

Contaminación del aire y percepción de riesgos a la salud por exposición al humo de ladrilleras en una colonia en Tonalá, Jalisco, México

Air pollution and perception of health risks due to exposure to smoke from brick factories in a neighbourhood in Tonalá, Jalisco, Mexico.

J. O. Martínez-Abarca^a  M. I. Sánchez Acosta^a  M. G. Orozco-Medina^a  A. Figueroa-Montaño^b 

^a Departamento de Ciencias Ambientales, Instituto de Medio Ambiente y Comunidades Humanas, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Camino Ramón Padilla Sánchez #2100, C.P.45200, Zapopan, Jalisco, México.

^b Departamento de Física, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara, Avenida Marcelino García Barragán #1421, Boulevard, C.P. 44430, Guadalajara, Jalisco, México.

Resumen

La contaminación del aire en el mundo es causante de 7 millones de muertes al año. Se realizó un estudio de percepción social y de contaminación del aire por CO₂, PM_{2.5}, y PM₁₀ en abril 2021 en Tonalá, Jalisco, México. Se utilizó el equipo Urban Sensor Board SCK2.1, que contiene sensores AMS CCS811 y PMS 5003. Las concentraciones de CO₂ rebasaron lo recomendado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) 2020-2060 (590-710 ppm), se registraron valores por encima de la media diaria con relación a las guías de calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS) PM_{2.5}-25 µg m⁻³, PM₁₀-50 µg m⁻³, así como para la normatividad mexicana (PM_{2.5}-41 µg m⁻³, PM₁₀-70 µg m⁻³). Los participantes refieren dolor de cabeza (28%), dificultad para concentrarse (9%) y molestias respiratorias (47%). Este tipo de estudios permiten tener una primera aproximación al diagnóstico ambiental y al desarrollo de políticas públicas.

Palabras Clave: Salud ambiental, calidad del aire, ladrilleras

Abstract

Air pollution in the world is responsible for 7 million deaths a year. A study of social perception and air pollution by CO₂, PM_{2.5}, and PM₁₀ was carried out in April 2021 in Tonalá, Jalisco, Mexico. The Urban Sensor Board SCK2.1 equipment was used, which contains AMS CCS811 and PMS 5003 sensors. CO₂ concentrations exceeded that recommended by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2020-2060 (590-710 ppm). For particle matter, values exceeded guidelines of the World Health Organization (WHO) PM_{2.5}-25 µg m⁻³, PM₁₀-50 µg m⁻³, as well as Mexican regulation (PM_{2.5}-41 µg m⁻³, PM₁₀-70 µg m⁻³). Participants reported headache (28%), concentrating disturbance (9%) and respiratory discomfort (47%). This type of study makes a significant contribution to environmental diagnosis and contributes to the development of integrative public policies.

Keywords: Environmental health, air quality, brickyards

1. Introducción

En los últimos años se ha dado una migración acelerada de los entornos rurales a los urbanos en búsqueda de una mejor calidad de vida, lo que ha traído como consecuencia que los planes de ordenamiento territorial de las ciudades pasen desapercibidos (Lamy *et al.*, 2019). Según el informe sobre las perspectivas de la urbanización mundial de las Naciones

Unidas (2015), el 80% de la población de Latinoamérica reside en zonas urbanas, lo que ha desencadenado procesos internos de transformación de metrópolis a megaciudades. Tal cambio ha generado, necesidades de empleo y de servicios básicos, así como una sobreexplotación de recursos naturales y consecuentemente problemas de degradación ambiental (Núñez, 2015).

*Autor para la correspondencia: martha.orocho@academicos.udg.mx

Correo electrónico: javier.mabarca@alumnos.udg.mx (Javier Omar Martínez-Abarca), maria.sacosta@alumnos.udg.mx (María Iliana Sánchez-Acosta), martha.orocho@academicos.udg.mx (Martha Georgina Orozco-Medina), arturo.fmontano@academicos.udg.mx (Arturo Figueroa-Montaño).

Una de las actividades económicas precarias que se han desarrollado en localidades de la periferia de la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG), es la elaboración artesanal de ladrillos, que tiene un gran impacto en la calidad del aire por la cantidad de emisiones contaminantes durante su proceso de fabricación (Berumen et al., 2021).

A nivel nacional, Jalisco es uno de los estados con mayor producción de ladrillos artesanales seguido de Puebla. En Jalisco se cuenta con un aproximado de dos mil quinientas ladrilleras, de las cuales quinientas se localizan en el municipio de Tonalá, y se encuentran distribuidas en distintas colonias como los son Santa Paula, Jauja, Santa Isabel, Guadalupana la Punta, Coyula, entre otras (Chávez, 2018).

El Programa “Vamos Juntos” y la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (SEMADET) reportaron como los principales contaminantes atmosféricos emitidos por los hornos ladrilleros al monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), compuestos orgánicos volátiles (COV), y el material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}), así como dioxinas y furanos altamente tóxicos provenientes de la quema de combustibles sintéticos en los hornos. Dicho problema ha causado una sinergia muy alarmante con las emisiones de la elevada afluencia de vehículos en la ciudad (SEMADET, 2016).

La exposición a los contaminantes emitidos por las ladrilleras artesanales además de ocasionar problemas respiratorios, pueden causar alteraciones del ADN. En células somáticas incrementa la incidencia de ciertos tumores y en células germinales las alteraciones se transmiten a la descendencia (Calderón et al., 2020; Bickham et al., 2000). De esta forma las futuras generaciones, podrían tener una alteración a escala celular, creando así una modificación de su estructura genética (Bradley, 2007).

que GWP es una estimación de cuánto contribuye un gas de efecto invernadero al forzamiento radiativo de la Tierra. El dióxido de carbono (CO₂) tiene un GWP de 1, por definición, por lo que un gas con un GWP de 50 aumentaría el forzamiento radiativo 50 veces más que la misma cantidad (masa) de CO₂.

