

Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Efecto Genotóxico y citotóxico en mucosa bucal por riesgo laboral en empleados de gasolineras de El Salto, Jalisco, México

Genotoxic and cytotoxic effects in buccal mucosa due to occupational exposure risk in gas station workers in El Salto, Jalisco, Mexico

Gabriela Guadalupe Carrillo Núñez ¹, Raúl Oswaldo Sánchez Cuevas ², María Luisa Ramos Ibarra ³, María Ana Valle Barbosa ⁴

Recibido: 25 marzo 2026

Aceptado: 31 julio 2026

Resumen

Antecedentes: Actualmente, existen estudios relacionados con la exposición ocupacional y los componentes de la gasolina y las anomalías nucleares en células de la mucosa oral, clasificados como efectos genotóxicos y citotóxicos.

Objetivo: Determinar la genotoxicidad y citotoxicidad en empleados de dos gasolineras del municipio de El Salto, Jalisco y establecer la asociación entre la presencia de anomalías nucleares y el uso de equipo de protección personal.

Metodos: Se trata de un estudio cuantitativo, transversal y de asociación de variables, con una muestra por conveniencia de 18 trabajadores. Las muestras se obtuvieron a través de un raspado de mucosa bucal, se fijaron y tiñeron con naranja de acridina para el análisis y conteo de células con micronúcleos y otras anomalías nucleares por medio de microscopía de fluorescencia.

Resultados: Se identificó la presencia de anomalías nucleares en las células de mucosa oral, las más frecuentes fueron cariólisis y células binucleadas. La presencia de cariólisis, fue el único biomarcador que presentó un valor significativo al usar la prueba Rho de Spearman aunado al uso inadecuado del equipo de protección personal.

Conclusiones: se determinó una alta frecuencia de anomalías nucleares, siendo la más significativa la cariólisis (biomarcador de citotoxicidad) en los empleados de gasolineras con el uso inadecuado de equipo de protección personal

Abstract

Background: Currently, studies have linked occupational exposure to gasoline components with nuclear abnormalities in oral mucosa cells, which are classified as genotoxic and cytotoxic effects.

Objective: To determine the genotoxicity and cytotoxicity in employees of two gas stations in the municipality of El Salto, Jalisco, and to establish the association between the presence of nuclear abnormalities and the use of personal protective equipment.

Methods: This is a quantitative, cross-sectional, and variable association study involving a convenience sample of 18 workers. Oral mucosa samples were obtained via buccal scraping, fixed, and stained with acridine orange for the analysis and counting of micronucleated cells and other nuclear abnormalities using fluorescence microscopy.

Results: The presence of nuclear abnormalities in oral mucosa cells was identified, with karyolysis and binucleated cells being the most frequent. The presence of karyolysis was the only biomarker that showed a significant value using Spearman's Rho test in relation to the inadequate use of personal protective equipment.

Conclusions: A high frequency of nuclear abnormalities was determined, with karyolysis (a cytotoxicity biomarker) being the most significant in gas station employees who presented an inadequate use of personal protective equipment

Palabras clave: Exposición Ocupacional; Radiación Ionizante; Nódulo Tiroideo; Hipotiroidismo Subclínico; Hipotiroidismo.

Key words: Genotoxicity, Cytotoxicity, Gas station, Occupational risk, Personal Protective Equipment

¹ Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias de la Salud, Departamento de Microbiología y Patología. Guadalajara, México.

² Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias de la Salud, Departamento de Morfología. Guadalajara, México.

³ Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Departamento de Salud Pública, Div. Ciencias Veterinarias, CUCBA, UDG. Zapopan, México.

⁴ Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias de la Salud, Departamento de Ciencias Sociales, Guadalajara, México

Autor de correspondencia: María Ana Valle Barbosa. Correo electrónico: ana.valle@academicos.udg.mx

Introducción

La genotoxicidad y citotoxicidad son causadas por agentes físicos, químicos o biológicos con capacidad de generar cambios genómicos en las células o inducir procesos de muerte celular. Estos cambios se pueden dar por el contacto con sustancias del medio laboral, dañando al ADN y provocando malignidad en las células, con la consecuente formación de tumores. Un ejemplo de lo anterior es la exposición continua a los vapores de hidrocarburos, que provoca cambios citotóxicos y genotóxicos en las células de mucosa bucal tales como la cariólisis, cariorrexis o células binucleadas.

