

Caracterización y biomonitoreo de contaminantes orgánicos e inorgánicos en una zona ladrillera de San Luis Potosí

Characterization and biomonitoring of organic and inorganic contaminants in a brick-making area of San Luis Potosí

Berumen-Rodríguez, Alejandra*; Rodríguez Torres, Israel; Díaz de León-Martínez, Lorena; Díaz-Barriga, Fernando; Flores Ramírez, Rogelio.

Centro de Investigación Aplicada en Ambiente y Salud, UASLP. Avenida Sierra Leona No. 550, CP 78210, Colonia Lomas Segunda Sección, San Luis Potosí, SLP, México. Celular: (52-444) 4131565; Oficina: 8262300 ext. 8471

*aleberuambiental@gmail.com

Recibido: 27/04/2022

Aceptado: 23/05/2022

Editores: Susana García y Laura Lanari

Resumen. El sector ladrillero se caracteriza por la elaboración del ladrillo de forma artesanal donde utilizan técnicas rudimentarias, hornos de baja tecnología y diversos combustibles de poca calidad generando humos negros con gran cantidad de contaminantes. Por lo que el objetivo de este estudio fue caracterizar los metales en suelo, HAPs en aire y biomonitoreo de HAPs en trabajadores de la zona ladrillera "Las Terceras" San Luis Potosí, México. Con el fin de conocer la exposición laboral se determinó la concentración de HAPs en partículas PM_{10} , se caracterizó el suelo de la zona de trabajo y se realizó un biomonitoreo de metabolitos hidroxilados HAPs (OH-HAPs) en orina de los trabajadores. En aire se encontraron 14 de los 16 HAPs prioritarios por la Agencia de Protección Ambiental en la fracción de PM_{10} , con una concentración media de $5293,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (3,11-10510,81). Los resultados del análisis químico de los polvos mostraron que están constituidos principalmente de cuarzo (SiO_2) y arcillas (SiAlOx) con presencia de óxidos de Fe-Ti, fosfatos de tierras raras (Lantano, Cerio, Neodimio Torio), silicatos de zirconio, sulfatos de bario, óxidos de zinc. En el biomonitoreo participaron 42 trabajadores ladrilleros, los resultados de la exposición a OH-HAPs en orina demostraron la media total de los OH-HAPs de 15,7 (6,92-195) ng/ml. Estos resultados muestran que el monitoreo ocupacional de las zonas ladrilleras es importante debido al escenario de riesgo y a las condiciones precarias de este trabajo, además de la alta exposición a contaminantes que afectan la salud de los trabajadores y sus familias, así como la propuesta de estrategias que ayuden a minimizar los impactos ambientales y prevenir los efectos en salud de las poblaciones.

Palabras clave: Ladrilleras; Metales; Polvo; Composición Química; Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos.

Abstract. The brick-making sector is characterized by artisanal brick production using rudimentary techniques, low-tech kilns and various low-quality fuels that generate black fumes with a large amount of pollutants. Therefore, the objective of this study was to characterize metals in soil, PAHs in air and biomonitoring of PAHs in workers of the "Las Terceras" brick area in San Luis Potosí, Mexico. In order to know the occupational exposure, the concentration of PAHs in PM_{10} particles was determined, the soil of the work area was characterized and a biomonitoring of hydroxylated PAH metabolites (OH-HAPs) in the urine of the workers was carried out. In air, 14 of the 16 PAHs prioritized by the Environmental Protection Agency were found in the PM_{10} fraction, with an average concentration of $5293.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (3.11-10510.81). The results of the chemical analysis of the dusts showed that they are mainly constituted of quartz (SiO_2) and clays (SiAlOx) with presence of Fe-Ti oxides, rare earth phosphates (Lanthanum, Cerium, Neodymium Thorium), zirconium silicates, barium sulfates, zinc oxides. The biomonitoring involved 42 brick workers, the results of OH-HAPs exposure in urine showed the mean total OH-HAPs of 15.7 (6.92-195) ng/ml. These results show that occupational monitoring of brick-making areas is important due to the risk scenario and the precarious conditions of this work, in addition to the high exposure to pollutants that affect the health of workers and their families, as well as the proposal of strategies that help minimize environmental impacts and prevent health effects on populations.

Key words: Brick kilns; Metals; Dust, Chemical Composition; Polycyclic Aromatic Hydrocarbons.

Introducción

El crecimiento poblacional ha hecho que el ladrillo sea la materia prima más importante, por sus características que lo hacen idóneo para la construcción (Torres 2019). La composición del

ladrillo es importante para evitar el deterioro de las estructuras, sus características se han relacionado directamente con la resistencia y la durabilidad (Elert *et al.* 2003). Sin embargo, se ha evaluado

la posibilidad de la sustitución de materiales e innovación de tecnologías para el cuidado del ambiente y la salud (Enciso Urrego *et al.* 2014). Aunque este sector tiene gran impacto económico, su elaboración sigue siendo artesanal, se utilizan técnicas rudimentarias, hornos de baja tecnología y diversos combustibles de poca calidad como: basura electrónica, plásticos, llantas, madera, entre otros, que generan humos negros con gran cantidad de contaminantes (Rajarithnam *et al.* 2014) como partículas suspendidas de 10 y 2.5 micrómetros (PM_{10} y $PM_{2.5}$), metales, Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs), dioxinas, y gases de efecto invernadero que afectan el ambiente y la salud de los trabajadores como de la población aledaña, incrementando su vulnerabilidad a enfermedades crónicas.