Así como las partículas con un diámetro de 10 micras o menos (PM₁₀, PM_{2.5}) que pueden alojarse en los pulmones o atravesar la barrera pulmonar y entrar en el sistema sanguíneo llevando su toxicidad a diferentes órganos del cuerpo (Figuroa et al., 2018). La exposición crónica a PM contribuye al riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como diferentes carcinomas relacionados al sistema respiratorio (OMS, 2021).

Dado que la fabricación de ladrillos tiene una grave repercusión en la salud y en la degradación de los ecosistemas, el objetivo de la presente investigación fue analizar la contaminación del aire por exposición al humo de ladrilleras en Tonalá, Jalisco, México; y conocer la percepción de las molestias a la salud.

2. Materiales y métodos

Se utilizó el dispositivo Urban Sensor Board (USB-SCK2.1), que está provisto de una serie de sensores para el monitoreo ambiental (Camprodon et al., 2019). Los sensores utilizados en el estudio se describen en la Tabla 1. En particular se estudió el mes de abril 2021, con base a los valores minutales, a partir de los cuales se calcularon promedios horarios para verificar los límites establecidos por la regulación internacional como el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (CO₂) (IPCC, 2007), y la OMS (PM_{2.5} y PM₁₀), así como la normatividad nacional (NOM-025-SSA1-2021, PM_{2.5} y PM₁₀).

Tabla 1: Sensores ambientales incluidos en el Urban Sensor Board SCK2.1

<i>Mediciones</i>	<i>Unidades</i>	<i>Sensor</i>
Temperatura del aire	° C	Sensirion SHT-31
Humedad relativa	% RH	Sensirion SHT-31
Nivel de ruido y espectro FFT	dBA, dBC, dBZ	Invensense ICS-434342
Luz ambiental	Lux	Rohm BH1721FVC
Presión barométrica, AMSL (metros sobre el nivel del mar)	kPa, m	NXP MPL3115A26
*CO ₂ eq y VO _C eq	Ppm	AMS CCS811
Material particulado *PM _{2.5} y *PM ₁₀	µg m ⁻³	PMS 5003

Fuente: Camprodon et al., 2019

*Sensores utilizados en el estudio

De acuerdo con Chamberlín (2008), el dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq) es una estimación de la concentración de CO₂ (en ppm) que causaría un nivel determinado de forzamiento radiativo o, en otras palabras, es la cantidad de CO₂ que tendría el mismo *Potencial de Calentamiento Global* (por sus siglas en inglés GWP) que una cantidad dada de un gas determinado (o mezcla de gases). Simplemente se calcula multiplicando el valor de GWP del gas por la masa. Por ejemplo, durante un período de 100 años, el metano tiene un GWP de 25, por lo que 1 gramo de metano tiene un valor equivalente de dióxido de carbono de 25 gramos.

En investigaciones desarrolladas por González & Carlsson (2007), Chamberlín (2008) y Pérez et al., (2020), mencionan

El USB-SCK2.1 se instaló para medir de forma continua las emisiones, en una finca ubicada en una colonia en el municipio de Tonalá, Jalisco, México.

Se evaluaron diferencias estadísticamente significativas entre las concentraciones promedio entre horas y días de la semana. El método estadístico utilizado fue el ANOVA multifactorial utilizando el software estadístico STATGRAPHIC® XIX.

El ANOVA analiza las fuentes de variabilidad días y horas en la concentración de CO₂ y material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀). El estadístico de prueba para valorar la significancia estadística de los efectos evaluados es la F-Fisher con un α=0.05. De manera complementaria a la valoración de los

efectos, se realizó una prueba de múltiples rangos mediante un contraste de medias con respecto a las horas del día y días de la semana. El estadístico de prueba que valoras si existen diferencias estadísticamente significativas entre los efectos promedio es la t-student ($\frac{\alpha}{2}, N - a$).

Se diseñó un cuestionario en Google Forms para conocer las molestias y problemas a la salud percibidos por los vecinos expuestos al humo de las ladrilleras. La encuesta se integró por nueve preguntas: sexo, edad, forma de transporte, hábitos de tabaquismo, percepción de calidad del aire, tiempo que pasan fuera de casa, denuncia ante las autoridades competentes, principales contaminantes en la colonia y las molestias que percibe dentro de casa. Con los resultados derivados del cuestionario se tiene una mejor aproximación de lo reportado por los encuestados (Rangel & Hernández, 2018).

Como herramienta de consulta, el cuestionario permitió valorar si las afectaciones a la salud que se refirieron son provocadas por la exposición al humo de ladrilleras o por alguna otra fuente de exposición. En el cuestionario participaron de manera voluntaria 21 vecinos.

3. Resultados

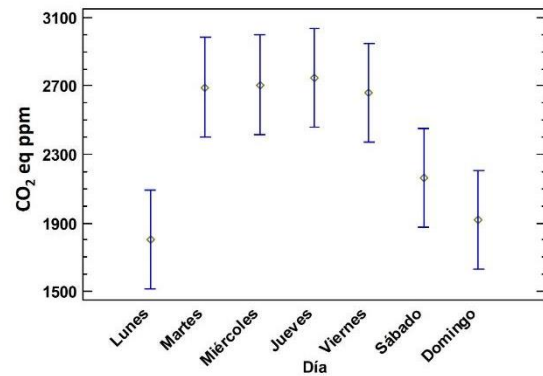
Se presentan los resultados organizados en apartados que comprenden los datos registrados de Dióxido de Carbono equivalente, Material particulado menor a 10 y a 2.5 micras (PM₁₀ y PM_{2.5}) y las molestias y quejas de los vecinos referidas a través de las encuestas.

3.1 Dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq)

Durante el estudio el CO₂ registró un valor promedio de 2,384.04±1,909.002 eq con un coeficiente de variación del 80.10%. El rango de ocurrencia de estos valores osciló entre 411-7,992 eq. Los valores mínimos se presentaron durante madrugada (01:00-05:00 horas) los lunes y los máximos por la tarde (14:00-18:00 horas) los jueves respectivamente.