La citotoxicidad y genotoxicidad en trabajadores de gasolineras en diversos países del mundo

Benites et.al.¹, analizaron biomarcadores en trabajadores de gasolineras de Brasil e India. Encontraron que la integridad genómica de las células de la mucosa bucal con citotoxicidad y genotoxicidad presentaron una mayor frecuencia de células con micronúcleos.

Por su parte, Filho et al.², realizaron pruebas de micronúcleos en despachadores de gasolineras de Cascavel, Brasil, analizaron mil células de cada participante, contaron el número de células basales, diferenciadas, binucleadas, micronucleadas, con brotes nucleares, con picnosis, cariólisis, cariorrexis y con cromatina condensada. Identificaron incremento de células picnóticas, cariorrécticas, cariólíticas, micronucleadas y con brotes nucleares, con daño elevado al ADN, inestabilidad cromosómica y disrupción del ciclo celular en el grupo de despachadores de gasolina.

Por otro lado, Alves et al.³, entrevistaron a 113 trabajadores de 13 gasolineras del Estado brasileño de Bahía, en quienes investigaron horas de trabajo y hábitos de uso del equipo de protección personal. Encontraron que los trabajadores utilizaban el equipo de protección personal incompleto, usando únicamente las botas. Respecto a los síntomas relacionados con la exposición a hidrocarburos reportaron síntomas de dolor de cabeza, rinitis, dolor de piernas, tos, fatiga, temblores y palpitaciones asociados a exposición de hidrocarburos.

Asimismo, en Santarem, Brasil, Maciel et al.⁴, evaluaron la frecuencia de micronúcleos en mucosa bucal mediante el método de Fulgen en trabajadores expuestos a vapores de gasolina, se valoró el uso de equipo de protección personal y el consumo de alcohol, encontrándose mayor frecuencia de micronúcleos en los despachadores de gasolina con hábitos de consumo de alcohol.

Pasando a India, en Coimbatore, Sellapa et al.⁵, valoraron micronúcleos en trabajadores de gasolineras, identificando células micronucleadas y la asociación entre fumar, ingerir alcohol y masticar tabaco con la inducción de micronúcleos. 2010. En Hydebarad, Rekhadevi, et. Al.⁶, tomaron muestras de sangre, orina y mucosa bucal, y encontraron un incremento estadísticamente significativo de la frecuencia de micronúcleos y anormalidades cromosómicas en el grupo de trabajadores.

Los trabajadores de gasolineras expuestos a riesgos laborales

Por las características propias de las gasolineras y la falta del uso del equipo de protección adecuado al despachar la gasolina, los trabajadores están expuestos a riesgos laborales por la inhalación de los vapores de los componentes de los hidrocarburos, destacando el benceno, tolueno y xileno.⁷

Estas sustancias están clasificadas en cuatro grupos por la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer. En el Grupo 1 están los agentes carcinogénicos para humanos como el benceno, y en el Grupo 3 se encuentran agentes posiblemente carcinogénicos para humanos como el tolueno y xileno.⁸ Los efectos asociados a la exposición continua del benceno pueden provocar carcinogénesis, toxicidad al sistema nervioso y hematolinfoide, provocando enfermedades como anemia aplásica mieloide y leucemia mielodisplásica.^{4,9}

También Alves et. al.³, mencionaron que, los hidrocarburos de la gasolina pueden ocasionar irritación de piel y mucosas, dolor de estómago, agruras, indigestión, prurito en las manos, tos, dolor de cabeza, mialgia, fatiga, disnea, náusea, vértigo e incrementa la probabilidad de padecer enfermedades respiratorias crónicas como el asma, alteraciones hematológicas y distintos tipos de anemia, leucopenia, leucemia, o trombocitopenia. Añadió la importancia del uso de guantes, lentes, overol, respiradores, mascarillas y botas, ya que encontraron que el uso del equipo de protección personal es bajo. Por otro lado, Torres-Bugarín et al.¹⁰, destacó que la búsqueda de biomarcadores de citotoxicidad y genotoxicidad puede resultar no invasiva en caso de implementar la prueba de micronúcleos bucales.^{11,12}

Importancia del estudio de la citotoxicidad y genotoxicidad en trabajadores de gasolineras

Este tema ha sido estudiado en diferentes países del mundo, encontrándose asociaciones significativas entre diversos factores, uso incompleto de equipo de protección y la aparición de síntomas relacionados con la exposición a los hidrocarburos de la gasolina o la presencia de anormalidades nucleares en células de trabajadores de gasolineras, por tanto, es significativo investigar la situación actual de este grupo de trabajadores para concientizarlos de la importancia del cuidado de su salud.^{1,3,4,13,14}

