a hidrogeno fosfato dipotásico	Generalment e no clasificado	Baja toxicidad; irritación leve por polvo	2	1	2	BAJO
Heptamolibdato de amonio	Sal inorgánica compleja	12054-85-2	Irritación ocular Cat. 2 o no clasificado según grado/SDS	Irritación leve; a exposiciones altas puede causar molestias digestivas	2	2	4	MODERADO
Sulfito de sodio	Sal inorgánica reductora	7757-83-7	Irritación ocular Cat. 2 en varios SDS	Irritación ocular; puede desencadenar broncoespasmo en personas sensibles a sulfitos	2	2	4	MODERADO
Hexano	Alcano	110-54-3	Peligro por aspiración Cat. 1; toxicidad específica por exposición repetida Cat. 2; toxicidad específica por exposición única Cat. 3	Neurotoxicidad periférica, mareo, somnolencia, neumonía química por aspiración	3	4	12	ALTO

Sustancia	Grupo químico	CAS	GHS	Efectos a la salud	P	S	R	Nivel
Cloroformo	Halogenado	67-66-3	Carcinogenicidad Cat. 2; toxicidad aguda Cat. 4; toxicidad a órganos por exposición repetida Cat. 1 o 2 según sistema/SDS	Depresión del SNC, hepatotoxicidad, nefrotoxicidad, sospecha de cáncer	3	4	12	ALTO

Nota: Severidad (S): 1 = leve, 2 = moderado, 3 = grave, 4 = muy grave, 5 = crítico (muerte/carcinógeno severo). Probabilidad (P) (sin control): 1 = rara, 2 = baja, 3 = posible, 4 = alta, 5 = muy alta. Riesgo (R = S×P): 1–5 =bajo, 6–10= moderado, 11–15 alto, 16–25 crítico.

Las evaluaciones de riesgo se realizaron con base en criterios de severidad y probabilidad utilizando información toxicológica de NIOSH, ATSDR y ECHA, y límites de exposición de ACGIH, bajo un enfoque de gestión de riesgos alineado con ISO 31000 e INSST.

INSST. *Guía técnica para la evaluación y prevención del riesgo químico.*

ISO 31000: Risk Management Guidelines.

Tabla Suplementaria 13

Resumen de las normativas nacionales de salud y seguridad ocupacional.

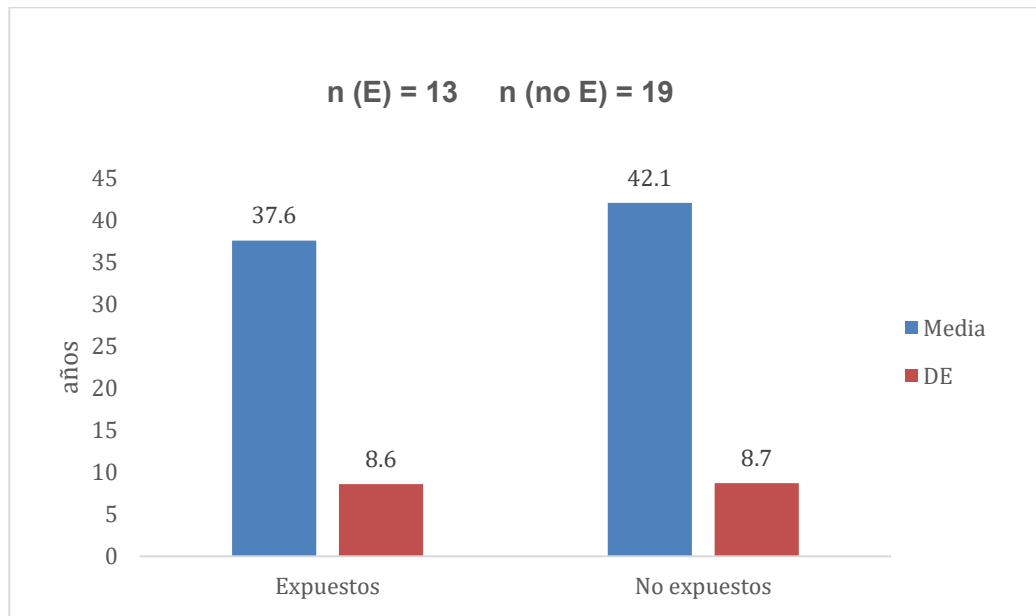
Norma / Instrumento	Año	Entidad	Contenido principal	Aplicación en el estudio
Decreto de Gabinete N.º68 (versión actualizada, 2025)	1970	CSS	Establece el régimen obligatorio de riesgos profesionales en Panamá	Base legal del sistema de protección frente a riesgos laborales
Resolución N.º45,588-2011-J.D.	2011	CSS	Reglamento general de prevención de riesgos profesionales y de seguridad e	Marco normativo para control de riesgos y exposición laboral

Norma / Instrumento	Año	Entidad	Contenido principal	Aplicación en el estudio
			higiene en el trabajo	
Resolución N.º793 (Industria de la Construcción)	1977	CSS	Establece medidas de seguridad para trabajadores de la construcción	Referencia de regulación sectorial en SST
Reglamento técnico DGNTI-COPANIT 43-2001	2001	Dirección General de Normas y Tecnología Industrial / Comisión Panameña de Normas Industriales y Técnicas	Límites permisibles de exposición a sustancias químicas en ambientes de trabajo	Base para evaluación de COVs
Reglamento técnico DGNTI-COPANIT 44-2000	2000	Dirección General de Normas y Tecnología Industrial / Comisión Panameña de Normas Industriales y Técnicas	Condiciones de exposición a ruido ocupacional	Integración del componente físico
Reglamento técnico DGNTI-COPANIT 45-2000	2000	Dirección General de Normas y Tecnología Industrial / Comisión Panameña de Normas Industriales y Técnicas	Condiciones de exposición a vibraciones	Evaluación de riesgos físicos complementarios
RT DGNTI-COPANIT 81-2009	2009	Dirección General de Normas y Tecnología Industrial / Comisión Panameña de Normas Industriales y Técnicas	Sistemas de protección contra caídas	Referencia general en seguridad industrial

Norma / Instrumento	Año	Entidad	Contenido principal	Aplicación en el estudio
Decreto Ejecutivo N.º8	2023	Ministerio de Trabajo y Desarrollo Laboral	Crea el Consejo Nacional de Salud y Seguridad en el Trabajo	Articulación de políticas públicas en SST
Programa de Salud Ocupacional	—	Ministerio de Salud	Rectoría sanitaria, vigilancia y normativa en salud ocupacional	Sustento del enfoque de salud pública
Sistema de normalización técnica	—	Ministerio de Comercio e Industrias	Desarrollo de normas técnicas a través de DGNTI y COPANIT	Base técnica para regulación de riesgos

Figura 2

Distribución de la edad promedio según el grupo de exposición a BTX.



Nota: DE: desviación estándar.

Figura 3

Distribución del peso corporal según el grupo de exposición a BTX.

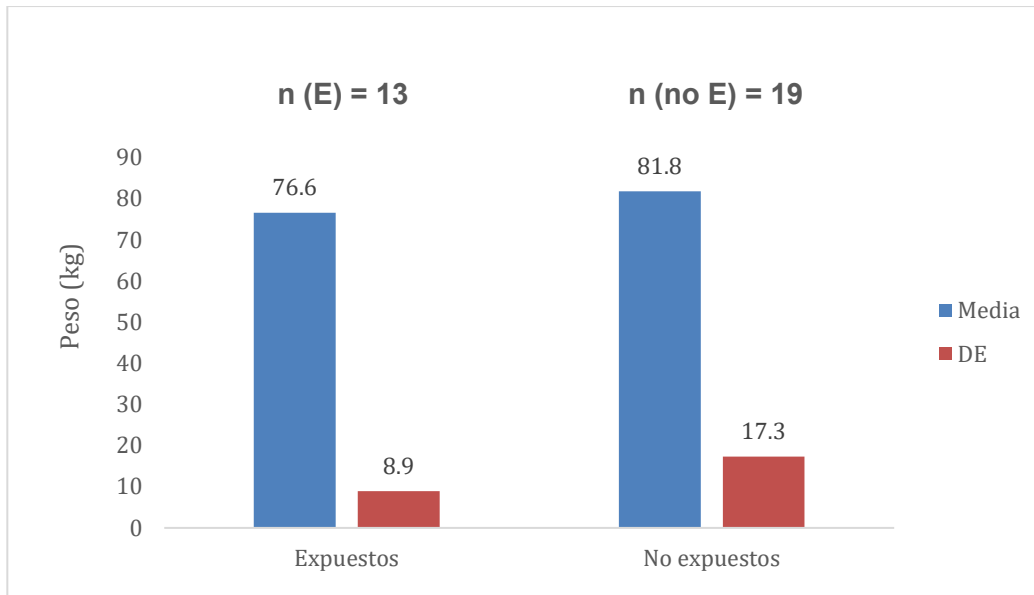


Figura 4

Frecuencia de distribución del sexo según el grupo de exposición a BTX.