La Gráfica 1, presenta los promedios diarios donde se puede observar que durante los lunes y los fines de semana hay una disminución en la producción de ladrillo, a diferencia de los días comprendidos de martes a viernes, lo que hace evidente que existe un incremento en la producción. Lo anterior puede tener relación con los días de descanso del personal de las ladrilleras que corresponde a los fines de semana y la mayor producción de martes a viernes con el mayor promedio de emisiones, lo cual se confirmó en una visita al sitio. En algunas ocasiones pueden presentarse eventos anómalos como incendios, sobre todo en época de secas, lo cual puede contribuir a incrementar el nivel de emisiones a la atmósfera, que aunado a las temperaturas influye de forma significativa en una deficiente calidad ambiental.

El análisis de varianza (Tabla 2) arrojó efectos significativos para el efecto simple: Día, con un valor P<0.05 sobre la variable respuesta (concentración de dióxido de carbono equivalente).



Gráfica 1: Concentración promedio de CO₂ por días de la semana.

Tabla 2: Análisis de varianza para CO₂ eq

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A: Hora	1.08534E8	23	4.71888E6	1.13	0.3072
B: Día	9.68433E7	6	1.61406E7	3.87	0.0009
<i>Interacciones</i>					
AB	1.36594E8	138	989812.	0.24	1.0000
Residuo	2.10468E9	504	4.17595E6		
Total	2.44665E9	671			

(Corregido)

La prueba de múltiples rangos (Tabla 3) propone tres grupos homogéneos donde las diferencias intragrupo no son estadísticamente significativas. En el primer grupo destacan los lunes, domingo y sábado, cuyas diferencias entre medias no son estadísticamente significativas. En el segundo grupo homogéneo resultaron los días: sábado, viernes, martes y miércoles. En el tercer grupo con concentraciones ligeramente mayores a los dos anteriores, se encontraron los días: viernes, martes, miércoles y jueves. Con lo anterior se confirma con un 95% de confianza estadística, que las diferencias entre grupos son estadísticamente significativas, pero no así las diferencias intra grupales.

Tabla 3: Grupos homogéneos en base a las diferencias estadísticas menos significativas (LSD) para CO₂ eq por día.

Día	Casos	Efectos promedio	Grupos homogéneos
Lunes	96	1804.86	X
Domingo	96	1916.58	X
Sábado	96	2162.43	XX
Viernes	96	2661.65	XX
Martes	96	2691.91	XX
Miércoles	96	2706.02	XX
Jueves	96	2744.86	X

En la tabla 4 se muestran las diferencias estadísticamente significativas en contraste con el valor LSD.

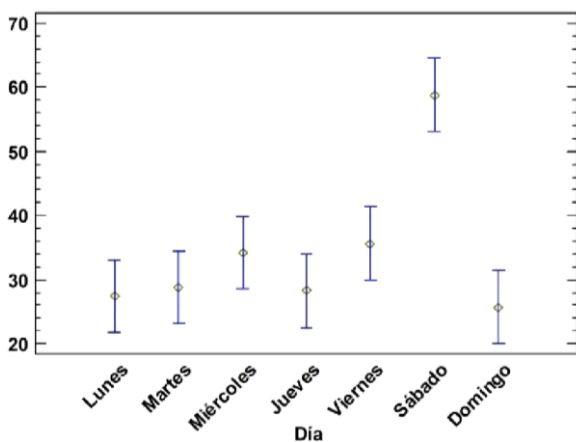
Tabla 4: Diferencias estadísticamente significativas (*) entre los efectos promedio

Contraste	Sig.	Diferencias absolutas	LSD
Lunes - martes	*	887.04	579.49
Lunes - miércoles	*	901.15	579.49
Lunes - jueves	*	940.00	579.49
Lunes - viernes	*	856.78	579.49
Lunes - sábado		357.56	579.49
Lunes - domingo		111.71	579.49
Martes - miércoles		14.11	579.49
Martes - jueves		52.95	579.49
Martes - viernes		30.26	579.49
Martes - sábado		529.47	579.49
Martes - domingo	*	775.32	579.49
Miércoles - jueves		38.84	579.49
Miércoles - viernes		44.37	579.49
Miércoles - sábado		543.59	579.49
Miércoles - domingo	*	789.43	579.49
Jueves - viernes		83.21	579.49
Jueves - sábado	*	582.43	579.49
Jueves - domingo	*	828.28	579.49
Viernes - sábado		499.21	579.49
Viernes - domingo	*	745.06	579.49
Sábado - domingo		245.84	579.49

3.2 PM_{2.5}

La concentración de PM_{2.5}, registró un valor promedio de 34.14±38.85 µg m⁻³ con un coeficiente de variación de 113.81 %. El rango de ocurrencia de este contaminante osciló entre 4-506 µg m⁻³. Los valores mínimos se presentaron en horarios nocturnos de 19:00-21:00 horas los domingos y los valores máximos entre 05:00-11:00 horas los sábados.

La Gráfica 2 muestra la comparación de la concentración promedio de PM_{2.5} por días de la semana. La prueba LSD identificó como los días de menor concentración promedio de PM_{2.5} el lunes, martes, miércoles, jueves y viernes (Tabla 6). Por otro lado, el día que mayor concentración registró fue el sábado.



Gráfica 2: Promedio de concentración de PM_{2.5} por días de la semana

El análisis de varianza (Tabla 5) arrojó efectos significativos para el efecto simple: Día, con un valor P<0.05 sobre la variable respuesta (Concentración de PM_{2.5}).

Tabla 5: Análisis de varianza para PM_{2.5}

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A: Hora	34623.0	23	1505.35	0.80	0.7361
B: Día	89103.2	6	14850.5	7.87	0.0000
<i>Interacciones</i>					
AB	122182.	138	885.375	0.47	1.0000
Residuo	951410	504	1887.72		
Total	1.19732E6	671			

(Corregido)

La prueba de múltiples rangos (Tabla 6) señala la existencia de dos grupos homogéneos: uno que contiene los días domingo, lunes, jueves, martes, miércoles y viernes y otro grupo con el sábado.