Los HAPs son compuestos formados por dos o más anillos fusionados de benceno (ATSDR 2013) que se clasifican en función de sus anillos estructurales como de bajo peso molecular (dos o tres anillos) y de alto peso molecular (los que tienen más de 4 anillos estructurales). Estos compuestos son relevantes para la salud y el ambiente por sus características cancerígenas y mutagénicas (IARC 2010). Los HAPs pueden permanecer largos periodos de tiempo en el suelo, y por su alta afinidad pueden encontrarse en partículas suspendidas, por lo que se puede transferir a los seres humanos con facilidad a través de la ingestión, inhalación o contacto dérmico (Barrán-Berdón *et al.* 2012). El proceso de combustión que tiene los hornos ladrilleros es a temperaturas de aproximadamente 800°C, fase incompleta que permite la liberación de HAPs directamente a la atmósfera, en especial los de mayor peso molecular y más cancerígenos (Barrán-Berdón *et al.* 2012).

Se ha estudiado la contaminación por HAPs en zonas industriales como agrícolas, sin embargo, en países en desarrollo como México la presencia de estas sustancias es preocupante por su generación en otro tipo de actividades; como la combustión de madera en interiores, eliminación de basura y la fabricación de ladrillos, actividades que con frecuencia se llevan a cabo en los patios de los hogares, exponiendo a las familias a este tipo de sustancias tóxicas.

En México de acuerdo con el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (2021), en el país hay 10.083 unidades económicas ladrilleras, aunque este número podría estar subestimado, debido a que es un trabajo precario que no está regulado, siendo uno de los trabajos más olvidados, mal remunerados y poco reconocidos (Ortiz Herrera *et al.* 2020). En México son pocos los es-

tudios en estas zonas (Berumen-Rodríguez *et al.* 2020). Por lo que el objetivo de este estudio fue caracterizar químicamente el polvo de los hornos, HAPs en aire y biomonitorio de HAPs en trabajadores de la zona ladrillera "Las Terceras" de San Luis Potosí, México.

Metodología

La investigación es de corte transversal, dirigida a los trabajadores de la zona ladrillera "Las Terceras". El sitio se encuentra en la parte norte de San Luis Potosí, México (22°08'59"N 100°58'30"O) aproximadamente en la zona se encuentran alrededor de 130 hornos ladrilleros (Berumen-Rodríguez *et al.* 2020). El trabajo contó con la aprobación del comité de ética del estado de San Luis Potosí (SLP/-CEI-2018-002), cumpliendo con los principios éticos de Helsinki (AMM 2013). La participación de los trabajadores fue voluntaria y se tomaron en cuenta los siguientes criterios de inclusión: 1) Trabajara en la zona ladrillera, 2) consentimiento informado, voluntario y firmado.

Evaluación ambiental de HAPs en aire

Con el fin de conocer la exposición laboral se determinó la concentración de HAPs en partículas PM_{10} durante una semana laboral, del 28 de noviembre al 4 de diciembre de 2020, con un Hi-Vol a un flujo de 16,7 L/min a la altura del horno, en filtros de cuarzo durante 8 horas, para su análisis se siguió la metodología descrita por Bocanegra (2011), en tomar 1/3 del filtro de cuarzo y se le adicionan 30 μ L de pireno-d10 de 500 mg/L como estándar surrogado para determinar la pérdida de compuestos. Posterior se realizan dos procesos de extracción y se filtra para poder llevarlo al cromatógrafo de gases acoplado a un detector de masas, analizando los 16 HAPs prioritarios por la EPA (ATSDR 2013).

Se estimó el riesgo a la salud humana, por la inhalación de HAPs contenidos en la fracción de partículas suspendidas mediante la concentración equivalente de Benzo(a)pireno (BaP) mediante el uso de un factor de toxicidad equivalente (TEF) valor asignado por la EPA (Agencia Protección Ambiental) y por La Goy (Nisbet y LaGoy 1992) para cada uno de los HAPs.

Caracterización de polvos de hornos ladrilleros

Para las muestras de polvo se realizó un muestreo dirigido, se colectaron 3 muestras de polvo de los hornos que permitieron tener acceso. Para la obtención, se delimitó un área de 1 m² y con ayuda de una brocha se recolectó el material y almaceno en bolsas de polietileno. Posteriormente

te, la muestra se tamizó en una criba de acero inoxidable, recuperando partículas menores de 250 μm .

Las muestras se montaron en un portamuestras con resina epoxídica (Buehler 20-8140-032) y, a continuación, se esmerilaron y pulieron con discos de papel abrasivo giratorios. A continuación, se recubrieron con una fina capa de oro y se analizaron mediante microscopía electrónica de barrido (JEOL, JSM-6610LV). El microanálisis se realizó con espectroscopia de dispersión de energía de rayos X (EDS). Las muestras se caracterizaron bajo electrones retrodispersados para determinar la composición química y en modo secundario para observar la topografía superficial.