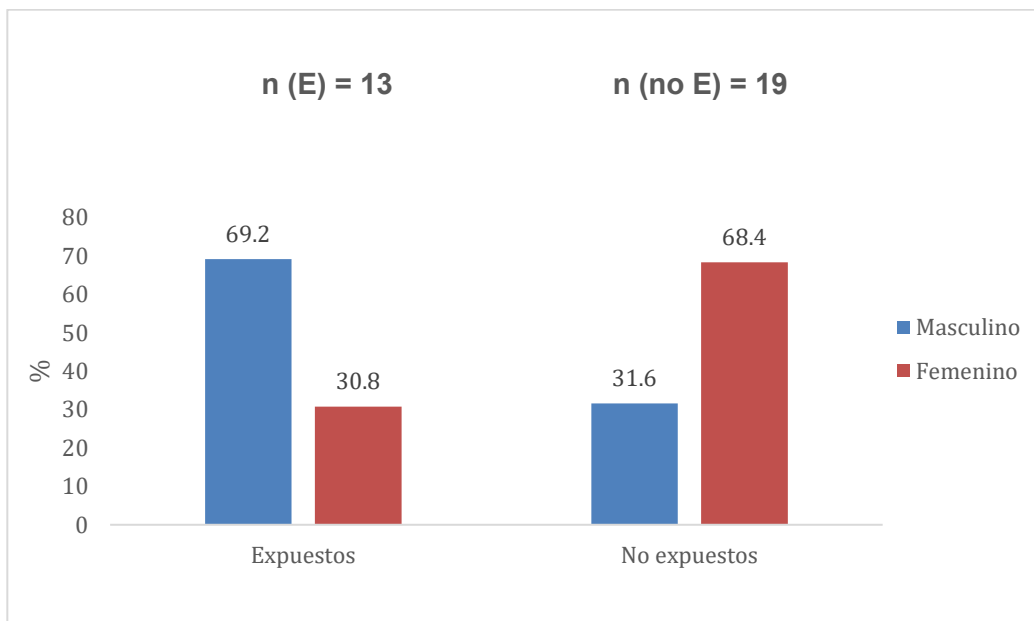


Figura 5

Distribución de la escolaridad según el grupo de exposición a BTX.

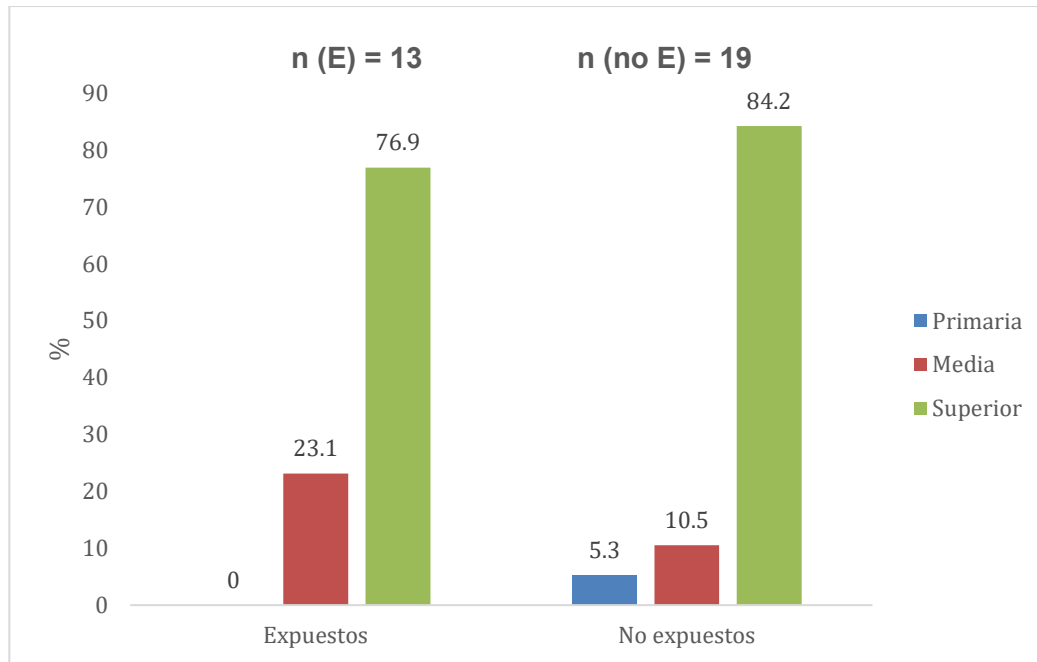


Figura 6

Distribución de la ocupación o cargo según el grupo de exposición a BTX.

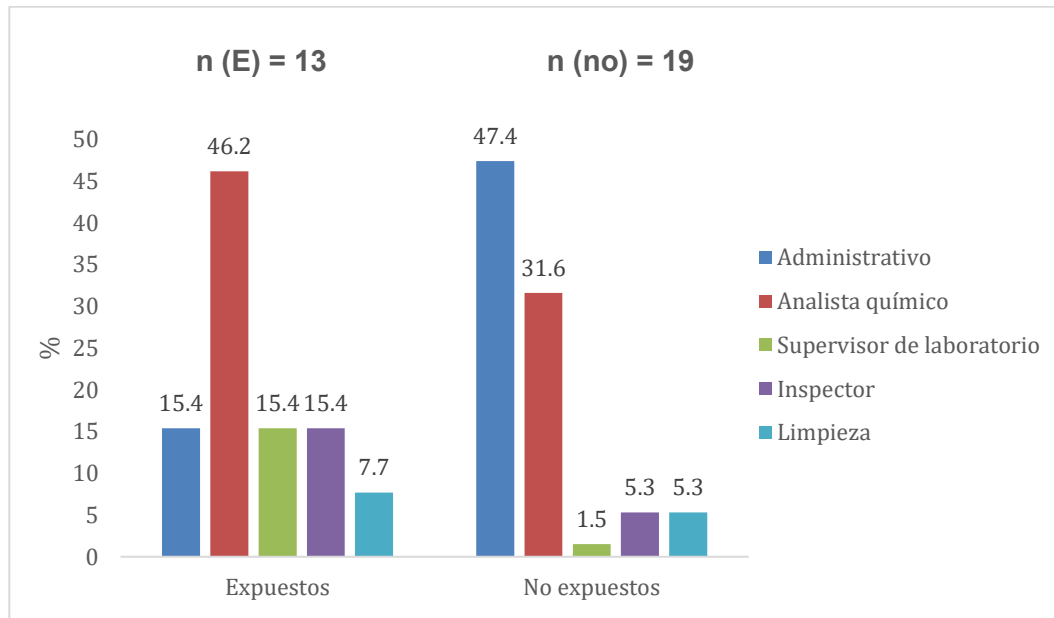


Figura 7

Tiempo de descanso dentro de la jornada laboral según el grupo de exposición a BTX.

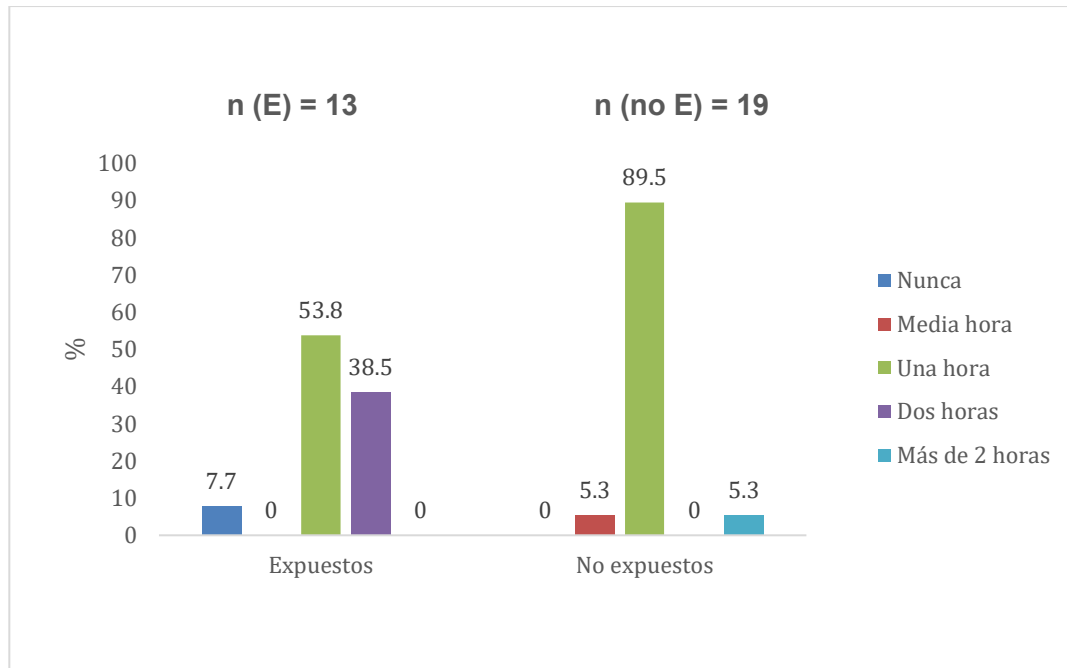


Figura 8

Uso de equipo de protección personal según el grupo de exposición a BTX.