Tabla 6: Grupos homogéneos en base a las diferencias estadísticas menos significativas (LSD) para PM_{2.5} por día

Día	Casos	Efectos promedio	Grupos homogéneos
Domingo	96	25.75	X
Lunes	96	27.51	X
Jueves	96	28.25	X
Martes	96	28.85	X
Miércoles	96	34.18	X
Viernes	96	35.61	X
Sábado	96	58.79	X

En la tabla 7 se muestran las diferencias que resultaron estadísticamente significativas con base al contraste de efectos promedio, denotadas por un asterisco.

Tabla 7: Diferencias estadísticamente significativas (*) entre las medias

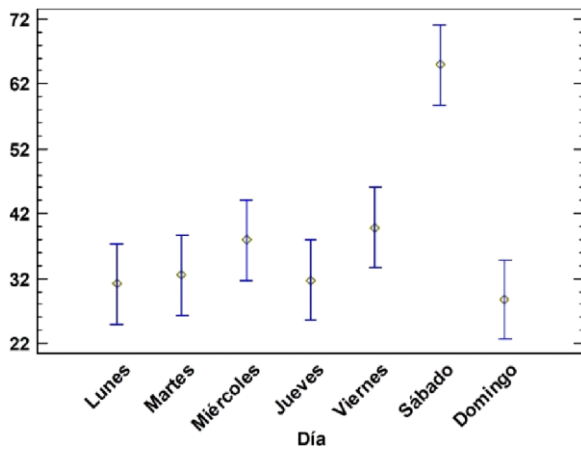
Contraste	Sig.	Diferencias absolutas	LSD
Lunes - martes		1.34	11.34
Lunes -miércoles		6.67	11.34
Lunes - jueves		0.73	11.34
Lunes - viernes		8.10	11.34
Lunes - sábado	*	31.28	11.34
Lunes - domingo		1.76	11.34
Martes - miércoles		5.33	11.34
Martes - jueves		0.60	11.34
Martes - viernes		6.76	11.34
Martes - sábado	*	29.93	11.34
Martes - domingo		3.10	11.34
Miércoles - jueves		5.93	11.34
Miércoles - viernes		1.42	11.34
Miércoles - sábado	*	24.60	11.34
Miércoles - domingo		8.43	11.34
Jueves - viernes		7.36	11.34
Jueves - sábado	*	30.54	11.34
Jueves - domingo		2.50	11.34
Viernes - sábado	*	23.17	11.34

Viernes - domingo		9.86	11.34
Sábado - domingo	*	33.04	11.34

3.3 PM₁₀

La concentración de PM₁₀, registró un valor promedio de 38.13±42.24 µg m⁻³ con un coeficiente de variación de 110.77 %. El rango de ocurrencia de este contaminante osciló entre 5-547 µg m⁻³. Los valores mínimos se presentaron en horarios nocturnos de 19:00-21:00 horas los domingos y los valores máximos entre 05:00-11:00 horas los sábados respectivamente.

La Gráfica 3, presenta los promedios de cada día de la semana donde sobresale el sábado con la mayor concentración durante el estudio. Los resultados de la prueba LSD identificó como el día de mayor concentración el sábado. Por otro lado, los días con menor concentración fueron lunes, martes, miércoles, jueves, viernes y domingo.



Gráfica 3: Promedio de concentración de PM₁₀ por días de la semana

El análisis de varianza (Tabla 8) arrojó efectos significativos para el efecto simple: Día, con un valor P<0.05 sobre la variable respuesta (Concentración de PM₁₀).

Tabla 8: Análisis de varianza para PM₁₀

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A: Hora	27477.7	23	1194.68	0.75	0.7984
B: Día	75538.3	6	12589.70	7.86	0.0000
<i>Interacciones</i>					
AB	102563.	138	743.21	0.46	1.0000
Residuo	807288.	504	1601.76		
Total	1.01287E6	671			

(Corregido)

La prueba de múltiples rangos (Tabla 9) señala la existencia de dos grupos homogéneos donde las diferencias intragrupo no son significativas, pero no así para las diferencias entre grupos.

Tabla 9: Grupos homogéneos en base a las diferencias estadísticas menos significativas (LSD) para PM₁₀ por día

Día	Casos	Efectos promedio	Grupos homogéneos
Domingo	96	28.79	X
Lunes	96	31.15	X
Jueves	96	31.75	X
Martes	96	32.55	X
Miércoles	96	37.92	X
Viernes	96	39.84	X
Sábado	96	64.91	X

En la tabla 10 se muestran las diferencias que resultaron estadísticamente significativas en base al contraste de efectos promedio, denotadas por un asterisco.

Tabla 10: Diferencias estadísticamente significativas (*) entre las medias

Contraste	Sig.	Diferencias absolutas	LSD
Lunes - martes		1.39	12.32
Lunes - miércoles		6.77	12.32
Lunes - jueves		0.59	12.32
Lunes - viernes		8.68	12.32
Lunes - sábado	*	33.76	12.32
Lunes - domingo		2.36	12.32
Martes - miércoles		5.37	12.32
Martes - jueves		0.80	12.32
Martes - viernes		7.29	12.32
Martes - sábado	*	32.36	12.32
Martes - domingo		3.76	12.32
Miércoles - jueves		6.17	12.32
Miércoles - viernes		1.91	12.32
Miércoles - sábado	*	26.98	12.32
Miércoles - domingo		9.13	12.32
Jueves - viernes		8.09	12.32
Jueves - sábado	*	33.16	12.32
Jueves - domingo		2.95	12.32
Viernes - sábado	*	25.07	12.32
Viernes - domingo		11.05	12.32
Sábado - domingo	*	36.12	12.32

Figuroa *et al.*, (2016) encontró que, en la Zona Metropolitana de Guadalajara, las partículas PM₁₀ y el O₃ tienen relación con el número de muertes por enfermedades respiratorias (neumonía) y cardiovasculares, durante periodos en que la temperatura era más elevada, (abril-junio).