Evaluación de exposición de OH-PAH en orina

Se les solicitó a los trabajadores la primera orina de la mañana, recolectada en botes de polipropileno y refrigeradas a -30° hasta su análisis.

La evaluación de los HAPs se realizó mediante la evaluación de los metabolitos hidroxilados (OH-HAPs), con base en el método establecido por

la CDC con algunas modificaciones (CDC 2013; Díaz de León-Martínez *et al.* 2021). Esta técnica se lleva a cabo por medio de un Isotope Dilution Gas Chromatography/Tandem Mass Spectrometry (GC-MS/MS). Analizando diez metabolitos hidroxilados: 1-hidroxinaftaleno (1-OH-NAP) y 2-hidroxinaftaleno (2-OH-NAP); 2,3 y 9-hidroxifluoreno (2-OH-FLU, 3-OH-FLU, 9-OH-FLU); 1,2,3 y 4-hidroxifenantreno (1-OH-PHE, 2-OH-PHE, 3-OH-PHE, 4-OH-PHE) y 1-hidroxipireno (1-OH-PYR), obtenidos de los laboratorios LCG standards (materiales de referencia del Dr. Ehrenstrofer). Como estándar interno se utilizó 25 ppb de $^{13}\text{C}_6$ 1-OH-PYR (Cambridge Isotope Laboratories).

Resultados y discusión

Evaluación ambiental a HAPs en aire

En la *Tabla 1* se muestran las concentraciones de 14 de los 16 HAPs prioritarios por la EPA en la fracción de PM_{10} , con una concentración mediana de 99550,31 ng/m^3 , siendo los HAPs de 3 y 4 anillos los más abundantes de las muestras analizadas.

Tabla 1. Concentración de HAPs en aire (ng/m^3) del ambiente de trabajo y equivalencias a BaP.

HAPs ⁽¹⁾ n=6	Mediana (min-max) ⁽²⁾ ng/m^3	TEF ⁽³⁾	BaP _{eq} ⁽⁴⁾ ng/m^3
Naftaleno	3258,68 (1034,69-49640,97)	0,001	3,25
Acenaftileno	3015 (1505,03-75207,86)	0,001	3,01
Acenafteno	674,46 (26,21-20308,15)	0,001	0,67
Fluoreno	233,85 (94,96-29620,91)	0,001	0,23
Σ Antraceno+Fenantreno	12718,69 (8342,22-2445719,17)	0,01	127,18
Fluoroantraceno	6284,02 (101,51-8411204,32)	0,001	6,28
Pireno	4870,11 (776,42-5122319,79)	0,001	4,87
Σ Benzo(a)antraceno +Criseno	12426,97 (1528,02-4413631,68)	0,1	1242,69
Σ Benzo(b)fluoranteno +Benzo (a)pireno	33013,55 (308,71-3947638,77)	1	33013,55
Σ Indeno(1,2,3-CD) pireno+Benzopirileno	95437,30 (6,66-1347478,60)	0,1	9543,73
Σ14HAPs	99550,31 (3117,22-10510813,15)		43945,46

⁽¹⁾HAPs Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos, ⁽²⁾Min-max mínimo-máximo, ⁽³⁾TEF Factor equivalente tóxico, ⁽⁴⁾BaP_{eq} equivalencia a Benzo (a) Pireno.

Según la Organización Internacional del Trabajo (OIT) cada año mueren 2,3 millones de trabajadores a causa de un accidente o enfermedad relacionada con el trabajo, además 313 millones de trabajadores sufren de lesiones no mortales cada año, lo que implica un impacto económico de seguridad y salud en el trabajo (OIT 2017). Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) el

30 % de los trabajos tiene problemas de calidad de aire, trayendo como consecuencias directas efectos en la salud. Por lo que, se han generado reportes para la prevención de los factores ambientales para favorecer el establecimiento de directrices con el fin de tener un control de la contaminación del aire y prevenir efectos en la salud de los trabajadores (OIT 2001; 2017). Estas

regulaciones no siempre se cumplen en todos los trabajos y menos en las ocupaciones precarias: ausentes de regulaciones, vigilancia y servicios de seguridad social, como lo es el sector ladrillero. Para evaluar si las concentraciones de HAPs encontradas en este estudio representan un riesgo potencial para la salud de los trabajadores, se compararon los niveles de HAPs con los valores de referencia por inhalación (RfC) propuesto por la EPA de 2 ng/m³ el cual protege contra efectos en el desarrollo embrionario y con el de la Unión Europea en PM¹⁰ de 1 ng/m³ valor establecido con base a un indicador de riesgo carcinogénico de los HAPs (ATSDR 2013). El valor obtenido por equivalencia a BaP fue de 43945,46 ng/m³ el cual supera por encima los valores de referencia, indicando riesgo y posibles efectos a la salud en los trabajadores del ladrillo.

La Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA) estableció un límite para exposición a HAPs por metro cubico de aire de 0,2 mg/m³ y un límite de exposición permisible (PEL) en jornada

laborales de 8 horas para emisiones de aceite mineral de 5 mg/m³ y para hornos de coque y de brea de alquitran de hulla con una media de 0,1 mg/m³, los valores máximos de este estudio son superados 2 veces por los límites permisibles de esas ocupaciones. Estas ocupaciones son monitoreadas por la preocupación de exposición a contaminantes lo que ha llevado a desarrollar gran cantidad de investigaciones y directrices, el sector ladrillero deberá ser considerado dentro de estas. Se detectaron industrias donde se ha evaluado los HAPs en aire como lo son: los hornos de coque, de alquitran de hulla, fabricación de hierro y acero, fábrica de aluminio y fundiciones, fabricación de electrodos de carbono y la fabricación de asfalto (Tabla 2), estos estudios han logrado que se les brinde a los trabajadores equipo de protección, vigilancia, control y monitoreo. Este trabajo, demuestra que la actividad ladrillera tiene niveles muy parecidos de exposición a estas ocupaciones y que no se ha considerado dentro de labores de alto riesgo.

Tabla 2. Niveles de Σ HAPs en aire en 8 h de trabajo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Comparación con valores publicados en literatura científica.

Sector	n	Media	Rango	Referencia
Ladrilleras	6	5293,05	3,11-10510,81	Este estudio
Hornos de Coque	104	2,77	-	(Vimercati et al. 2020)
Bomberos	24	2,72	0,64-8,1	(Robinson et al. 2008)
Hornos de coque ⁽¹⁾	40	55,73	315,97-1678,83	(Roszbach et al. 2007)
Electrodos de grafito ⁽¹⁾	92	15,79	226,82-1848,37	
Producción refractarios ⁽¹⁾	123	38,15	364,80-2764,96	
Hornos de Coque	11	79,17	8,80-184,55	(Unwin 2006)
Hornos de Coque	13	70,66	9,93-294,63	(Unwin 2006)
Destilación de alquitran	12	278,82	51,9-1130,21	(Unwin 2006)
Revestimiento y envoltura de tuberías	11	263,64	73,34-758,22	(Unwin 2006)
Destilación del petróleo Fundición	8	68,94 1165,75	15,21-280,03 26,97-120,13	(Unwin 2006) (Unwin 2006)
Trabajadores de granulación húmeda	8	-	386-3670	(Tsai et al. 2002)
Trabajadores del embalaje	22	-	471-4810	
Planta de piedra resistente al fuego	4	12,63	0,71-36,91	(Gündel et al. 2000)

⁽¹⁾Los valores presentados son mediana (percentil 95-máximo).

BaP se ha utilizado como marcador importante de la exposición de HAPs en lugares de trabajo, este HAP cuenta con mayor número de estudios y por ende mayor cantidad de información disponible sobre sus efectos, por lo que también se utiliza su concentración de referencia (RfC). Se ha visto

que la asociación del BaP con los compuestos de 4-6 anillos se ve correlacionada y por eso se ha ocupado al BaP como marcador eficaz para la salud ocupacional (Fertmann *et al.* 2002). Los HAPs encontrados son preocupantes por la alta presencia de BaP en el 80% de las sustancias

analizadas, clasificado como cancerígeno para los humanos (grupo 1 de la IARC) (IARC 2010). Scobbie (1998) demostró que el siguiente paso para vigilar la exposición a HAPs es la medición de las sustancias individualmente, sin embargo, existen pocos límites de exposición laboral para los HAPs individuales. Por lo contrario, Unwin (2006) propone evaluar a los HAPs en conjunto de compuestos podría ser más adecuado para una evaluación de riesgos basada en toxicología, ya que no todos tienen una actividad carcinógena. El Ejecutivo de Salud y Seguridad (HSE) utilizó a nueve HAPs entre los compuestos con potencial cancerígeno para representar una medida de exposición total a HAPs (Department of Health 1994). Evaluar los 16 HAPs prioritarios permite conocer el comportamiento de la exposición ocupacional y por ende comprender las mezclas y efectos que se generan en el trabajador. Además, se ha visto que la evaluación de la exposición de HAPs en aire no basta para determinar el riesgo en los trabajadores (Unwin *et al.* 2006), por lo que el biomonitoreo es importante para determinar las mezclas de HAPs en el metabolismo.

Biomonitoreo de OH-HAPs

En el biomonitoreo participaron 42 trabajadores ladrilleros, los resultados de la exposición a OH-HAPs en orina demostraron que el 100% de los trabajadores presentaron los biomarcadores. La suma total de los OH-HAPs de 15,7 (6,92-195) ng/ml (Tabla 3).