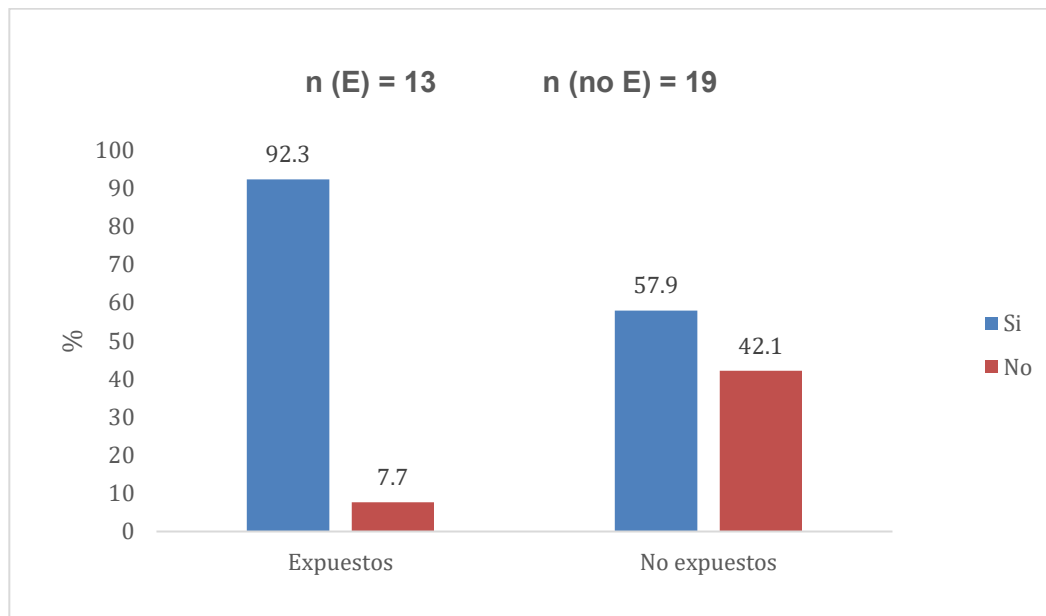


Figura 9

Capacitación en higiene, seguridad y protección personal según el grupo de exposición a BTX.

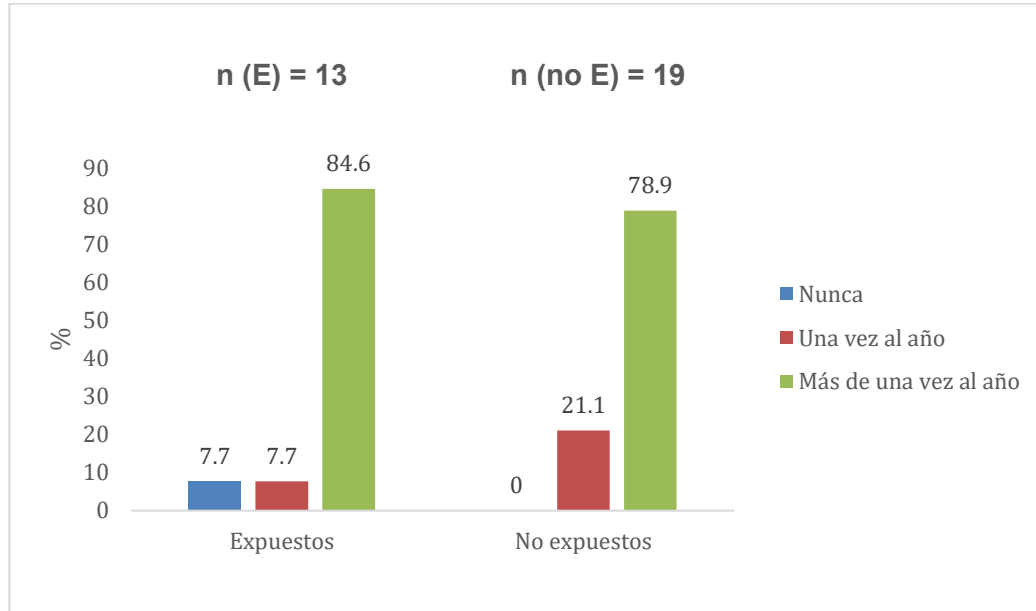


Figura 10

Control de salud por parte de la empresa según grupo de exposición a BTX.

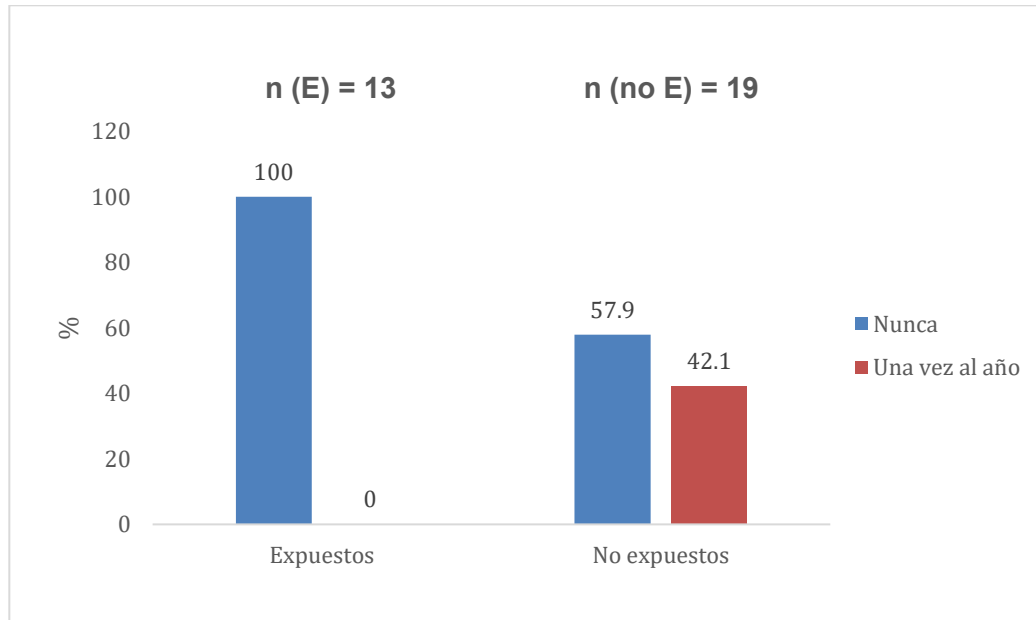


Figura 11

Consumo de sustancias psicoactivas según grupo de exposición a BTX.

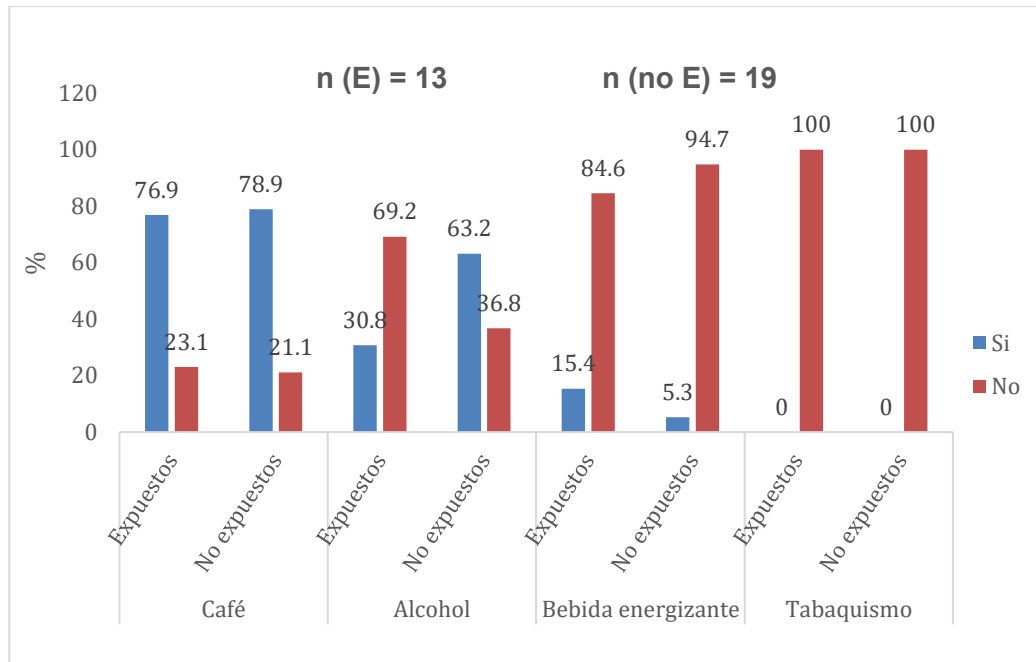
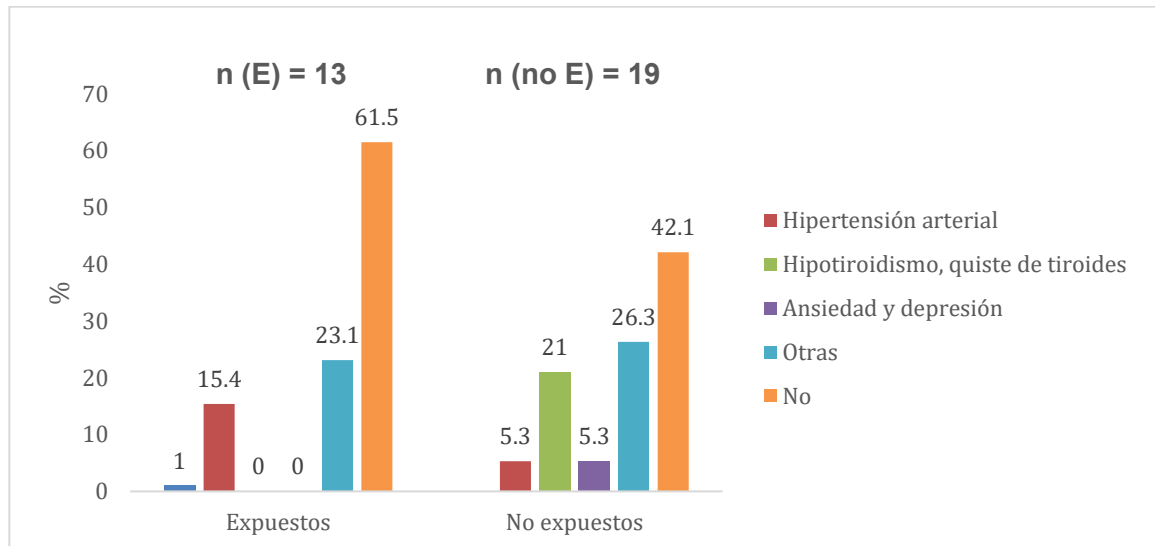