Fundamentación teórica y conceptual

La genotoxicología estudia los efectos nocivos de los xenobióticos en los componentes hereditarios de los organismos y las repercusiones en los ecosistemas. Los xenobióticos incluyen agentes físicos, como radiaciones y temperatura; agentes químicos, como metales, halógenos y ácidos, y agentes biológicos, como parásitos, bacterias, hongos y virus.¹⁵ La genotoxicología se enfoca en las alteraciones de la estructura genética, y sus efectos en la reproducción celular del tejido o del organismo en procesos de mutagénesis, carcinogénesis y teratogénesis. Cualquier xenobiótico que pueda interactuar negativamente con las bases del ADN y modificar su estructura se considera un mutágeno, y el término “genotóxico” es más amplio, ya que abarca no solo los agentes que causan mutaciones,

sino también cualquier otro tipo de daño al ADN.¹⁶

Mohamed et. al.¹⁷, clasifican a los agentes genotóxicos según su efecto de la siguiente manera: Carcinogénicos: que promueven el cáncer. Mutagénicos: que provocan mutaciones en el material genético, causando diferentes tipos de daño que pueden ser heredables. Teratogénicos: que son los agentes responsables de anomalías anatómicas o funcionales durante el desarrollo embrionario, provocando diversos defectos congénitos.

La exposición a estos agentes genera diferentes tipos de alteraciones sobre el material genético que pueden provocar activaciones o inactivaciones de genes, así como mutaciones que pueden producir alteraciones de la función celular, procesos neoplásicos o la muerte celular.¹⁸ El daño en el material genético ocurre cuando una sustancia genotóxica interactúa con las secuencias de bases púricas y pirimidínicas del ADN. Estas sustancias afectan secuencias específicas del ADN, provocando diversas lesiones como rupturas, fusiones, deleciones, amplificaciones, aductos, uniones cruzadas y errores en la segregación de los cromosomas, como la no disyunción. Como resultado, se generan distintos tipos de daño en el ADN, incluidas mutaciones.¹⁷

Al presente, se han estudiado los efectos del benceno por lo que se ha llegado a identificar la toxicidad de este hidrocarburo.¹⁹ Actualmente, los avances en toxicogenómica y biología molecular han proporcionado una visión cada vez más detallada de los posibles mecanismos de enfermedades asociadas con el benceno, así como de las etapas precursoras de la malignidad y los factores que podrían incrementar la predisposición a enfermedades hematopoyéticas malignas.²⁰⁻²⁴

Este daño afecta no sólo al ADN, sino también a todos los componentes celulares que influyen en la funcionalidad y comportamiento de los cromosomas dentro de la célula.²⁵

Ahora bien, los biomarcadores son indicadores biológicos que ofrecen información acerca del estado fisiológico o patológico de un individuo o una población. Según Califf,²⁶ los biomarcadores se definen como la característica objetivamente medida y evaluada, que puede indicar procesos biológicos normales, patológicos o respuestas a tratamientos médicos.²⁷ A su vez, los biomarcadores se clasifican de exposición, efecto y susceptibilidad.^{28,29}

La presencia de micronúcleos y anomalías nucleares son biomarcadores ampliamente utilizados; con la detección de micronúcleos y anormalidades se puede monitorear individuos o poblaciones expuestas a eventos mutagénicos, genotóxicos o teratogénicos, principalmente la evaluación de la presencia de células en tejidos epiteliales, además, permiten realizar evaluación de inestabilidad cromosómica, detección de citocinesis y eventos de muerte celular (cariólisis, cariorrexis y picnosis), en el caso de los micronúcleos, estos se pueden usar para monitorear efectos producidos por cambios en el estilo de vida, trabajo o ingesta de suplementos alimenticios.³⁰

Materiales y métodos

Estudio cuantitativo, transversal y de asociación. El objetivo de este estudio fue determinar la genotoxicidad y citotoxicidad en empleados de dos gasolineras del municipio de El Salto, Jalisco, México y establecer la asociación entre la presencia de biomarcadores de genotoxicidad y citotoxicidad con el uso del equipo de protección personal.