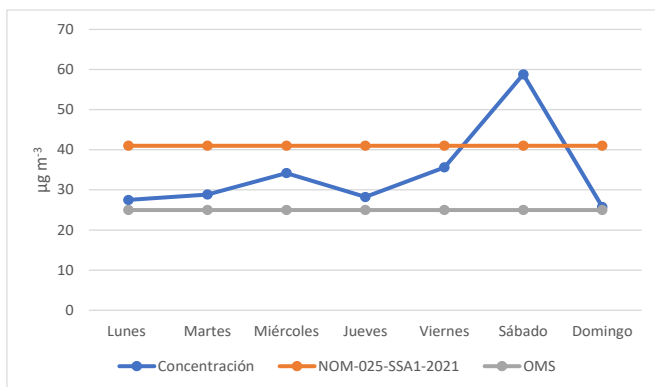
En México no existe una norma oficial que regule el CO₂ por lo que sus estimaciones se toman de organismos internacionales como el IPCC. Para el material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀) se cuenta con la NOM-025-SSA-2021, como medida de protección a la salud de la población, aunque dichos estándares son mayores a los recomendados por la OMS (Tabla 11).

Tabla 11: Valores establecidos en la normatividad mexicana, concentración objetivo del IPCC y guías calidad del aire OMS.

Criterio	Tiempo	Norma Oficial Mexicana	Límite recomendado por la IPCC
----------	--------	------------------------	--------------------------------

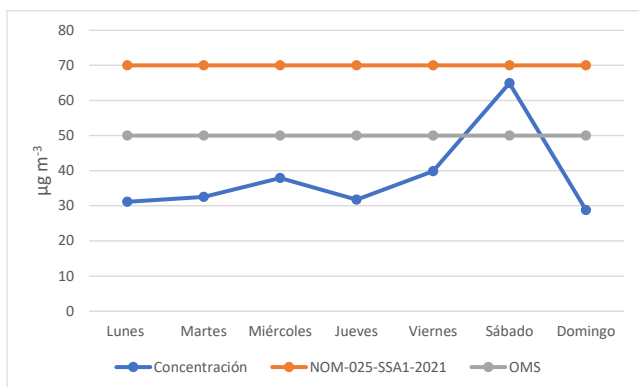
Dióxido de carbono (CO ₂) equivalente			
2020-2060	No aplica	590-710 ppm	
Criterio	Tiempo	NOM-025-SSA1-2021	Límite recomendado por la OMS
Partículas menores a 2.5 micrómetros (PM _{2.5})	24 horas	41 µg m ⁻³	25 µg m ⁻³ (24 horas)
	Anual	10 µg m ⁻³	
Partículas menores a 10 micrómetros (PM ₁₀)	24 horas	70 µg m ⁻³	50 µg m ⁻³ (24 horas)
	Anual	36 µg m ⁻³	

Todos los días de muestreo superaron lo establecido por el IPCC, coincidiendo los días con más altos registros con los de quema en las ladrilleras. Mientras que, en todos los días, las PM_{2.5} sobrepasaron lo recomendado por la OMS (Gráfica 4) y solo el sábado la norma oficial mexicana.



Gráfica 4: Días que excedieron los límites permisibles de PM_{2.5}.

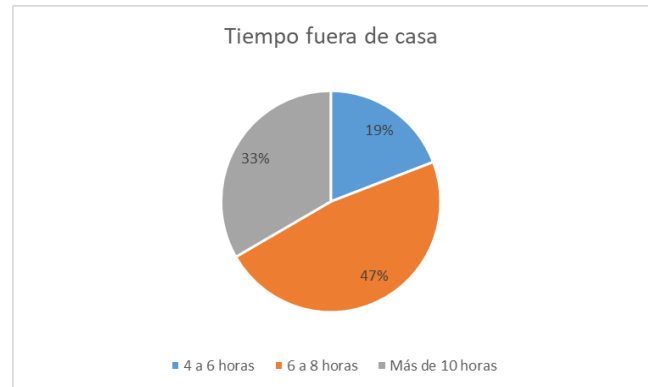
Las PM₁₀ no excedieron la norma oficial mexicana, pero sí la de la Organización Mundial de la Salud (OMS), durante la actividad de las ladrilleras en sábado (Gráfica 5). Es frecuente que las regulaciones nacionales estén por debajo de lo que refieren las instancias internacionales como la OMS.



Gráfica 5: Días que excedieron los límites permisibles de PM₁₀

3.4 Encuestas

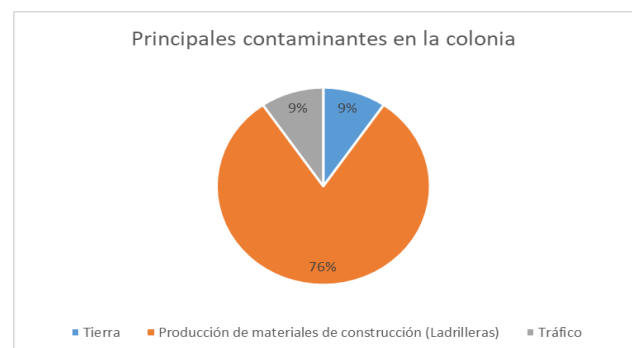
Se hicieron varios intentos para motivar la participación de los vecinos en las encuestas, pero debido a la pandemia, se complicó la comunicación directa con los afectados, aun así, se encuestaron a un total de 21 personas voluntarias de las cuales 15 eran mujeres y 6 hombres, ambos en el rango de edad 20-60 años. Los resultados arrojaron que el 47% dice permanecer de 6 a 8 horas diarias fuera de casa (Gráfica 6), el 57% utiliza su carro como medio de transporte y el 28% utiliza el transporte público, el 81% menciona que no fuma, pero el 23% cuenta con un miembro en casa que si fuma.