Tabla 3. Concentraciones de OH-HAPS en orina de ladrilleros (ng/mL)

OH-HAPS	Ladrilleros (n=42) Mediana (min-max) ⁽²⁾	> %LOD ⁽¹⁾
1-OH-PYR	1,56 (1,20-2,97)	92,8
4-OH-PHE	1,76 (1,36-2,07)	30,9
2-OH-NAP	2,82 (2,26-3,5)	90,4
1-OH-NAP	1,96 (1,24-3,56)	92,8
9-OH-FLU	187,3 (109,1-220)	45,2
3-OH-FLU	1,74 (1,03-2,18)	28,5
2-OH-FLU	0,75 (0,60-1,50)	42,8
3-OH-PHE	1,01 (0,66-1,46)	23,8
1-OH-PHE	0,74 (0,44-0,99)	30,9
2-OH-PHE	0,95 (0,77-1,76)	14,3
Σ-OH-HAPS	15,7 (6,92-195)	95,8

⁽¹⁾LOD límite de detección del método - ⁽²⁾Min-máx. mínimo-máximo

Los resultados indican la alta exposición a HAPs debido a la presencia de los diez metabolitos encontrados. Los metabolitos encontrados con mayor

frecuencia fueron 1-OH-PYR, 1-OH-NAP Y 2-OH-NAP presentes en más del 90 % de los trabajadores. La presencia de estos compuestos indica que la vía de ingreso al organismo es inhalatoria por el bajo peso molecular que los diferencia de los otros compuestos. El naftaleno de este estudio se podría deber al tipo de combustibles como aceite usado utilizado en las zonas ladrilleras. El naftaleno se ha considerado como un carcinógeno potencial y también puede ser usado como un marcador de exposición de HAPs en los lugares de trabajo. Según Unwin (2006), el naftaleno es uno de los mayores representantes de los HAPs entre el 50-90 % en los lugares de trabajo, por lo que la EPA lo ha declarado como uno de los contaminantes atmosféricos más peligrosos (Kamal *et al.* 2011). El 1-OH-PYR es el metabolito del pireno y ampliamente ha sido utilizado como biomarcador de los HAPs en lugares de trabajo. Nuestros resultados indican que se detectaron niveles de este metabolito en todos los participantes, se observó que el 98 % de los participantes presentaron niveles mayores a los establecidos por (Jongeneelen 2001) de 0,24 μmol/mol Cr para personas ocupacionalmente no expuestas y no fumadoras. Se propuso el límite de 2,5 μg/L de exposición biológica para personas expuestas al término de la jornada laboral semanal, siendo nuestros valores máximos más altos a este valor, al término del día laboral. Asimismo, Jongeneelen (2014) propuso el valor de 1,9 μmol/mol Cr que oriente a trabajadores expuestos y que presentan efecto genotóxico en linfocitos, el cual el 18 % de los trabajadores están por encima de este valor que indica posibles efectos para la salud. La presencia de los metabolitos en orina indica que se están metabolizando los HAPs encontrados en aire. La exposición laboral a los hidrocarburos está considerada dentro de la IARC (Centro Internacional de Investigaciones sobre Cáncer) como cancerígena del grupo 1 por ocupaciones de riesgo como gasificación del carbón, producción de aluminio, producción de coque y pavimentación de carreteras (WHO & ILO 2021), el sector ladrillero no se encontró dentro de la clasificación. Los resultados de este estudio muestran similitud en la exposición de HAPs con las ocupaciones monitoreadas por las agencias internacionales en hornos de coque, alquitrán de hulla, aceites y carbón negro (Kang *et al.* 2002; Rossella *et al.* 2009; Tsai *et al.* 2002; Unwin *et al.* 2006; Vimercati *et al.* 2020). Se ha demostrado que la exposición a los HAPS puede ser un factor de riesgo para el desarrollo de efectos para la salud de los trabajadores asociados principalmente con marcadores de inflamación respiratoria (Barraza-Villarreal *et al.*

2015), riesgos a enfermedades cardiovasculares, diabetes, dislipidemias, efectos inmunotóxicos y daño genotóxico (Poursafa *et al.* 2017).

Caracterización de suelos de hornos ladrilleros
Los resultados del análisis químico de los polvos

hornos ladrilleros mostraron que están constituidos de cuarzo (SiO₂) y arcillas (Sial Ox) con presencia de óxidos de Fe-Ti, fosfatos de tierras raras (lantano, cerio, neodimio torio), silicatos de zirconio, sulfatos de bario, óxidos de zinc (Figura 1).