Este estudio se realizó de agosto del 2023 a mayo del 2024, se seleccionó una muestra por conveniencia de trabajadores de gasolineras, tanto de sexo femenino y masculino, todos mayores de edad con un tiempo mínimo de antigüedad laboral de un año, y que no padecieran alguna enfermedad crónico-degenerativa diagnosticada. Para la recolección de las muestras, se efectuó un raspado de mucosa bucal de los participantes en ambos carrillos por medio de un portaobjetos limpio y desinfectado, y se procedió a realizar dos frotis de cada muestra por cada participante. Los portaobjetos se codificaron en consecutivo, según el orden de recolección para evitar que el lector de las muestras conociera la identidad del participante.

Los frotis se fijaron en etanol durante 48 horas y después se tiñeron con naranja de acridina (tinción específica para ácidos nucleicos) para su análisis, el conteo se realizó con un microscopio marca Zeiss equipado con fluorescencia con el objetivo 100x, en las instalaciones del Laboratorio de Toxicología Genética del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara.

Los biomarcadores de genotoxicidad que se analizaron fueron: células con micronúcleos (CMN) y células con brote nuclear (CBN); mientras que para los biomarcadores de citotoxicidad fueron: células con cariorrexis (CC), células con cariólisis (CL) y células con núcleo picnótico (CNP), por último, células binucleadas (fallo en la citocinesis). Se evaluaron las frecuencias de los biomarcadores en 2,000 células normales.¹⁰

El equipo de protección considerado para la asociación con la frecuencia de biomarcadores de genotoxicidad y citotoxicidad fueron: guantes de poliéster y nylon 377 SHOWA, ropa de alta visibilidad, calzado de seguridad con suela antiderrapante, mascarilla de protección respiratoria y lentes. Cabe mencionar que se definió como uso de equipo adecuado, cuando el personal portaba todo el equipo de protección ya descrito; mientras que el inadecuado portaba algunos de estos equipos, y nulo significó que no portaba ninguno de ellos.

La asociación de las frecuencias de anormalidades nucleares y el tipo de uso de equipo de protección personal, fueron analizadas para determinar si existe o no, asociación significativa entre estas variables, para lo cual, se usó la prueba Rho de Spearman mediante el software IBM SPSS Statistics para Windows, Versión 25.0°.

Resultados

La presente investigación fue realizada en el municipio de El Salto, Jalisco, municipio que forma parte del área metropolitana

Tabla 1. Frecuencia de biomarcadores genotóxicos y citotóxicos en 18 empleados de gasolineras de El Salto Jalisco

Anormalidad nuclear	Anormalidades nucleares en la población de estudio
Brote nuclear	6
Micronúcleo	25
Cariólisis	100
Célula binucleada	230
Picnosis	20
Cariorrexis	25

Fuente: elaboración propia (2025).

de Guadalajara, cuenta con 20 gasolineras repartidas en 87.9 kilómetros cuadrados de extensión territorial (Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco).³¹

Se tomaron 18 muestras de trabajadores de dos gasolineras ubicadas en el municipio de El Salto, Jalisco, estas corresponden a 11 trabajadores femeninos (61% de la muestra) y 7 trabajadores masculinos (39% de la muestra). El rango de edad de los trabajadores oscila entre los 20 y 51 años, con una edad promedio de 36 años. Tras el análisis citogenético de las 18 muestras, se encontraron diversas frecuencias de biomarcadores de genotoxicidad y citotoxicidad en mucosa bucal de empleados de gasolineras que participaron en el estudio, como se explica en la Tabla 1.

Los resultados que se obtuvieron sobre el uso de equipo de protección personal en los empleados de gasolineras evaluadas, más del 50% portaba el equipo de protección inadecuado, mientras que el uso inadecuado y nulo fue del 22.2% respectivamente como se muestra en la Figura 1

A su vez, el uso de equipo de protección personal se asoció con la frecuencia de biomarcadores de genotoxicidad y citotoxicidad, resultó con mayor incidencia de células binucleadas y cariolíticas en la mucosa bucal de los trabajadores con nulo e inadecuado uso de equipo de protección personal (Figura 2 y 3).

En la Tabla 2, se puede observar la asociación de los biomarcadores de genotoxicidad y citotoxicidad en mucosa bucal de empleados de gasolineras con el uso de equipo de protección personal.