Figura 12

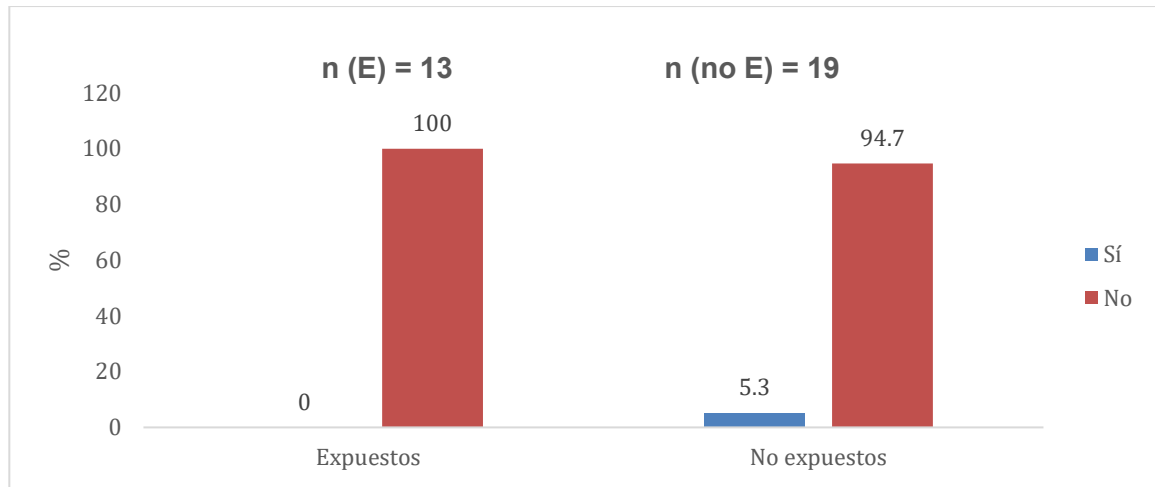
Frecuencia de antecedentes patológicos según grupo de exposición a BTX.



Nota: otras enfermedades reportadas: dermatitis atópica, endometriosis, fibroma uterino, herpes tipo 2, malaria, quiste de mamá, miopía, astigmatismo, litiasis renal, asma y rinitis.

Figura 13

Frecuencia de uso de medicamentos psicoactivos según el grupo de exposición a BTX



Nota: solo un participante manifestó usar fluoxetina y clonazepam.

Figura 14

Nivel de exposición a largo plazo en el grupo expuesto a BTX.

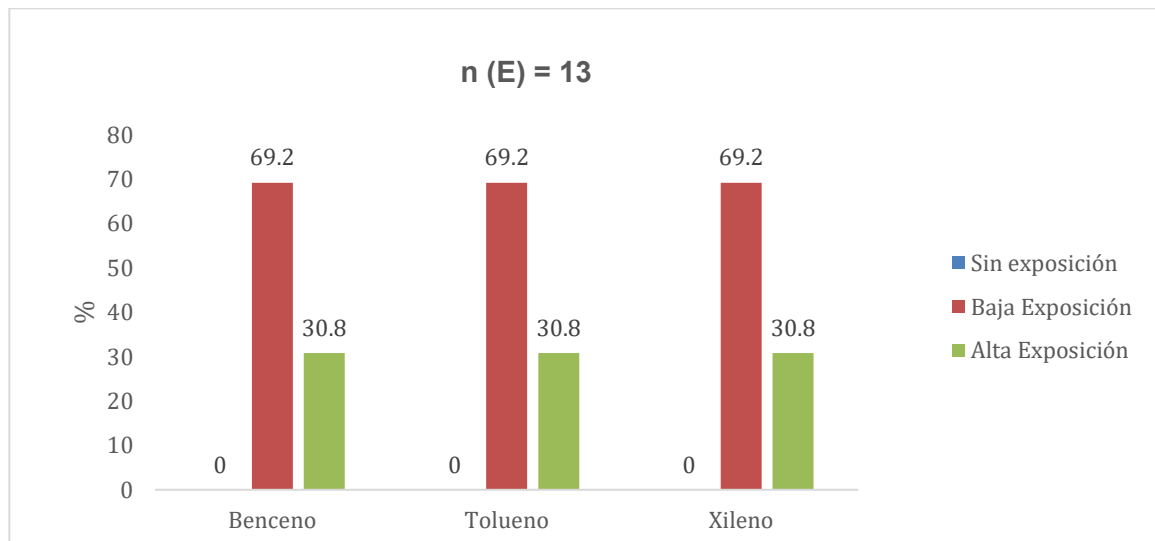
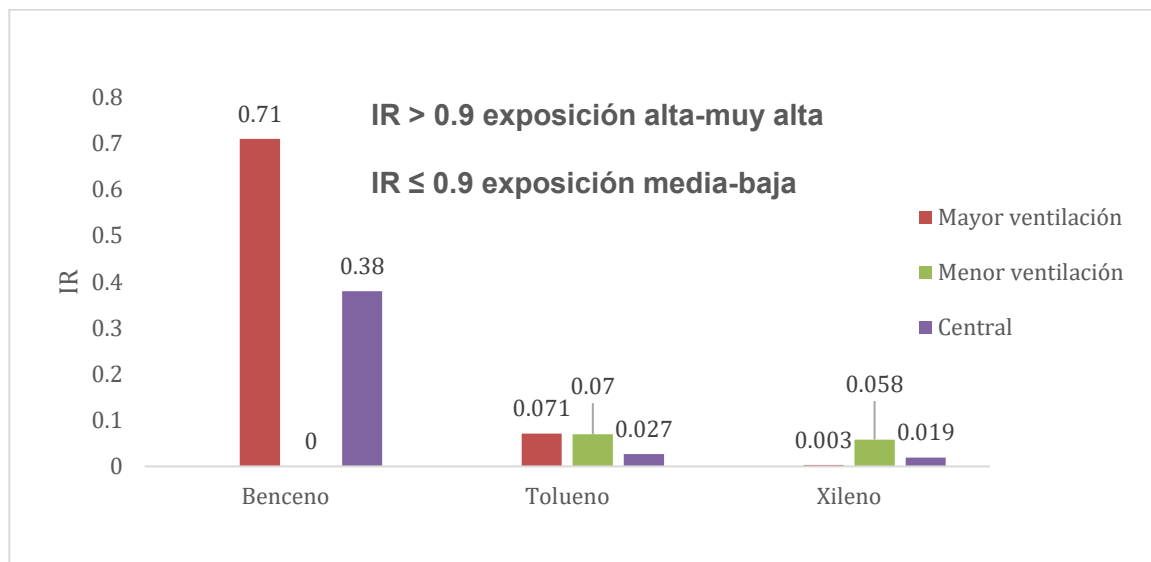