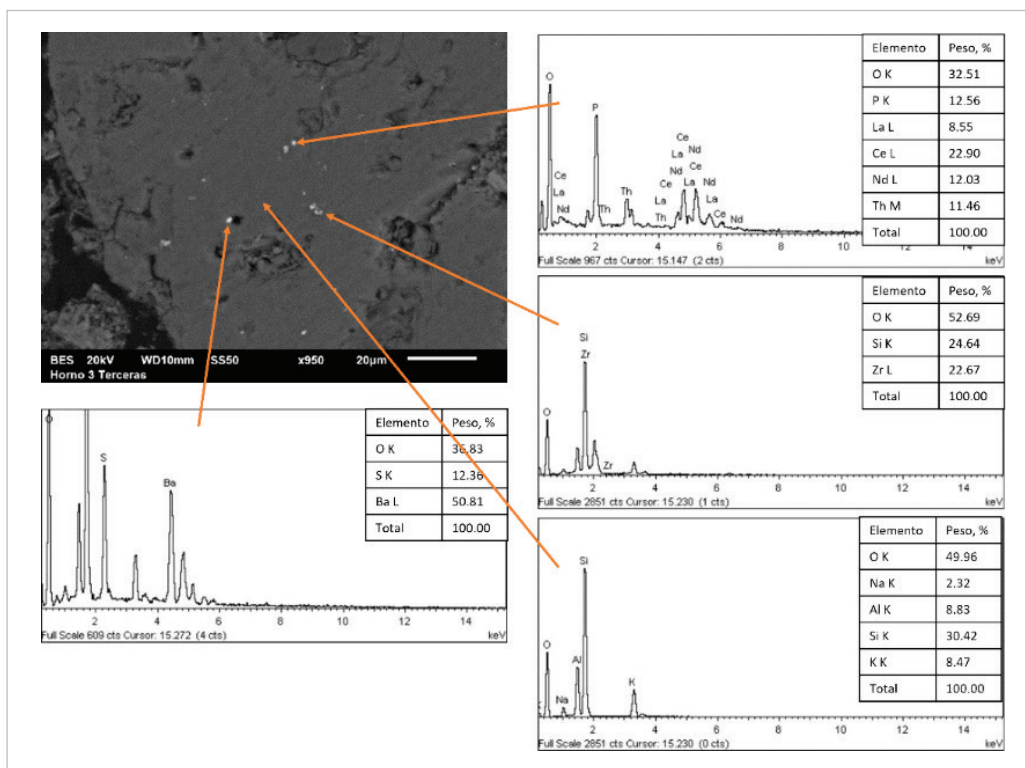


Figura 1. Caracterización de polvos de hornos ladrilleros de la zona de "Las Terceras", San Luis Potosí, México.

La arcilla encontrada es la materia prima para la elaboración del ladrillo, sus partículas sólidas al ser mezcladas con agua vuelven a este material maleable, para dar la forma al ladrillo y al perder el agua este se endurece permanentemente, ladrillo que se forma químicamente de silicatos (Norma 2005). Este tipo de compuestos hacen que el ladrillo pueda resistir la humedad y el calor. Las muestras presentaron concentraciones altas de Fe₂O₃ y TiO₂ con porcentajes de 45%, óxidos que son los elementales para la coloración rojiza del ladrillo, color que se adquiere hasta los 700°C, lo que indica que las arcillas no tendrán tonalidad blanquecina color que se obtiene al tener menos del 1% de óxido de hierro (Norma 2005). En los resultados se encontró adherido el óxido de fierro al óxido de zinc, unión que se caracteriza por tener una resistencia a la corrosión y a los rayos UV (Kiomarsipour *et al.* 2013). La

aplicación de óxido de zinc genera una gama de tonalidades para las arcillas, generando ladrillos utilizados principalmente en las fachadas. La aparición de los óxidos en las zonas ladrilleras son comunes para dar tonalidad a las arcillas e influye en los procesos de sinterización de los materiales. Tomar en cuenta la caracterización de los materiales podría influir en la regulación de la temperatura de los hornos y tiempo de cocción (Roa-Bohórquez *et al.* 2019). Diversas investigaciones han demostrado que la composición química de los ladrillos indica principalmente altas cantidades de cuarzo, óxidos de zinc, silicatos, arcillas, óxidos de hierro y calcio, congruente con lo encontrado en este estudio (Elert *et al.* 2003; Zea 2005; Roa-Bohórquez *et al.* 2019; Soto y Sánchez 2017). Los compuestos encontrados son idóneos para la fabricación de ladrillos por su plasticidad, volumen, densidad,

color, resistente a grandes cambios de temperaturas (Soto y Sánchez 2017).

Sin embargo, en esta zona ladrillera se encontraron otros elementos de la familia de los lantánidos, conocidos por estar estrechamente unidos y no se pueden separados. Elementos que son utilizados principalmente en la industria de la tecnología como: la industria automotriz, petroquímica, aleaciones, energía eléctrica, imanes, teléfonos móviles (Santos y Vera 2019), estos podrían ser ocupados por los trabajadores para generar otras fuentes de empleo.

El estudio presenta a su vez debilidades al ser un estudio transversal y piloto, número de muestras reducidas, ausencia de valores de corte que pueda indicar efecto. Sin embargo, los altos niveles de HAPs en aire y de OH-HAPs en orina de los trabajadores indican un escenario de alto riesgo, por lo que debe tomarse en cuenta para realizar intervenciones en los trabajadores del sector ladrillero, dichas intervenciones podrían basarse en la caracterización del material que se está utilizando y poder disminuir los impactos en salud y ambiente.

Conclusión

En los hornos ladrilleros se encontraron altos niveles de HAPs en aire, dominados por HAPs de 4-6 anillos, se observó que estos niveles son similares a los límites de exposición de labores de alto riesgo, monitoreada y reguladas por agencias internacionales. A su vez, se observaron altos niveles de OH-HAPs, lo que podría indicar que los humos liberados en los hornos de trabajo están siendo metabolizados por los trabajadores. Además, al abordar la caracterización química de los elementos que hay en la zona de trabajo, se tiene un potencial para buscar alternativas de trabajo y materiales sostenibles.