A partir de los resultados de los análisis de biomarcadores de

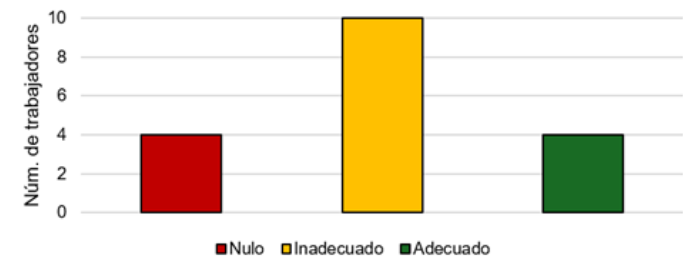


Figura 1. Uso de equipo de protección personal en trabajadores de gasolineras

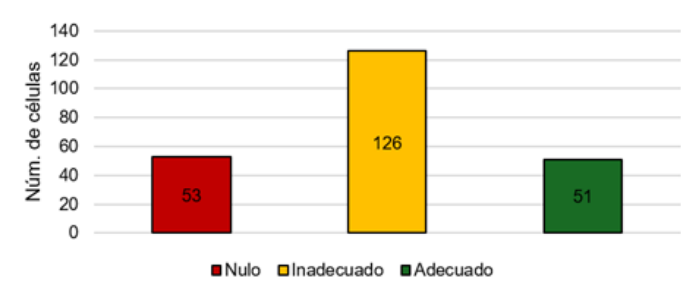


Figura 2. Total de células binucleadas según el tipo de uso de equipos de protección personal

genotoxicidad y citotoxicidad, en relación con la portabilidad del equipo de protección personal de los empleados de gasolineras, se identificó que sí existe asociación significativa con la frecuencia de cariólisis (daño citotóxico) ($p = 0.003$) (Tabla 2).

Igualmente, se realizó la asociación entre la presencia de células con cariólisis con cada uno de los elementos que conformaron el equipo de protección personal de los empleados de gasolineras y se encontró que el nulo uso del traje ($p = 0.006$) y calzado ($p = 0.015$) presentó mayor asociación con esta anomalía nuclear (Tabla 3).

Discusión

El objetivo de esta investigación fue determinar la genotoxicidad y citotoxicidad en empleados de dos gasolineras del municipio de El Salto, Jalisco, así como establecer su asociación con el uso de equipo de protección personal. Mediante la prueba de asociación de Rho Spearman, se evidenció una asociación significativa entre la presencia de cariólisis y la falta de uso de traje protector ($p=0.006$) y calzado de seguridad ($p=0.015$).

A diferencia de estudios previos que reportan un predominio de daño genotóxico a través de células micronucleadas.¹ Nuestros resultados mostraron un mayor daño citotóxico. Este se evidenció por una elevada presencia de células con cariólisis (100 eventos documentados), fenómeno relacionado con la muerte celular en donde el núcleo se desintegra por completo debido a la acción de enzimas que destruyen el ADN y se le asocia con necrosis celular.¹⁰ Si bien, se observaron células micronucleadas en nuestro análisis (Tabla 1), estas no mostraron significancia estadística.

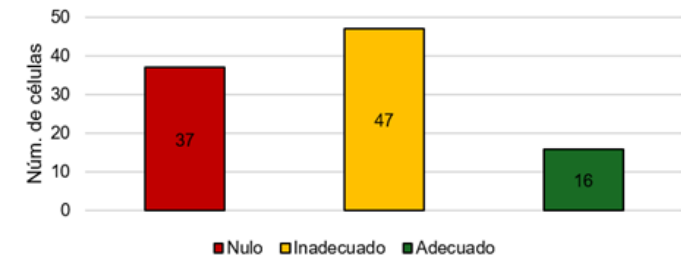


Figura 3. Total de células kariolíticas según el tipo de uso de equipos de protección personal

Tabla 2. Asociación entre uso de equipo de protección personal y biomarcadores de genotoxicidad y citotoxicidad en mucosa bucal de empleados de gasolineras

			Micronúcleo	Binucleado	Picnosis	Cariorrexis	Cariólisis	Brote Nuclear
Rho de Spearman	Uso Equipo De Protección Personal	Coefficiente de asociación	0.296	0.177	-0.246	-0.221	-0.662	0.174
		Sig. (bilateral)	0.233	0.482	0.326	0.378	0.003	0.489