Figura 15

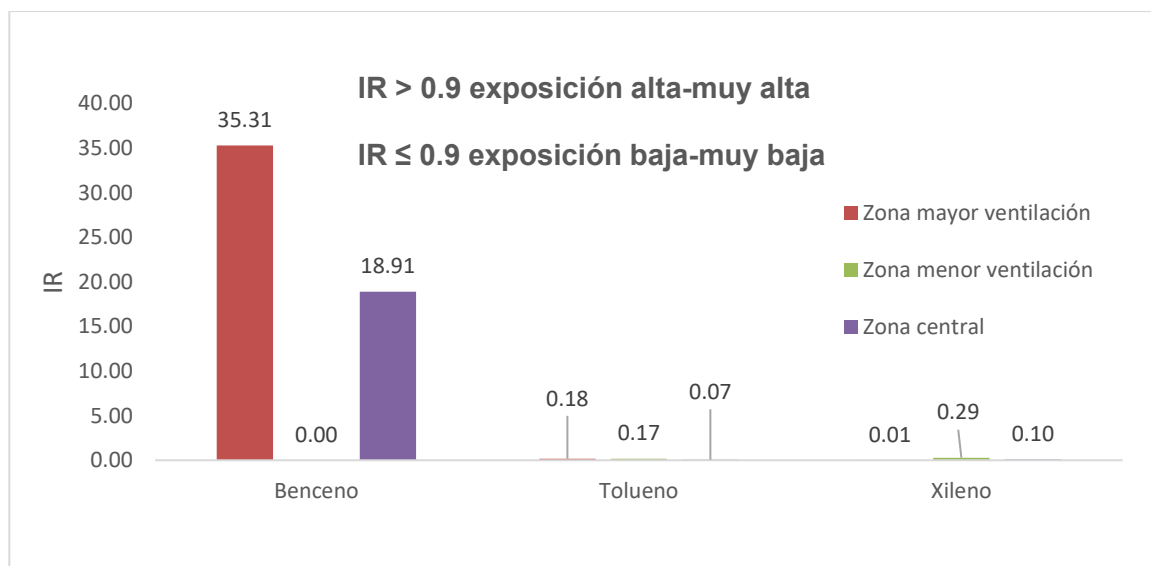
Índice de riesgo (IR) según los valores nacionales de referencia vigentes para la exposición reciente a BTX en diferentes zonas del laboratorio químico.



Nota: IR calculado a partir de los valores establecidos para Panamá (el Reglamento técnico DGNTI – COPANIT 43 -2001).

Figura 16

Índice de riesgo (IR) según valores internacionales de referencia para la exposición reciente a BTX en diferentes zonas del laboratorio químico.



Nota: IR calculado a partir de los valores establecidos para ACGIH, 2025.

Figura 17

Distribución del desempeño del TRSV según el grupo de exposición a BTX.

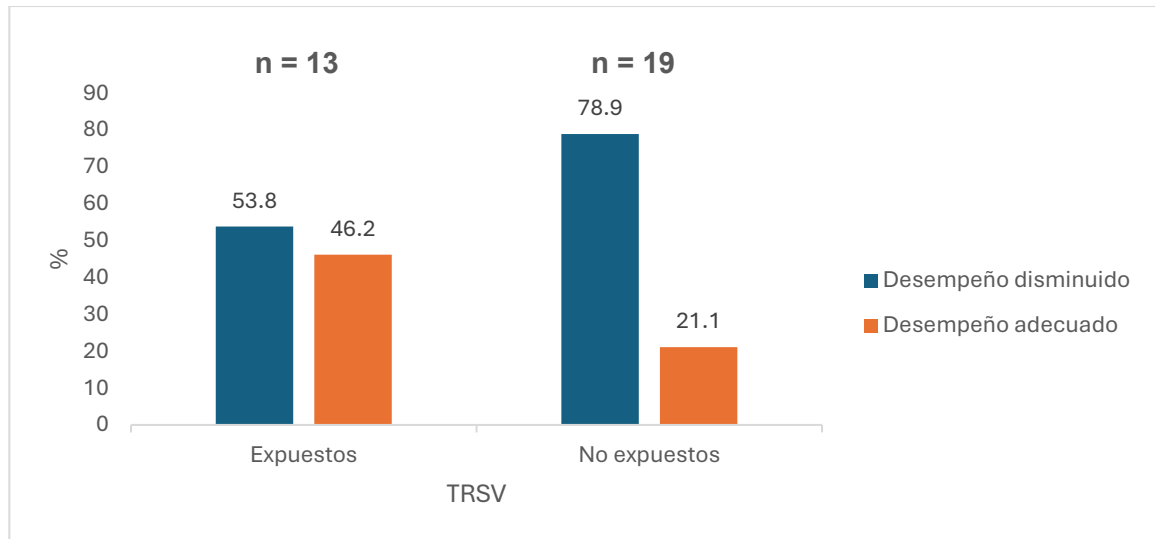


Figura 18

Distribución del desempeño de las fuerzas de pinzas y agarre en mano dominante según el grupo de exposición a BTX.

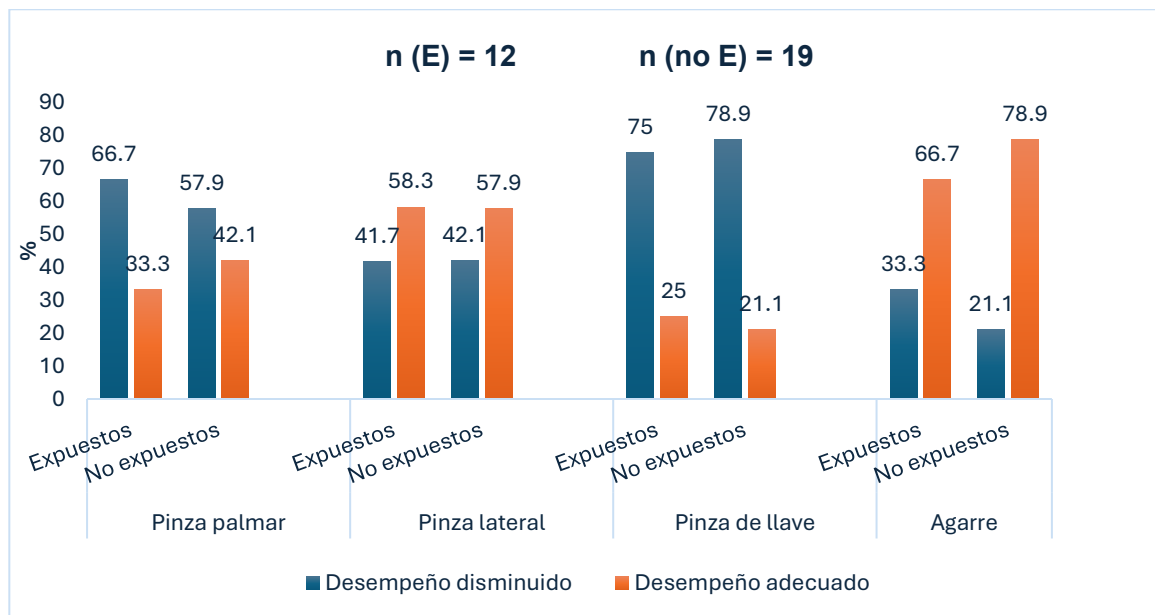


Figura 19

Distribución del desempeño de las fuerzas de pinzas y agarre en mano no dominante según el grupo de exposición a BTX.

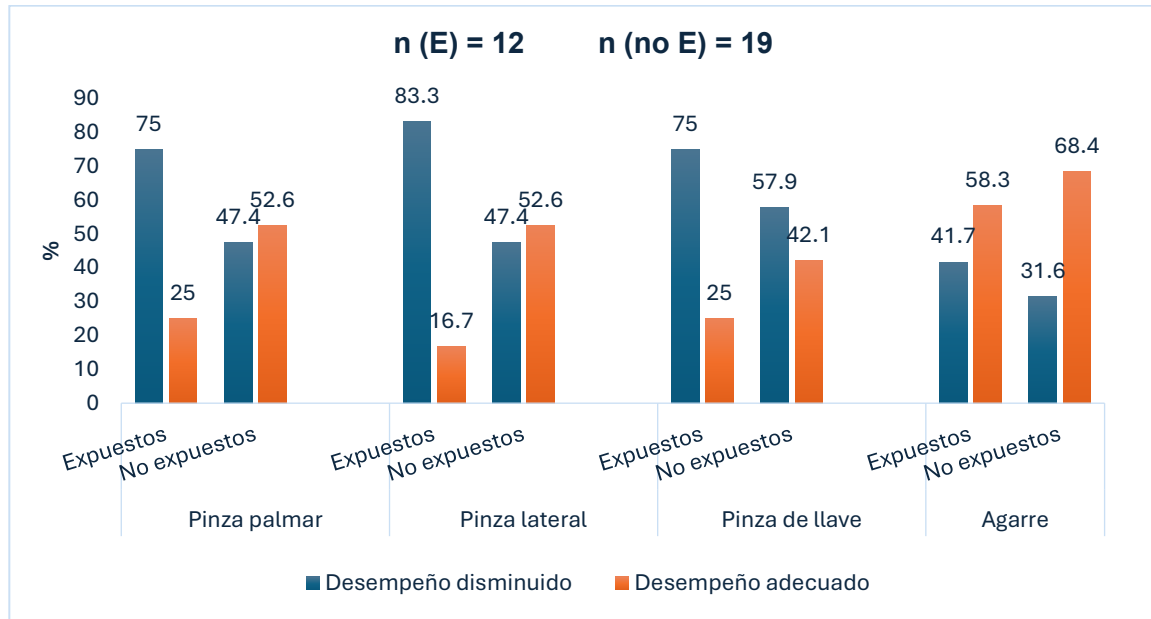


Figura 20

Distribución del desempeño de la prueba de dígitos según el grupo de exposición a BTX.