Por lo que el sector ladrillero deberá ser tomado como un centro laboral sostenible donde se debe tomar como pilar fundamental la salud laboral con condiciones de trabajo justas, evitando trabajos precarios como en el que se encuentra los trabajadores ladrilleros con falta de acceso a servicios de salud, servicios sanitarios, largas jornadas laborales y salarios bajos, aunado a lo anterior se encuentran expuestos a sustancias tóxicas parecidas a las de ocupaciones reguladas con límites de exposición internacionales, por lo que debe considerarse a la ocupación ladrillera dentro de las labores de alto riesgo cancerígeno con el propósito de prevención, control y vigilancia para la protección de la salud promoviendo el trabajo decente que permita seguridad ambiental y laboral.

Agradecimientos. Los autores agradecen las ayudas y becas del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología-Investigación Sectorial FOSEC SS/IMSS/ISSSTE # A3-S-38681.

Bibliografía

[AMM] Asociación Médica Mundial. 2013. Declaración de Helsinki de la AMM-Principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos.

[ATSDR] Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades]. 2013. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). [citado el 23 enero 2022]. Disponible en: <https://www.atsdr.cdc.gov/csem/polycyclic-aromatic-hydrocarbons/standards-and-regulations-for-exposure.html>

Barrán-Berdón A, García-González V, Pedraza-Aboytes G, Rodea-Palomares I, Carrillo-Chávez A, Gómez-Ruiz H, Cuellar Verduzco B. 2012. Polycyclic aromatic hydrocarbons in soils from a brick manufacturing location in central México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 28(4):277-288.

Barraza-Villarreal A, Escamilla-Nuñez M, Schilman A, Hernandez-Cadena L, Li Z, Romanoff L, Sjödin A, Río-Navarro D, Díaz-Sánchez D, Díaz-Barriga F, Sly P, Romieu I. 2015. Lung Function, Airway Inflammation, and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Exposure in Mexican Schoolchildren: A Pilot Study. *J Occup Environ Med*. 56(4):415-419. <https://doi.org/10.1097/JOM.000000000000111>

Berumen-Rodríguez A, Pérez-Vázquez F, Díaz-Barriga F, Márquez-Mireles L, Flores-Ramírez R. 2020. Environmental and human health effects caused by the Mexican bricks factories. *Salud Pública Mex*. 63(1):100-108. <https://doi.org/10.211449/11282>

[CDC] Centers of Disease Control and Prevention. 2013. Laboratory Procedure Manual Monohydroxy-Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (OH-PAHs) Isotope Dilution Gas Chromatography/Tandem Mass Spectrometry (GC-MS/MS).

Díaz de León-Martínez L, Flores-Ramírez R, Rodríguez-Aguilar M, Berumen-Rodríguez A, Pérez-Vázquez F, Díaz-Barriga F. 2021. Analysis of urinary metabolites of polycyclic aromatic hydrocarbons in precarious workers of highly exposed occupational scenarios in Mexico. *Environmental Science and Pollution Research*. 28(18):23087-23098. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12413-y>

Elert K, Cultrone G, Rodríguez Navarro C, Sebas-

tián Pardo E. 2003. Durability of bricks used in the conservation of historic buildings influence of composition and microstructure. *Journal of Cultural Heritage*. 4(2):91–99. [https://doi.org/10.1016/S1296-2074\(03\)00020-7](https://doi.org/10.1016/S1296-2074(03)00020-7)

Enciso Urrego L, Pacheco D, Rivera D, Guerrero Useda M. 2014. Análisis de factores de riesgo en trabajadores de ladrilleros de Ubaté. *IIEC*. 3(3):5-10.

Fertmann R, Tesseraux I, Schumann M, Neus H. 2002. Evaluation of ambient air concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons in Germany from 1990 to 1998. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology* 12:115–123. <https://doi.org/10.1038/sj/jea/7500206>

Gündel J, Schaller K, Angerer J. 2000. Occupational exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in a fireproof stone producing plant: biological monitoring of 1-hydroxypyrene, 1-, 2-, 3-and 4-hydroxyphenanthrene, 3-hydroxybenz(a)anthracene and 3-hydroxybenzo(a)pyrene. *Int Arch Occup Environ Health*. 73(4):270-274.

Department of Health. 1994. Committees on toxicity, mutagenicity, carcinogenicity of chemicals in food, consumer products and the environment. [citado 28 de enero 2022] Disponible en: <https://cot.food.gov.uk/sites/default/files/cot/cotcomco-annualreport1994.pdf>

[IARC] Agency for Research on Cancer. 2010. Some non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons and some related exposures. *IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum*. 92:1-853.