La aparente falta de relevancia estadística de los micronúcleos en el presente estudio, traducido como ausencia de genotoxicidad, también pudiera darse por el grado de toxicidad alcanzado, como señala Cerqueira et al.³², pues la toxicidad y sus distintos biomarcadores interfieren en la aparición de los micronúcleos; es decir, la frecuencia de estos disminuye cuando los agentes genotóxicos alcanzan niveles citotóxicos. Esto concuerda con nuestros hallazgos, donde se deduce que la exposición continua a la gasolina y sus componentes producen un marcado efecto citotóxico por el incremento de células con cariólisis, indicativo de muerte celular programada o necrosis.³³

La alta prevalencia de cariólisis observada en nuestro estudio, respalda lo reportado en Filho et al.², quienes tras analizar a 40 trabajadores de gasolineras (1000 células por muestra), encontraron niveles significativos de células con cariólisis (39.7 ± 4.59 ; $p < 0.001$). Adicionalmente, con respecto al daño en la citocinesis, el valor más alto se encontró en las células binucleadas (230 eventos; Tabla 1). Este biomarcador, altamente relacionado con procesos carcinogénicos, también mostró significancia estadística ($p < 0.05$) en los trabajadores de gasolineras lo que refuerza nuestras observaciones.¹

En el contexto de la seguridad ocupacional, otro resultado destacado fue el uso inadecuado o incompleto del equipo de protección personal en más del 50% de los trabajadores evaluados. El calzado de seguridad resultó ser el elemento más utilizado, mientras que los lentes de protección fueron los menos frecuentes (reportados en cuatro empleados). Esta deficiencia de protección coincide con los reportes de Alves et al.^{3,34}, En este último estudio, tras medir la frecuencia de micronúcleos en mucosa bucal, los autores concluyeron que prácticamente ningún trabajador utilizaba el equipo de protección personal de manera completa, siendo el calzado o las botas, la única pieza de uso recurrente. La similitud de estos hallazgos con nuestros resultados resalta una problemática compartida de exposición ocupacional y falta de apego a las normas de bioseguridad.

Conclusiones

La exposición ocupacional a la gasolina y sus derivados en los trabajadores del municipio de El Salto, Jalisco, induce daño citotóxico severo, evidenciado principalmente por los valores elevados de cariólisis y alteraciones en la citocinesis (células binucleadas). Al predominar estos biomarcadores de muerte celular y necrosis, puede explicar los valores bajos de los micronúcleos (biomarcadores de genotoxicidad), ya que el alto grado de toxicidad de los hidrocarburos elimina a las células antes de que este se manifieste. Asimismo, este estudio demuestra de manera concluyente que la omisión o el uso incompleto del equipo de protección personal, particularmente la falta de uso de traje y calzado de seguridad, está directamente asociado con mayor riesgo de presentar deterioro celular como cariólisis.

Ante estos hallazgos, que reafirman el riesgo ocupacional y el potencial efecto carcinogénico al que están sometidos los empleados de gasolineras evaluados, se hace evidente la urgencia de actualizar y hacer cumplir las políticas de salud ocupacional. Por lo tanto, se derivan las siguientes recomendaciones prioritarias:

- Vigilancia epidemiológica y biomonitoreo: es imperativo integrar pruebas de tamizaje no invasivas y de bajo costo (como el ensayo de micronúcleos en mucosa bucal que no son costosos) en los exámenes médicos periódicos obligatorios de los despachadores de gasolina, para detectar el daño celular en etapas tempranas.
- Fiscalización y cumplimiento normativo: las autoridades de salud y trabajo deben intensificar las inspecciones en las estaciones de servicio para garantizar el cumplimiento estricto de las normas vigentes en materia de exposición a agentes químicos. Se debe sancionar a los establecimientos que no provean el equipo de protección personal completo, ergonómico y sin costo para el trabajador.
- Programas de capacitación continua: se requiere la implementación de programas educativos obligatorios que no

Tabla 3. Asociación entre cariólisis y el uso de cada uno de los elementos del equipo de protección personal en empleados de gasolineras de El Salto, Jalisco

			Cubrebocas	Guantes	Traje	Lentes	Calzado
Rho de Spearman	Cariólisis	Coefficiente de correlación	0.312	0.212	0.624	0.105	0.563
		Sig. (bilateral)	0.207	0.398	0.006	0.679	0.015

solo instruyan sobre el uso correcto del equipo de protección personal, sino que concienticen al personal sobre los riesgos biológicos reales a largo plazo de la exposición a hidrocarburos, fomentando así una verdadera cultura de autocuidado preventivo en los empleados.