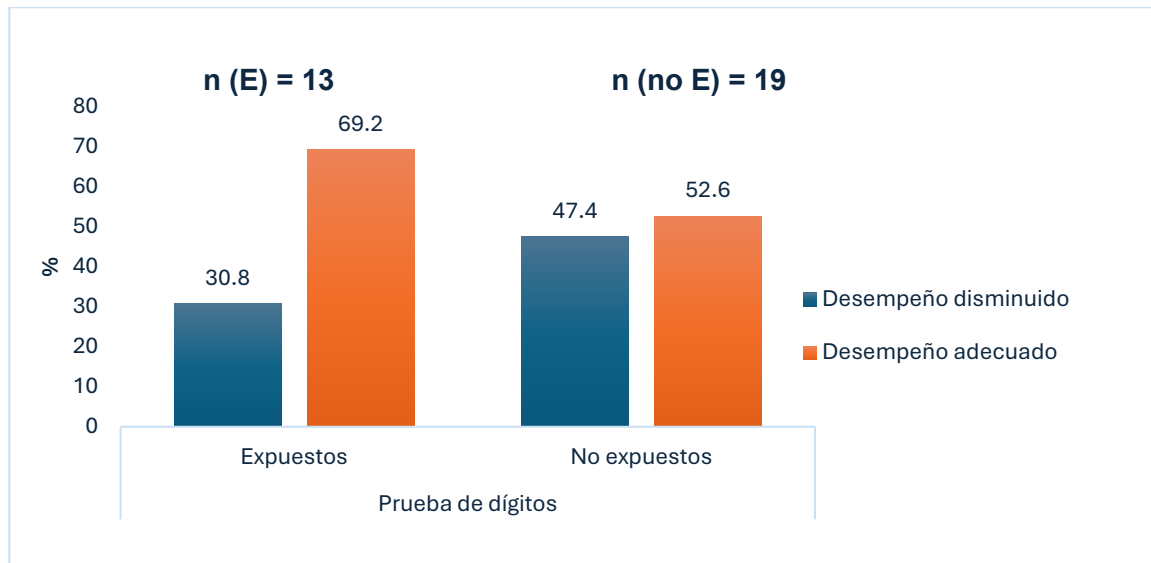


Figura 21

Distribución del desempeño en la aplicación del cuestionario q-16 según el grupo de exposición a BTX.

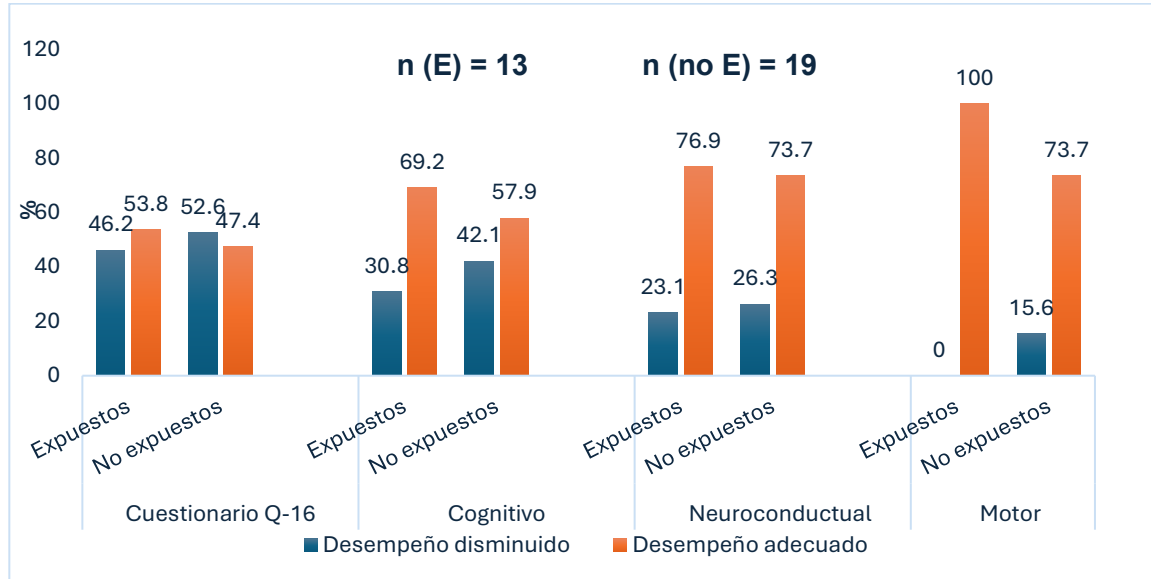


Figura 22

Asociación entre la exposición a BTX y el desempeño neuroconductual.

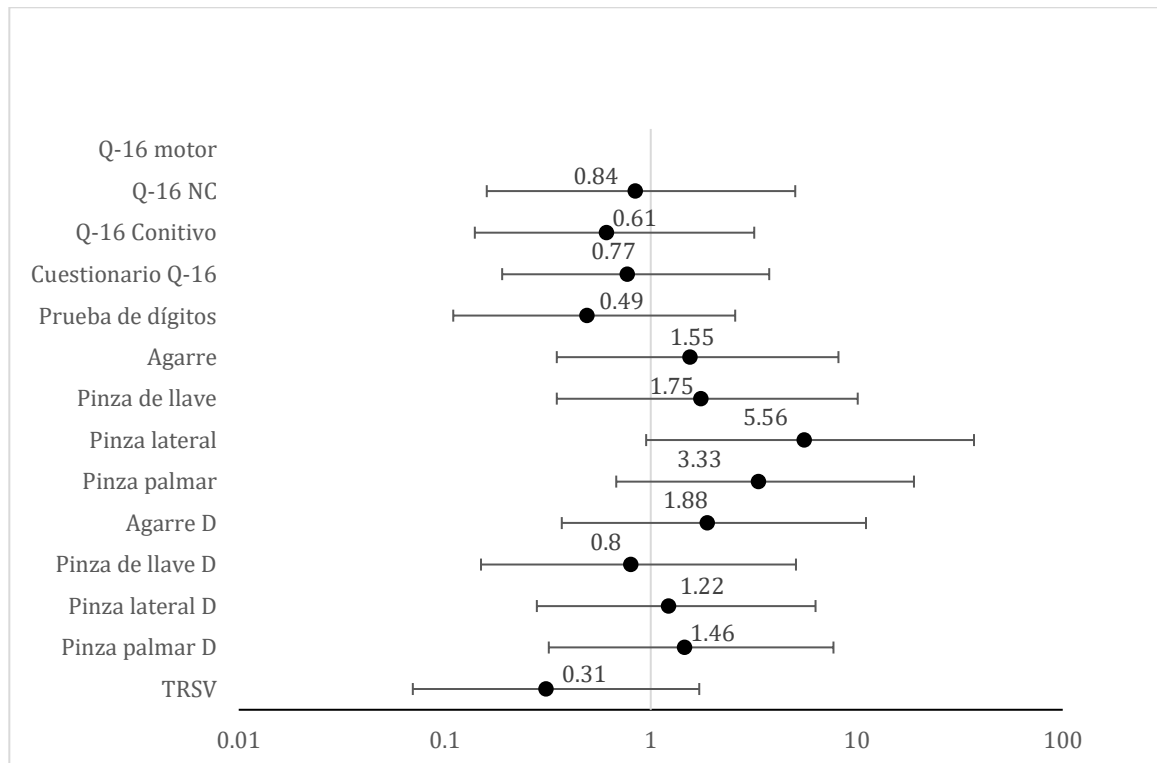


Figura 23

Jerarquía de Controles.



Figura 24

Fórmula para el cálculo de la ingesta diaria promedio.

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

ADD = dosis diaria promedio (mg/kg·día)

C = concentración en aire de BTX (mg/m³)

IR = Tasa de inhalación. Valores para hombres y mujeres adultos de la Guía de Evaluación en Salud Pública de ATSDR. H = 15.2 m³/día, M = 11.3 m³/día.

ET = Tiempo de exposición (horas/día x día/24 horas)

EF = Frecuencia de exposición (días/año)

ED = Duración de la exposición (años)

BW = Peso corporal (kg)

AT = Tiempo promedio = (ED x 365 días/año) (días)

ANEXO 2**Cuestionario**

1. Participante N.º

2. Edad

3. Sexo

Masculino

Femenino

4. Peso corporal en Kg _____

5. ¿Último nivel académico aprobado?

Ninguno

Primaria

Premedia

Media

Superior

Hábitos

6. ¿Fuma?