Gráfica 6: Horas que pasan las personas fuera de casa.

En cuanto a la percepción ambiental, refieren que la calidad del aire en la colonia va de regular a mala y el 52% opina que la calidad del aire dentro de casa es buena. El 76% cree que la principal razón de la contaminación en la colonia son las ladrilleras que se encuentran en la zona (Gráfica 7), así mismo el 57% nunca lo ha denunciado con las autoridades competentes.

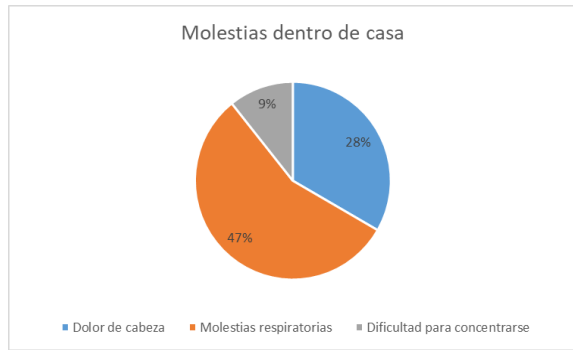
Contrasta la opinión de la gran mayoría de los habitantes, con relación a responsabilidad de las ladrilleras de la mala calidad del aire, sin embargo, existe un porcentaje bajo con relación a denunciar la necesidad de atención por parte de las autoridades competentes.



Gráfica 7: El principal motivo de contaminación en la colonia

En la percepción de molestias a la salud, los participantes encuestados reportaron lo siguiente, mientras permanecen en casa: dolor de cabeza (28%), dificultad para concentrarse (9%), molestias respiratorias (47%) como lo son la irritación

en la nariz, irritación de la garganta, estornudos y dificultad para respirar (Gráfica 8).



Gráfica 8: Molestias reportadas estando dentro de casa.

4. Discusión

Un estudio realizado en una localidad en Colombia por Suárez & Devia (2016) señalan una concentración de hasta 1400 ppm de CO₂ eq en ladrilleras construidas industrialmente.

El perfil de personas que participan en la producción artesanal de ladrillo que se presenta en esta publicación, no utilizan el equipo de protección personal para vías respiratorias, lo que representa un grave peligro la salud de los trabajadores y las familias que viven en el mismo vecindario que se dedican a otro tipo de actividades, lo cual representa una exposición pasiva.

La mayoría de las pequeñas unidades ladrilleras en la zona se encuentran fuera de los límites permisibles por la ley y el ordenamiento ecológico del territorio en la periferia de la ciudad.

Uno de los factores que también puede influir en la calidad del aire es la presencia de compuestos tóxicos derivados del combustible utilizado (Berumen *et al.*, 2021). En la zona de estudio, utilizan principalmente madera, neumáticos y otros polímeros derivados del petróleo como plásticos en general y bolsas de plástico).

Rincón & Wellens (2011) señalan que es de vital importancia evitar las quemadas de neumáticos y plásticos, debido a las emisiones ricas en CO₂, PM_{2.5} y PM₁₀, SO_x, NO_x, CO y COV, que producen graves afectaciones al sistema respiratorio y cardiovascular, daño genético, mareos, dolor de cabeza y náuseas (Figueroa *et al.*, 2018). En su lugar debieran utilizarse combustibles con menores emisiones contaminantes, como la cáscara de café y coco o bien se pueden buscar alternativas en colaboración con las autoridades municipales para analizar restos de residuos de jardinería, malezas u otros residuos vegetales que son menos contaminantes.

Según información de la OMS (2021), el material particulado (PM) es un indicador común de la contaminación del aire, que afecta a más personas a diferencia de otros contaminantes. La OMS reconoce que los componentes principales de PM son los sulfatos, nitratos, el amoníaco, el cloruro de sodio, el hollín, polvos minerales y agua, que forman una compleja mezcla de partículas sólidas y líquidas de sustancias orgánicas e inorgánicas suspendidas en el aire. Dichos componentes son estructuras básicas que conforman los materiales que utilizan los trabajadores (Tabla 12) durante

las quemadas en las ladrilleras (González & Yáñez, 2021; Estrella, 2014).

Tabla 12: Impacto de los tipos de combustibles utilizados en ladrilleras artesanales (Fuente: Estrella, 2014)

Combustible	Grado de contaminación atmosférica	Efecto adicional sobre el entorno
Neumáticos	Muy alto	Ennegrecimiento del entorno, suelo, casas, etc.
Plásticos (bolsas, botellas, etc.)	Muy alto	No precisado
Madera	Medio	Deforestación por consumo indiscriminado, erosión de suelos, disminución de lluvias
Aserrín de madera	Medio	Aprovechamiento de residuos
Hidrocarburo líquido (Diesel, residual)	Medio	Riesgo de contaminación de suelo por derrames
Estiércol de bovino	Muy alto	Gases contaminantes y PM ₁₀

En el caso de PM_{2.5}, se registró una concentración mínima de 4.0 µg m⁻³ y la mayor de 506 µg m⁻³. Para PM₁₀ una mínima de 5.0 µg m⁻³ y la mayor de 547 µg m⁻³. De acuerdo con el promedio de concentración de PM_{2.5} por días de la semana, todos rebasan lo recomendado por la OMS (15 µg m⁻³) de la media diaria. Para la concentración de partículas suspendidas PM₁₀ y PM_{2.5} en el aire ambiente y criterios para su evaluación en México, que señala la NOM-025-SSA1-2021. Dicha norma menciona que no debe superarse los 41 µg m⁻³ en promedios diarios, lo que supone una notable diferencia entre ambos límites. Así mismo para PM₁₀ el único día que rebasó los límites permisibles por la OMS (45 µg m⁻³), fueron los sábados, sin embargo, la norma citada establece un valor máximo de 70 µg m⁻³, lo cual significa que los valores detectados están dentro de los límites permisibles.