Referencias

1. Benites CI, Amado LL, Vianna RA, Martino-Roth Mda G. Micronucleus test on gas station attendants. *Genet Mol Res*. 2006; 5(1): 45-54.
2. Filho APR, Silveira MAD, do Nascimento CB, d'Arce LPG. Integrative study of cell damage and cancer risk in gas station attendants. *Int J Environ Health Res*. 2018; 28(1): 1-7. doi: 10.1080/09603123.2017.1415305.
3. Alves L, Vieira D, Nunes L, Cruz L, Reis A, Gomes Í, Luz S, Santos A, Esteves M. Relationship between Symptoms, Use of PPE and Habits Related to Occupational Exposure to BTEX Compounds in Workers of Gas Stations in Bahia, Brazil. *J Environm Protection*. (2017); 8: 650-661. doi: 10.4236/jep.2017.85042.
4. Maciel LA, Feitosa SB, Trolly TS, Sousa AL. Genotoxic effects of occupational exposure among gas station attendants in Santarem, Para, Brazil. *Rev Bras Med Trab*. 2019; 17(2): 247-253. doi: 10.5327/Z1679443520190382.
5. Sellappa S, Sadhanandhan B, Francis A, Vasudevan SG. Evaluation of genotoxicity in petrol station workers in South India using micronucleus assay. *Ind Health*. 2010; 48(6): 852-856. doi:10.2486/indhealth.MS1055
6. Rekhadevi PV, Rahman MF, Mahboob M, Grover P, Ansari KM, Venkatachalam P. Determination of genetic damage and urinary metabolites in fuel filling station attendants exposed to gasoline. *Environ Mol Mutagen*. 2011;52(4):310-318. doi:10.1002/em.20622.
7. Salem E, El-Garawani I, Allam H, El-Aal BA, Hegazy M. Genotoxic effects of occupational exposure to benzene in gasoline station workers. *Ind Health*. 2018; 56(2):132-140. doi: 10.2486/indhealth.2017-0126.
8. International Agency for Research on Cancer. Agents classified by the IARC Monographs, volumes 1-140 [Internet]. Lyon (France): World Health Organization; 2025. Cited 2026 Jan 30. Available from: <https://monographs.iarc.who.int/agents-classified-by-the-iarc/>
9. Kirkeleit J, Riise T, Gjertsen BT, Moen BE, Bråttveit M, Bruserud Ø. Effects of benzene on human hematopoiesis. *Open Hematol J*. 2008;2(1):87-102. doi: 10.2174/1874276900802010087
10. Torres BO, Martínez RS, González BAJ, Ríos EPE, Ramos IML, Arellano GME. Micronuclei and nuclear abnormalities in oral epithelial cells: effective and simple tool in early detection of individuals highly susceptible to genomic instability. *Revista Bio Ciencias*. 2024; 11: e1650
11. Holland N, Bolognesi C, Kirsch-Volders M, Bonassi S, Zeiger E, Knasmüller S, Fenech M. The micronucleus assay in human buccal cells as a tool for biomonitoring DNA damage: the HUMN project perspective on current status and knowledge gaps. *Mutat Res Rev Mutat Res*. 2008;659(1-2):93-108. doi:10.1016/j.mrrev.2008.03.007
12. Thomas P, Harvey S, Gruner T, Fenech M. The buccal cytome and micronucleus frequency is substantially altered in Down's syndrome and normal ageing compared to young healthy controls. *Mutat Res Fundam Mol Mech Mutagen*. 2008;638(1-2):37-47. doi:10.1016/j.mrfmmm.2007.08.012.
13. Shaikh A, Barot D, Chandel D. Genotoxic effects of exposure to gasoline fumes on petrol pump workers. *Internat J Occupat Environm Med*. 2018; 9(2): 79. doi:10.15171/ijoem.2018.1159
14. Shahsavari F, Mikaeli S, Ghorbanpour M. Micronucleus assay in the exfoliated cells of buccal mucosa of gasoline station workers in Tehran. *J Cancer Res Ther*. 2022;18(4):1030-1035. doi:10.4103/jcrt.JCRT_875_20.
15. Repetto JM, Repetto KG. Toxicología fundamental. 5a ed. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S.A.; 2024.
16. Mudry MD, Carballo MA. Genética toxicológica. Buenos Aires: De los Cuatro Vientos; 2006.
17. Mohamed S, Sabita U, Rajendra SV, Dang R. Genotoxicity: mechanisms, testing guidelines and methods. *Glob J Pharm Pharm Sci*. 2017;1(5):133-138. doi:10.19080/GJPPS.2017.02.555575.
18. Gagné F, Lacaze E, Bony S, Devaux A. Genotoxicity. In: *Biochemical Ecotoxicology: Principles and Methods*. Elsevier; 2014. p. 171-196. doi:10.1016/B978-0-12-411604-7.00010-6.
19. Hamilton A. Industrial poisons in the United States. New York: MacMillan; 1929.
20. Mondrala ST, Eastmond DA. Topoisomerase II inhibition by the bioactivated benzene metabolite hydroquinone involves multiple mechanisms. *Chem Biol Interact*. 2010;184(1-2):259-268. doi: 10.1016/j.cbi.2009.12.023.
21. Laskin DL, Heck DE, Punjabi CJ, Laskin JD. Role of nitric oxide in hematosuppression and benzene-induced toxicity. *Environ Health Perspect*. 1996; 104 (Suppl 6):1283-7. doi: 10.1289/ehp.961041283.
22. Kalf GF. Utility of a mouse model for studying the effects of benzene on the myeloid lineage: effects of hydroquinone on a model system. *J Toxicol Environ Health A*. 2000; 61: 399-411.
23. Larson RA, Le Beau MM. Myeloid Leukemia After Cytotoxic Therapy and Other Hematotoxins. *Hematology*. 1998;3(5):397-400. doi: 10.1080/10245332.1998.11746414.