Sí

No

7. ¿Consume alcohol, café, energizantes, y/o drogas?

Sí

No

Antecedentes personales

8. ¿Padece usted de alguna enfermedad, condición o discapacidad?

Sí Cual _____

No

9. ¿Usa usted algún medicamento antidepresivo, tranquilizante, ansiolítico, hipnótico o sedante?

Sí

No

Historia laboral

10. ¿Cuántos años tiene de trabajar en la empresa?

11. ¿Cuál es su ocupación o cargo dentro de la empresa?

12. ¿Cuántas horas trabaja al día?

13. ¿Cuántos días al año trabaja?

14. ¿Cuánto tiempo de descanso tiene usted dentro de su jornada laboral?

Nunca

Media hora

Una hora

Dos horas

15. ¿Usa usted equipo de protección personal (lentes, ropa, respirador especial para vapores) en el desempeño de su trabajo?

Sí

No

16. ¿Recibe usted adiestramiento o capacitación en materia de higiene, seguridad y protección personal? Nunca

Una vez al año

Más de una vez al año

17. ¿Recibe usted atención médica por parte de la empresa, como medida de control prevención y detección de enfermedades derivadas del trabajo?

Nunca

Una vez al año

Más de una vez al año

ANEXO 3

Registro de pruebas neuroconductuales

1. **Tiempo de reacción simple.** Tiempo aproximado 5 minutos.

Código:

Parámetro	Respuesta al estímulo visual
Número de respuestas	
Número de señales omitidas	
Promedio del tiempo de reacción	
Desviación estándar de los tiempos de reacción	
Tiempo de reacción más rápida	
Tiempo de reacción más lenta	

2. **Dinamometría, fuerza de pinza.** Tiempo aproximado 5 minutos.

Código: Mano dominante = Derecha _____ Izquierda _____

	N.º de agarre	Dedos mano dominante Fuerza (lbs)	Dedos mano no dominante Fuerza (lbs)
Pinza palmar	1		
	2		
	Promedio		
Pinza lateral	1		
	2		
	Promedio		
Pinza de llave	1		
	2		
	Promedio		

3. **Dinamometría, fuerza de agarre.** Tiempo aproximado 5 minutos.

Código: _____ Mano dominante = Derecha _____ Izquierda _____

N.º de agarre	Mano dominante Fuerza (kgs)	Mano no dominante Fuerza (Kgs)
1		
2		
Promedio		

4. **Prueba de dígitos.** Tiempo aproximado 5 a 10 minutos.

Código: _____

En el mismo orden	Correcto		Orden inverso	Correcto	
	Sí	No		Sí	No
5-8-2			2-4		
6-9-4			5-8		
6-4-3-9			6-2-9		
7-2-8-6			4-1-5		
4-2-7-3-1			3-2-7-9		
7-5-8-3-6			4-9-6-8		
6-1-9-4-7-3			1-5-2-8-6		
3-9-2-4-8-7			6-1-8-4-3		
5-9-1-7-4-2-3			5-3-9-4-1-8		
4-1-7-9-3-8-6			7-2-4-8-5-6		
5-8-1-9-2-6-4-7			8-1-2-9-3-6-5		
3-8-2-9-5-1-7-4			4-7-3-9-2-2-8		
2-7-5-8-6-2-5-8-4			9-4-3-7-6-2-5-8		
7-1-3-9-4-2-5-6-8			7-2-8-1-9-6-5-3		
Números adicionales					
6-1-9			3-8		
5-3-1-8			7-4-9		
9-4-7-2-6			8-3-1-5		

En el mismo orden	Correcto		Orden inverso	Correcto	
	Sí	No		Sí	No
6-3-1-8-5-7			5-8-2-4-7		
4-8-2-6-3-7-1			3-9-5-6-1-7		
4-1-3-6-8-2-9-5			5-2-8-1-9-6-3		
3-7-6-8-4-2-1-5-9			6-9-2-4-7-3-1-8		

Puntaje:

Dígitos en el mismo orden _____ Dígitos en orden inverso _____

Puntaje total _____

5. **Prueba Q 16.** Tiempo aproximado 5 minutos.

Código:

	Sí	No
1. ¿Es olvidadizo(a)?		
2. ¿Le han dicho sus familiares y/o sus amigos que es olvidadizo (a)?		
3. ¿A menudo se le olvida realizar actividades que considera importantes?		
4. ¿Le es difícil entender las noticias, programas o novelas que ve en la televisión o escucha en la radio?		
5. ¿Tiene a menudo dificultad para concentrarse?		
6. ¿Se siente a menudo enojado(a) sin motivo?		
7. ¿Se siente a menudo abatido(a) o triste sin motivo?		
8. ¿Le cuesta decidirse realizar actividades que usted sabe debe realizar?		
9. ¿Se siente anormalmente cansado?		
10. ¿Siente a veces como una presión en el pecho?		

11. ¿Ha sentido de pronto como que se va a caer al estar de pie o caminando?		
12. ¿Siente usted a menudo punzadas dolorosas adormecimiento u hormigueo en alguna parte del cuerpo?		
13. ¿Le resulta difícil abrocharse los botones?		
14. ¿Siente que ha perdido fuerza en sus brazos o en sus piernas?		
15. ¿Ahora siente menos que antes en sus manos o en sus pies?		
16. ¿A menudo se despierta, costándole luego conciliar el sueño?		

Examinador:

La persona entendió Sí ____ No ____

Tuvo cuidado al contestar Sí ____ No ____

Observaciones:

Puntaje:

Para cada pregunta contestada con un 'sí' le da un punto, para cada pregunta contestado con un 'no' se le da cero puntos. Se suma el total de las preguntas y también se comparan individualmente para los diferentes grupos.

ANEXO 4

Consentimiento informado

La investigación científica es un conjunto de procesos debidamente planificados y estructurados la cual busca generar conocimientos para dar respuestas a una situación o problema específico. En ese sentido, nos hemos planteado realizar una investigación ante la magnitud que representa el riesgo de padecer una enfermedad debido a la exposición ocupacional prolongada a sustancias químicas, como es el caso de los compuestos orgánicos volátiles y su asociación con efectos neuroconductuales en los trabajadores de la industria petrolera, específicamente. Nuestra investigación lleva por Título: **Exposición ocupacional a compuestos orgánicos volátiles (COVs) en un laboratorio de hidrocarburos y su asociación con el desempeño en la evaluación neuroconductual. Panamá, 2025.**

El propósito principal de esta investigación es evidenciar la magnitud del problema a través de los resultados que se obtengan, ya que en nuestro país no existen estudios relacionados con el tema.

El objetivo de esta investigación es evaluar la exposición ocupacional a COVs de hidrocarburos y su asociación con el desempeño en la evaluación neuroconductual en los trabajadores del laboratorio. Por lo que se realizarán muestreos en aire en diferentes áreas de trabajo. Además, se aplicarán 4 pruebas neuroconductuales no invasivas para determinar la presencia de efectos neurológicos. Finalmente, mediante herramientas estadísticas se estimará si hay asociación o no entre los niveles de exposición prolongada a compuestos orgánicos volátiles detectados en aire y la detección de efectos neurológicos.

Para esta investigación se ha invitado a participar a todos los trabajadores del laboratorio que deseen participar. Para el reclutamiento del participante existen algunos criterios previamente definidos. Podrán participar aquellos:

- Trabajadores activos que den su consentimiento para participar del estudio.
- Trabajadores de 18 a 62 años.
- Que tengan al menos un año de laborar.

Se excluirán del estudio a aquellos participantes que

- Tengan otro trabajo en el cual pudiera existir exposición ocupacional cruzada, entre ellos: bomberos, policía, zapateros, conductores de bus, trabajadores de la aviación, mecánicos y cualquier otro que se justifique.

- Tengan antecedentes de trauma craneal severo, epilepsia, meningitis, meningo-encefalitis, cefaleas secundarias, neuropatía periférica de causa conocida (por tumores, discopatías, traumatismos, infecciones por herpes zoster y VIH), neuropatía diabética. y/o cualquier discapacidad que no le permita realizar las pruebas.

El participante no recibirá algún tipo de emolumento económico por ser parte de la investigación. Sin embargo, como compensación por el tiempo que el participante a dado de forma voluntaria para participar de esta, se le costeará gastos de alimentación y transporte.

El riesgo derivado de la investigación es mínimo ya que las pruebas aplicadas al participante no son invasivas. Aunque, puede existir algún tipo de incomodidad por el tiempo en realizar las pruebas, los tiempos estimados de las mismas son cortos. Por otra parte, la investigación no generará ningún costo para el participante.

Es importante dejar claro que no se proporcionaran resultados de forma individual, solo se conocerá el análisis del grupo de resultados que arroje la investigación. Sin embargo, si se detecta algún efecto de consideración en los participantes y en caso de requerirlo, estos podrán ser derivados a la atención de Salud Ocupacional para su control y seguimiento de la Caja de Seguro Social preferiblemente, a través de una referencia médica, la cual será proporcionada por el investigador, ya que el mismo es médico.