Jongeneelen F. 2001. Benchmark guideline for urinary 1-hydroxypyrene as biomarker of occupational exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons. *The Annals of Occupational Hygiene*. 45(1):3–13. [https://doi.org/10.1016/S0003-4878\(00\)00009-0](https://doi.org/10.1016/S0003-4878(00)00009-0)

Jongeneelen F. 2014. A guidance value of 1-hydroxypyrene in urine in view of acceptable occupational exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons. *Toxicology Letters*. 231(2):239–248. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2014.05.001>

Kamal A, Qayyum M, Cheema I, Rashid A. 2011. Biological Monitoring of Blood Naphthalene Levels as a Marker of Occupational Exposure to PAHs among Auto-Mechanics and Spray Painters in Rawalpindi. *BMC Public Health*. 11(1):467. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-11-467>

Kang J, Cho S, Kim H, Lee C. 2002. Correlation of urinary 1-hydroxypyrene and 2-naphthol with total suspended particulates in ambient air in municipal middle-school students in Korea. *Archives of Environmental Health*. 57(4):377–382. <https://doi.org/10.1080/00039890209601425>

Kiomarsipour N, Shoja Razavi R, Ghani K, Kioumarsipour M. 2013. Evaluation of shape and size effects on optical properties of ZnO pigment. *Applied Surface Science*. 270:33–38. <https://doi.org/10.1016/J.APSUSC.2012.11.167>

Nisbet I, LaGoy P. 1992. Toxic equivalency factors (TEFs) for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). *Regulatory Toxicology and Pharmacology: RTP*. 16(3):290–300. [https://doi.org/10.1016/0273-2300\(92\)90009-x](https://doi.org/10.1016/0273-2300(92)90009-x)

Zea Norma. 2005. Caracterización de las arcillas para la fabricación de ladrillos artesanales. [Guatemala]: Universidad de San Carlos Guatemala.

[OIT] Organización Internacional del Trabajo. 2001. Factores ambientales en el lugar de trabajo. [citado el 28 de diciembre de 2021] Disponible en: https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/---safework/documents/normativeinstrument/wcms_112584.pdf

[OIT] Organización Internacional del Trabajo. 2017. Trabajar juntos para promover un medio ambiente de trabajo seguro y saludable. [citado el 28 de noviembre de 2021]. Disponible en: https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_norm/---relconf/documents/meetingdocument/wcms_543632.pdf

Ortiz Herrera L, Aguilar Estrada A, Ramos Cortés R. 2020. Characterization of the brick sector, Mexico: production, marketing, poverty and territory. *Textual*. 75:243–269. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5154/r.textual.2020.75.12>

Poursafa P, Moosazadeh M, Abedini E, Hajizadeh Y, Mansourian M, Pourzamani H, Amin M. 2017. A Systematic Review on the Effects of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons on Cardiometabolic Impairment. *International Journal of Preventive Medicine*. 6(8):19. https://doi.org/10.4103/ijpvm.IJPVM_144_17

Roa-Bohórquez K, Paredes-Roa R, Lara-González L, Peña-Rodríguez G. 2019. Aplicación de FeO, ZnO y CuO como pigmentos en compuestos cerámicos. *Informador Técnico*. 83(1):30–40. <https://doi.org/10.23850/22565035.1592>

Robinson M, Anthony T, Littau S, Herckes P, Nelson X, Poplin G, Burgess J. 2008. Occupational PAH exposures during prescribed pile burns. *Ann Occup Hyg.* 52(6):497-508. [https://doi: 10.1093/annhyg/men027](https://doi.org/10.1093/annhyg/men027)

Rossbach B, Preuss R, Letzel S, Drexler H, Angerer J. 2007. Biological monitoring of occupational exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) by determination of monohydroxylated metabolites of phenanthrene and pyrene in urine. *International Archives of Occupational and Environmental Health.* 81(2):221–229. <https://doi.org/10.1007/S00420-007-0209-9>

Rossella F, Campo L, Pavanello S, Kapka L, Siwinska E, Fustinoni S. 2009. Urinary polycyclic aromatic hydrocarbons and monohydroxy metabolites as biomarkers of exposure in coke oven workers. *Occupational and Environmental Medicine.* 66(8):509–516. <https://doi.org/10.1136/oem.2008.042796>

Santos G, Vera Y. 2019. Estudio de la extracción de tierras raras ligeras a partir de la extracción líquido – líquido utilizando ácidos organofosforados y ácido ascórbico. *Revista de Metalurgia.* 55(2):e142. <https://doi.org/10.3989/revmetalm.142>

Soto G, Sánchez L. 2017. Estudio comparativo de la resistencia a la compresión, absorción y dimensionamiento del ladrillo rafón producido en Quimistán, Chamelecón y Florida, Honduras. *Innovare: Revista de Ciencia y Tecnología.* 6(1):97–116.

Tsai P, Shieh H, Lee W, Chen H, Shih T. 2002. Urinary 1-Hydroxypyrene as a Biomarker of Internal Dose of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Carbon Black Workers. *The Annals of Occupational Hygiene.* 46(2):229–235. <https://doi.org/10.1093/ANNHYG/MEF017>

Unwin J, Cocker J, Scobbie E, Chambers H. 2006. An Assessment of Occupational Exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the UK. *Ann. Occup. Hyg.* 50(4):395–403. <https://doi.org/10.1093/annhyg/mel010>

Vimercati L, Bisceglia L, Cavone D, Caputi A, De Maria L, Delfino M, Corrado V, Ferri G. 2020. Environmental Monitoring of PAHs Exposure, Biomarkers and Vital Status in Coke Oven Workers. *International Journal of Environmental Research and Public Health.* 17(7):2199. <https://doi.org/10.3390/ijerph17072199>