24. French JE, Saulnier M. Benzene leukemogenesis: an environmental carcinogen-induced tissue-specific model of neoplasia using genetically altered mouse models. *J Toxicol Environ Health A*. 2000; 61(5-6): 377-9. doi: 10.1080/00984100050166389.
25. Pinilla CCA, Blandón MG, Toro OB, López MDF, Ríos GLK, Escobar DM, Velásquez RMJ. Determinación de los efectos tóxicos agudos producidos por el extracto alcohólico de *Bidens pilosa* Linné In vivo en un grupo de ratones de 7 a 10 semanas de edad. *Ciencia Latina*. 2023 2026; 7(1): 9084-98. Doi: 10.37811/cl_rcm.v7i1.5106
26. Califf RM. Biomarker definitions and their applications. *Exp Biol Med* (Maywood). 2018;243(3):213-221. doi:10.1177/1535370217750088
27. Kumar M, Sarin SK. Biomarkers of diseases in medicine. *Curr Trends Sci*. 2009; 70: 403-417.
28. Sauer JM, Porter AC; Biomarker Programs, Predictive Safety Testing Consortium. Preclinical biomarker qualification. *Exp Biol Med* (Maywood). 2018; 243(3):222-227.
29. Strimbu K, Tavel JA. What are biomarkers? *Curr Opin HIV AIDS*. 2010; 5(6): 463-6. doi: 10.1097/COH.0b013e32833ed177.
30. Bonassi S, Coskun E, Ceppi M, Lando C, Bolognesi C, Burgaz S, et al. The HUMAN MicroNucleus project on exfoliated buccal cells (HUMNXL): the role of life-style, host factors, occupational exposures, health status, and assay protocol. *Mutat Res Rev Mutat Res*. 2011;728(3):88-97. doi:10.1016/j.mrrev.2011.06.005.
31. Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco [IIEG]. Precios de combustible en el AMG. 2024. cited 2024 Nov 5. Available from: https://iieg.gob.mx/ns/?page_id=13189
32. Portela CH, Moraes KM, Luiz W, Mendonça E, Mendonça M. Proteção e qualidade de vida para trabalhadores frentistas de postos de combustíveis no município de Santarém, PA. *Rev Digital*. 2011; 16:160.
33. Wultsch G, Nersesyan A, Kundi M, Wagner KH, Ferk F, Jakse R, Knasmueller S. Impact of exposure to wood dust on genotoxicity and cytotoxicity in exfoliated buccal and nasal cells. *Mutagenesis*. 2015;30(5):701-709. doi:10.1093/mutage/gev034.
34. Cerqueira EM, Gomes-Filho IS, Trindade S, Lopes MA, Passos JS, Machado-Santelli GM. Genetic damage in exfoliated cells from oral mucosa of individuals exposed to X-rays during panoramic dental radiographies. *Mutat Res Genet Tox Environ Mutagen*. 2004;562(1-2):111-117. doi: 10.1016/j.mrgentox.2004.05.008.

© Universidad Libre. 202. Licence Creative Commons CC-by-sa/4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>