Galvis *et al.*, (2022) mencionan que los hornos artesanales son los que más emisiones arrojan a la atmósfera por no encontrarse regulados y hacerlo de forma clandestina. En un estudio que realizó en Colombia reconoce que las PM_{2.5} son las partículas que mayor concentración tuvieron los hornos artesanales a diferencia de otro tipo de hornos, volviéndolo un peligro inminente para la salud de los humanos, lo cual llama la atención, por los resultados que se presentan en la Gráfica 4.

González & Zamorategui (2017) en un estudio de una región en Guanajuato demostraron que las emisiones de las

ladrilleras, superan los límites establecidos por la NOM-025-SSA1-2014 para un promedio de 24 horas, además demuestra que las mediciones fuera de la zona de las ladrilleras son menores que en los lugares próximos a los hornos, siendo mayor los viernes y los sábados, debido a que la mayor parte de las ladrilleras realizan el proceso de cocción del ladrillo los fines de semana, situación que se puede observar en los resultados de las Gráficas 4 y 5.

Durán & Mantilla (2018) señalan a los hornos artesanales como uno de los que más contaminantes liberan a la atmósfera, en su estudio en Colombia compararon tres tipos de hornos: el intermitente, el continuo y el artesanal, siendo el artesanal el segundo que más PM_{2.5} produce, después del horno tipo intermitente, lo cual se confirma a través de los hallazgos registrados en la presente investigación.

En un diagnóstico ambiental realizado en una comunidad de Zapopan, Jalisco, México, Noriega *et al.*, (2018) identificaron elevadas concentraciones de partículas PM_{2.5} y PM₁₀ en una colonia de la periferia, catalogándola como una zona de peligro, situación que tiene relación con las elevadas emisiones del tráfico causado por vehículos automotores y el vertido de desperdicios a un arroyo cercano, lo cual genera aerosoles que repercuten en la salud de los habitantes del vecindario, causantes de náuseas, dolor de cabeza y estrés.

Por otro lado, en lo que concierne a la percepción de los pobladores con relación a la producción de ladrillos, Cornejo *et al.*, (2019) señalan que existe un nivel alto de percepción de riesgo (63.4%), del mismo modo las creencias proambientales (66.3%), además se observó que los pobladores de las ladrilleras tienen la intención de disminuir conductas que deterioran el medio ambiente, pero este resultado no se refleja en su conducta.

Anaguano & Nichoy (2020) discuten sobre la importancia que requiere el manejo de la industria ladrillera, tanto formal como informal y lo catalogan como un empleo que utiliza mano de obra no calificada, teniendo como máximo nivel de estudios educación primaria trunca, con un salario mínimo y sin acceso a seguro social ni prestaciones.

5. Conclusiones

Los mayores días de quema de ladrillos se realizan entre semana, entre martes y viernes, se observa una ligera disminución los fines de semana y los lunes, situación que se hace evidente por las variaciones en los niveles de CO₂ eq. Se incumplen todos los límites permisibles de PM_{2.5} según los valores establecidos por la OMS, las partículas más peligrosas que tienen la capacidad de atravesar los alvéolos pulmonares y causar graves enfermedades, como el cáncer de pulmón. Se observa que los límites que fija la legislación mexicana son menos exigentes y en ese contexto sería conveniente la revisión de los niveles máximos permisibles a nivel nacional (el nivel de la OMS para PM_{2.5}, refiere un límite de 15 µg m⁻³ y para PM₁₀ fija un valor de 45 µg m⁻³ para media diaria contra los valores de la NOM-025-SSA-2021 que menciona un valor de 41 µg m⁻³ para PM_{2.5} y 70 µg m⁻³ para PM₁₀ para media diaria).

Entre las principales respuestas registradas en la encuesta de percepción, los pobladores identifican, que la producción de materiales de construcción (ladrilleras), son la principal fuente de contaminación en la zona y reportan como principal

problema de salud, las afecciones a las vías respiratorias y el dolor de cabeza.

Este tipo de estudios permite avanzar en el diagnóstico de la calidad ambiental en ciudades en vías de desarrollo, a través del uso de tecnologías y del internet de las cosas, con la utilización de sensores y datos abiertos, instalados en espacios urbanos y megaciudades, considerados lugares clave para combatir el cambio climático, ya que ahí se concentra más de la mitad de la población mundial y generan aproximadamente el 70% de las emisiones mundiales. Así mismo la generación de información de calidad ambiental por actividades artesanales como la quema de ladrillos, permite contar con información valiosa para la generación de políticas públicas integrales en pro de la salud del ambiente y la salud de las comunidades humanas.

Agradecimientos

Esta investigación se realizó con ayuda del proyecto Dérive LAB-PIP Ciudades. Al programa de Fortalecimiento a la Investigación de la Universidad de Guadalajara y a CONACYT, a través de programa de Becas Nacionales y del Sistema Nacional de Investigadores que apoyaron financieramente gastos de este estudio.

