

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE QUÍMICA

**"INVENTARIO GEO-REFERENCIADO DE LA INDUSTRIA
LADRILLERA EN EL ESTADO DE QUERÉTARO Y EFECTO EN
FAUNA NATIVA"**

TESIS INDIVIDUAL

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO AMBIENTAL**

PRESENTA

ANA LUZ ANAYA ALONSO

DIRIGIDA POR

Dr. MIGUEL ÁNGEL REA LÓPEZ

SANTIAGO DE QUERÉTARO, QUERÉTARO, 2006.

BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

No. ADQ H71277

TS

CLAS 363.7392

A536i



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE QUÍMICA

**“INVENTARIO GEO-REFERENCIADO DE LA INDUSTRIA
LADRILLERA EN EL ESTADO DE QUERÉTARO Y EFECTO EN
FAUNA NATIVA”**

TESIS INDIVIDUAL

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO AMBIENTAL
PRESENTA**

ANA LUZ ANAYA ALONSO

DIRIGIDA POR

Dr. MIGUEL ÁNGEL REA LÓPEZ

SINODALES

Dr. MIGUEL ÁNGEL REA LÓPEZ
DIRECTOR

M. en C. MA. EUSTOLIA RODRÍGUEZ MUÑOZ
SINODAL

M. en C. MIGUEL ÁNGEL RICO RODRÍGUEZ
SINODAL

M. en C. MARÍA EUGENIA ORTEGA MORÍN
SINODAL

Dedicatoria:

A mis padres que desde pequeña me enseñaron a nunca darme por vencida a pesar de todos los obstáculos que puedan existir en el camino que me lleva a la meta. Quienes confiaron en mí y me dieron la oportunidad de emprender mi propio camino aun lejos de su protección.

José Luis Anaya Rodríguez

Paty Alonso Trejo

A quien a pesar de la distancia siempre ha sido un gran ejemplo de perseverancia y dedicación.

José Luis Anaya Alonso

Agradecimientos:

A Dios por darme la oportunidad de cumplir uno de mis sueños.

A mi Familia por apoyarme aun cuando no pudieron estar cerca de mí. Los amo.

A la Familia Ruiz Anaya por el apoyo, sostén, comprensión, amistad que me brindaron durante mi estancia en su casa, muchas gracias.

A mis abuelos José Luis Anaya Avendaño, Ana Rodríguez, Luz Trejo Quiroz por su amor, comprensión, confianza y apoyo.

A la Familia Ramírez Hernández por el apoyo, consejos, comprensión, amistad, y cuidados que me brindaron. Muchas gracias.

A mi amigo y profesor el Doc Rea, gracias por su apoyo académico, amistad, confianza, consejos, paciencia y dedicación que ahora se ven reflejados en este trabajo.

A mi amiga y profesora Maestra Tolla, gracias por su apoyo, amistad, consejos, paciencia, confianza y aliento en todo momento.

A mi amigo y profesor Maestro Miguel Rico, gracias por su amistad, consejos y apoyo que me brindo no solo en la elaboración de este trabajo sino a lo largo de mi carrera profesional.

A mis amigos que aunque no los tuve cerca siempre estaban apoyándome desde lejos; Lydia, Jennifer, Sol, Ricardo, Karime, Marcos, David, Nubia y Emm. Los quiero mucho.

A mis amigos de la facultad con las cuales pase una de las mejores etapas de mi vida llena de risas, lágrimas, tristezas, peleas: Sandra, Gloria, Bety, Ana Lilia, Cyn, Virgilio, José, Miguel y Efraín. Gracias por soportarme y apoyarme. Los quiero mucho.

A todos aquellos que pertenecen al laboratorio de Toxicología Ambiental.

A Mario Olvera por su gran ayuda y amistad brindada durante la realización de este trabajo.

A Lety Mancilla por su amistad brindada y por tenderme la mano cuando lo necesite. Gracias.

A todos aquellos que sin conocerme me tendieron la mano y me dieron su apoyo para concluir este proyecto en mi vida.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
RESUMEN	
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	3
II.1 Generalidades de la industria ladrillera	3
II.2 Contaminación del aire	4
II.2.1 Clasificación de los contaminantes	5
II.2.2 Contaminantes criterio	5
II.2.2.1 Monóxido de carbono	6
II.2.2.2 Bióxido de azufre	7
II.2.2.3 Óxidos de nitrógeno	8
II.2.2.4 Partículas	9
II.2.2.5 Ozono	10
II.2.2.6 Plomo	11
II.2.3 Otros contaminantes ambientales	12
II.2.3.1 Hidrocarburos aromáticos halogenados	12
II.2.3.2 Dioxinas	13
II.2.3.3 Bifenilos policlorados	15
II.2.3.4 Hidrocarburos aromáticos policíclicos	17
II.3 Combustión	19
II.4 Alternativas tecnológicas para la producción de ladrillo	23
II.4.1 Situación en México	23
II.4.2 Situación en otros países	26
III. HIPÓTESIS	28
IV. OBJETIVOS	29
IV.1 GENERAL	29