El participante acepta de forma voluntaria brindar datos que suponen un manejo confidencial de los mismos, según las normas vigentes de la república. Se creará una base de datos codificada para el manejo de la información, la cual solo será utilizada para los fines de esta investigación. Con el objeto de resguardar los datos el investigador será el custodio de la información, la cual estará bajo contraseña en su computadora personal por un periodo de 5 años, posterior a ello, serán destruidos. Si existiere dudas al respecto, pueden hacer todas las preguntas que consideren necesario.

La participación es totalmente voluntaria. No obstante, el participante podrá retirarse de la investigación en cualquier momento que desee sin que haya alguna penalización o le perjudique en forma alguna, solo dará una explicación del motivo de su retiro como parte del proceso.

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.

Información de contacto del investigador:

Dr. Bernardino Escartín R.

Correo electrónico: bescar023@gmail.com

Celular: 65694854

Desde estos momentos les agradecemos por participar de esta investigación.

Yo, _____ con cédula de identidad personal No. _____ he sido informado y he comprendido el propósito y objetivo de esta investigación. Se me han explicado los requisitos que se deben cumplir para la participación en este estudio de manera clara. Reconozco que la información que suministre es confidencial y solo será usada para esta investigación. También me queda claro que si tengo alguna duda puedo hacer todas las preguntas que considere a bien.

Comprendo que no recibiré ningún tipo de emolumento económico por participar en la investigación. Que se me derivará a Salud Ocupacional para seguimiento médico y control. No obstante, si no deseo participar, me puedo retirar en cualquier momento de la investigación dando una explicación como parte del proceso y no habrá consecuencia o penalización alguna.

Una copia de este consentimiento será entregada a usted, participante y podrá pedir información sobre los resultados una vez concluya la investigación.

En este sentido, acepto participar.

Participante

Investigador principal

Fecha: _____.

ANEXO 5

Valores de referencia

Figura 25

Valores de referencia promedios de las fuerzas de pinzas según sexo y edad.

Edad	Mano	Pinza palmar		Pinza lateral		Pinza de llave	
		Masculino (lb)	Femenino (lb)	Masculino (lb)	Femenino (lb)	Masculino (lb)	Femenino (lb)
		Promedio	promedio	Promedio	promedio	Promedio	promedio
20 - 24	Dominante	26.6	17.2	18.0	11.1	26.0	17.6
	No dominante	25.7	16.3	17.0	10.5	24.8	16.2
25 - 29	Dominante	26.0	17.7	18.3	11.9	26.7	17.7
	No dominante	25.1	17.0	17.5	11.3	25.0	16.6
30 - 34	Dominante	24.7	19.3	17.4	12.6	26.4	18.7
	No dominante	25.4	18.1	17.6	11.7	26.2	17.8
35 - 39	Dominante	26.2	17.5	18.0	11.6	26.1	16.6
	No dominante	25.9	17.1	17.7	11.9	25.6	16.0
40 - 44	Dominante	24.5	17.0	17.8	11.5	25.6	16.7
	No dominante	24.8	16.6	17.7	11.1	25.1	15.8
45 - 49	Dominante	24.0	17.9	18.7	13.2	25.8	17.6
	No dominante	23.7	17.5	17.6	12.1	24.8	16.6
50 - 54	Dominante	23.8	17.3	18.3	12.5	26.7	16.7
	No dominante	24.0	16.4	17.8	11.4	26.1	16.1
55 - 59	Dominante	23.7	16.0	16.6	11.7	24.2	15.7
	No dominante	21.3	15.4	15.0	10.4	23.0	14.7
60 - 64	Dominante	21.8	14.8	15.8	10.1	23.2	15.5
	No dominante	21.2	14.3	15.3	9.9	22.2	14.1
65 - 69	Dominante	21.4	14.2	17.0	10.6	23.4	15.0
	No dominante	21.2	13.7	15.4	10.5	22.0	14.3
70 - 74	Dominante	18.1	14.4	13.8	10.1	19.3	14.5
	No dominante	18.8	14.0	13.3	9.8	19.2	13.8

Nota: adaptado del manual de uso, dinamómetro mecánico, Baseline®.

Figura 26

Valores de referencia de la fuerza de agarre según sexo y edad.

Edad	Masculino (lb)			Femenino (lb)		
	Débil	Normal	Fuerte	Débil	Normal	Fuerte
10-11	<27.8	27.8-49.4	>49.4	<26.0	26.0-47.6	>47.6
12-13	<42.8	42.8-68.8	>68.8	<32.2	32.2-53.8	>53.8
14-15	<62.8	62.8-97.7	>97.7	<34.2	34.2-60.2	>60.2
16-17	<71.9	71.9-115.5	>115.5	<37.9	37.9-63.9	>63.9
18-19	<78.7	78.7-122.4	>122.4	<42.3	42.3-68.3	>68.3
20-24	<81.1	81.1-124.8	>124.8	<47.4	47.4-77.8	>77.8
25-29	<83.1	83.1-126.8	>126.8	<56.4	56.4-91.3	>91.3
30-34	<79.4	79.4-123.0	>123.0	<47.4	47.4-77.8	>77.8
35-39	<78.9	78.9-122.6	>122.6	<44.8	44.8-75.2	>75.2
40-44	<78.3	78.3-121.9	>121.9	<41.7	41.7-72.1	>72.1
45-49	<76.5	76.5-120.2	>120.2	<41.0	41.0-71.4	>71.4
50-54	<72.5	72.5-111.8	>111.8	<39.9	39.9-70.3	>70.3
55-59	<67.7	67.7-106.9	>106.9	<39.0	39.0-69.4	>69.4
60-64	<66.6	66.6-105.8	>105.8	<37.9	37.9-68.3	>68.3
64-69	<62.2	62.2-97.0	>97.0	<34.0	34.0-60.0	>60.0
70-99	<47.0	47.0-77.4	>77.4	<32.4	32.4-54.0	>54.0

Nota: adaptado del manual de uso, dinamómetro digital, Handexer®.

ANEXO 6

Certificados de calibración de los equipos y mapa de procesos.

Figura 27

Certificados de calibración del medidor multigás ALTAIR5X.



MSA Corporate Center • 1000 Cranberry Woods Drive • Cranberry Township, PA 16066
www.msasafety.com

Telephone: (800) MSA-2222

ALTAIR5X
CERTIFICATE OF CALIBRATION

Serial Number (SN): 251637
Part Number (REF): 10165445
Calibration Date: 12/30/24
Calibrated By: N. DiBuono

Sensor	PENTANE 0-100.00 %LEL	O2 0-30.00 %VOL	CO 0-2000.00 PPM	H2S 0-200.00 PPM	VOC 0-2000.00 PPM
Low	10.00 %LEL	19.50 %VOL	25.00 PPM	10.00 PPM	50.00 PPM
High	20.00 %LEL	23.00 %VOL	100.00 PPM	15.00 PPM	100.00 PPM
STEL			100.00 PPM	15.00 PPM	25.00 PPM
TWA			25.00 PPM	10.00 PPM	10.00 PPM
Cylinder Value	Methane 1.460 %VOL	O2 15.08 %VOL	CO 60.67 PPM	H2S 20.38 PPM	Isobutylene 101.1 PPM





CERTIFICADO DE CALIBRACION

Fecha de calibración: **28 de mayo de 2025**
Equipo: **Monitor multigases**
Observaciones y/o trabajos a realizar:
1. Calibración múltiple con MSA Gas-Mix Cylinder.
2. Próxima calibración: **28 de mayo de 2026**

Puntos de Inspeccion	OK
Placa electronica, configuracion de fabrica.	✓
Sensores, bombe electronica, filtros.	✓
Calibracion en Zero	✓
Calibracion Multi-Span	✓

Model: ALTAIR 5X MSA (LEL/O2/CO/H2S/VOC) **Serial N°: 00251637**

Firmware Version : V 3.21 C-D **Calibration Tech. Note:** TN-123, Manual Section 8.1
Temperature: 22.5 **Datalog:** Enabled Auto
Pump stall speed: High **Shut off at:** 4.1V
Battery: 4.5 V

Calibration cilinder: 2AL contents: 1.2 Cu.ft, 34 Liters @ 70° F and 620 psig.
Constant flow regulator adapter: 1.0 Lpm, P/N 007-3021-000

Results:	H2S	CO	O2	LEL	VOC
Cilinder	ok	ok	ok	ok	ok
Concentration:	20ppm	60 ppm	15.0%	58%	100 ppm
25ppm					
Cal. Component:	H2S	CO	O2, N2(bal.)	Methane	CL2
Fresh Air Cal.	0%	0%	20.8%	0%	0%
Cal. Gas Reading:	19ppm	60ppm	15.00%	58%	100 ppm
Raw Gas Reading:	353	309	1173	953	1019



Raúl Borbua
Dpto. Serv.Tecnico

Figura 28

Certificado de calibración del dinamómetro de pinza.



Figura 29

Mapa de procesos del laboratorio.



Nota: Elaboración propia, adaptado de un modelo general de mapa de procesos del laboratorio.