Referencias

- Anaguano, Y. & Nichoy, J. (2020). Educación en el sector Ladrillero Artesanal del Corregimiento de Jongovito: Una necesidad latente. *Revista Huellas*, 1(12).
- Berumen, A., Pérez, F., Díaz, F., Márquez, L. & Flores, R. (2021). Revisión del impacto del sector ladrillero sobre el ambiente y la salud humana en México. *Salud Pública de México*, 63(1), 100-108.
- Bickham, J., Sandhu, S., Hebert, P., Chikhi, L. & Anthawal, R. (2000). Effects of chemical contaminants on genetic diversity in natural populations: Implications for biomonitoring and ecotoxicology. *Mut. Res.* 463: 33-51.
- Bradley, F. (2007). *Efecto genotóxico y a la salud en personal expuesto a contaminantes emitidos por ladrilleras en Durango, México*. (Tesis de Maestría). Instituto Politécnico Nacional, Durango, México.
- Calderón, L., Herrera, A., Jury, N., Maher, B., González, A., Reynoso, R., ... & Varela, L. (2020). Reduced repressive epigenetic marks, increased DNA damage and Alzheimer's disease hallmarks in the brain of humans and mice exposed to particulate urban air pollution. *Environmental Research*, 183, 109226.
- Camprodon, G., González, Ó., Barberán, V., Pérez, M., Smári, V., de Heras, M. & Bizzotto, A. (2019). Smart Citizen Kit and Station: An open environmental monitoring system for citizen participation and scientific experimentation. *HardwareX*, 6, e00070
- Chamberlín, S. (2008). La guía de traducción de la ciencia del clima. Disponible en: <https://www.darkoptimism.org/2008/09/03/climate-science-translation-guide/>
- Chávez, V. (2018). Construyen su tumba. *El Occidental*. Recuperado de: <https://www.pressreader.com/mexico/el-occidental/20180910/281505047111152>
- Cornejo, A., Carbajal, D., Alvarado, A., Salinas, L., León, R. & Monge, F. S. (2019). Percepción de riesgo, creencias y normas subjetivas de la conducta proambiental en pobladores del sector ladrillero del distrito de San Jerónimo, Cusco, 2019. *Ambiente, Comportamiento y Sociedad*, 2(2), 43-65.
- Durán, Y. & Mantilla, S. (2018). Estimación de emisiones de carbono negro en el material particulado fino PM_{2.5} en la industria ladrillera de los Departamentos Norte de Santander y Santander (Tesis de licenciatura). Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia.
- Estrella, J. (2014). Comparación del nivel de contaminación del aire por ladrilleras artesanales en Arequipa y Cusco-2014. (Tesis de licenciatura). Universidad Privada San Carlos, Puno, Perú.

- Figueroa, A., Davydova, V., Garibay, G., Parada, T. & Orozco, M. (2016). PM10 y O3 como factores de riesgo de mortalidad por enfermedades cardiovasculares y neumonía en la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México. *Ingeniería*, 20 (1), 14-23.
- Figueroa, A., Garibay, C., Davydova, V. (2018). La calidad del aire en ciudades. (75-103). En: Orozco, G. (Coord.) *et al.* Diagnóstico ambiental en ciudades. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco. México.
- Galvis, B., Abadía, C., Barón, M., Salgado, F., Ruiz, B., Herrera, P., Díaz, F., Rodríguez, L., Beltrán, D. & Mantilla, S. (2022). Factores de emisión de hornos ladrilleros colombianos. En Lancheros, D. (Ed.). *Aportes de la ingeniería a la sostenibilidad* (pp. 44-55). Bogotá, Colombia. Ediciones Unisalle.
- González, A. & Carlsson, A. (2007). Emisiones de gases de efecto invernadero con alto potencial de calentamiento global: el sector agropecuario. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 11.
- González, N. & Yáñez, R. (2021) El sector ladrillero y su incidencia en impacto socioeconómico y ambiental en Zapopan, Jalisco. *Sociedades Y*, 41.
- González, A. & Zamorategui, A. (2017). Determinación de la concentración de material particulado atmosférico (PM2.5) en la Zona Ladrillera de la Comunidad de Yerbabuena; *Gto. Jóvenes en la Ciencia*, 2(1), 216–220.
- IPCC-Grupo Gubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2007). Informe del Panel Intergubernamental de Cambio Climático. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/languages-2/spanish/>
- Lamy, B., Ramírez, J., & Sanchez, A. (2019). Migración interna y sus efectos en el crecimiento urbano del municipio de Querétaro. *Quivera Revista de Estudios Territoriales*, 21(2), 49-61.
- NOM-025-SSA1-2021. (2021). Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a las partículas suspendidas PM10 y PM2.5. Valores normados para la concentración de partículas suspendidas PM10 y PM2.5 en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. Disponible en: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5633855&fecha=27/10/2021#:~:text=NORMA%20Oficial%20Mexicana%20NOM%2D025,la%20salud%20de%20la%20poblaci%C3%B3n.
- Naciones Unidas (2015). *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision (ST/ESA/SER.A/366)*, Nueva York.
- Noriega, M., Orozco, M., Hernández, A. & Martínez, J. (2018). Estudio de calidad ambiental en una zona crítica de Zapopan, Jalisco, México. *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*, 5 (16), 22-32.
- Núñez, B. (2015). Prólogo. En Garibay, M., Curiel, A., Davydova, V., Orozco, M., Ramos, S. & Regalado, J. *Salud ambiental en la zona metropolitana de Guadalajara: Imaginando futuros diferentes*. Guadalajara, México: Universidad de Guadalajara.
- OMS-Organización Mundial de la Salud. (22 de septiembre del 2021). Ambient (outdoor) air pollution. Disponible en: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- ONU-Organización de las Naciones Unidas. (2019). Cities: a 'cause of and solution to' climate change. Disponible en: <https://news.un.org/en/story/2019/09/1046662>
- Pérez, M., Ávila, O. & Montagut, L. (2020). Estimación del potencial de calentamiento global en un sistema de potabilización de un acueducto municipal en Colombia. *BISTUA Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 18(1).
- Rangel, R. & Hernández, P. (2018). La Percepción social del riesgo y la inseguridad: guía para la aplicación de instrumentos de obtención de datos en el Ámbito municipal, En: Orozco, G. (Coord.) *et al.* Diagnóstico ambiental en ciudades. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco. México.
- Rincón, E. & Wellens, A. (2011). Cálculo de indicadores de ecoeficiencia para dos empresas ladrilleras mexicanas. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 27(4), 333-345.
- Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial-SEMADET. (2016). Diagnóstico de la situación de ladrilleras en las localidades de Jauja, Santa Paula y La Ladrillera, Tonalá, Jalisco. Recuperado de: https://vamosjuntos.jalisco.gob.mx/sites/default/files/oficios/diagnostico_de_la_situacion_de_ladrilleras_tonala.pdf
- Suárez, C. & Devia, F. (2016). Evaluación de la huella de carbono en la producción de bloque de arcilla en la “ladrillera Los Cristales” (Proyecto de especialización). Universidad Libre de Colombia, Bogotá, Colombia.