IV.2 ESPECÍFICOS	29
V. METODOLOGÍA	30
V.1 MATERIAL	30
V.1.1 Elaboración del inventario geo-referenciado	30
V.1.2 Estimación del daño genotóxico	30
V.1.3 Construcción de la base de datos meteorológicos	30
V.2 MÉTODOS	31
V.2.1 Elaboración del inventario geo-referenciado	31
V.2.1.1 Elaboración y aplicación de cuestionarios	31
V.2.1.2 Geo-referenciación	31
V.2.2 Estimación del daño genotóxico	32
V.2.2.1 Muestreo de ratones nativos	32
V.2.2.2 Muestreo del grupo control	32
V.2.2.3 Recolección de muestra biológica	32
V.2.2.4 Elaboración de preparaciones para observación microscópica	33
V.2.2.5 Tinción de preparaciones	33
V.2.2.6 Observación microscópica	33
V.2.3 Construcción de la base de datos meteorológicos	34
V.2.3.1 Ubicación e instalación de estaciones meteorológicas	34
V.2.3.2 Dirección y velocidad de vientos	34
VI. RESULTADOS	35
VI.1 Inventario geo-referenciado de la industria Ladrillera en el Estado de Querétaro	35
VI.1.1 Distribución geográfica	35
VI.1.2 Proceso de elaboración de ladrillo	41
VI.1.3 Materias primas empleadas	43
VI.1.4 Producción de ladrillo en el Estado de Querétaro	43
VI.1.5 Combustibles	43
VI.1.6 Impacto ambiental	46

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Clasificación de los contaminantes del aire.	5
2	Límites máximos permisibles de contaminantes criterio en México.	6
3	Porcentaje de hornos activos e inactivos por municipio ladrillero.	35
4	Porcentaje de hornos ladrilleros ubicados en zonas urbanas y periféricas.	39
5	Estimación de la producción mensual de ladrillo por comunidad ladrillera.	43
6	Otros combustibles usados en la fabricación artesanal de ladrillo rojo.	45
7	Cantidad promedio requerida de cada combustible para la fabricación de 10,000 ladrillos.	45
8	Estimación del consumo mensual de combustible por comunidad ladrillera.	46
9	Estimación de emisiones anuales generadas por hornos ladrilleros que usan leña.	48
10	Estimación de emisiones de compuestos orgánicos y metales generados por hornos ladrilleros que emplean combustóleo.	49

VI.1.7 Impacto económico	49
VI.1.8 Impacto social	51
VI.1.9 Receptores susceptibles	51
VI.2 Estimación del daño genotóxico	54
VI.3 Construcción de la base de datos meteorológicos	56
VII. DISCUSIONES	58
VIII. CONCLUSIONES	63
IX. BIBLIOGRAFÍA	64
X. ANEXO	69
X.1 Encuesta para la elaboración del inventario geo-referenciado de la industria ladrillera en el Estado de Querétaro	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	La industria ladrillera artesanal en el Estado de Querétaro.	36
2	Asentamientos de hornos ladrilleros.	38
3	Ubicación de hornos ladrilleros en la comunidad de San Nicolás, Tequisquiapan, Querétaro.	40
4	Proceso de elaboración de ladrillo.	42
5	Frecuencia reportada de uso de combustible en la industria ladrillera del Estado de Querétaro.	44
6	Comunidades asentadas en un radio de 5 km de las zonas ladrilleras.	52
7	Densidad de población de ratones.	53
8	Sitios de muestreo de ratones.	54
9	Porcentaje de micronúcleos observados en ratones capturados en la periferia de la población de San Nicolás y en la reserva ecológica El Tángano.	55
10	Eritrocito de sangre periférica de ratón con un fragmento de ADN (micronúcleo).	56
11	Vientos dominantes en las tres estaciones meteorológicas ubicadas en la comunidad de San Nicolás, Tequisquiapan.	57

RESUMEN

La fabricación de ladrillo rojo en el Estado de Querétaro se realiza de forma artesanal. El empleo de un proceso ineficiente, poco tecnificado y el uso de cualquier material combustible en el proceso de horneado hacen que la fabricación artesanal de ladrillo sea un problema importante de contaminación ambiental que afecta la calidad del aire de algunas zonas rurales y urbanas. Los problemas asociados a la fabricación artesanal de ladrillo no son únicos del Estado Querétaro, otros estados de la República Mexicana y otros países en vías de desarrollo comparten el mismo problema. Sin embargo, en el Estado de Querétaro, como en otros lugares, existe poca información sobre la industria ladrillera artesanal y su impacto ambiental no ha sido caracterizado. En este estudio se elaboró un inventario geo-referenciado de la industria ladrillera artesanal Queretana que incluyó ubicación geográfica, capacidad de producción, materias primas empleadas, descripción del proceso de producción, combustibles empleados, métodos de combustión, estimación de emisiones, periodos de exposición y número de personas expuestas. Los resultados muestran que en el Estado, existen 497 hornos en uso activo distribuidos en doce comunidades ladrilleras pertenecientes a seis municipios. Las principales comunidades ladrilleras son San Nicolás, municipio de Tequisquiapan, Vistha, municipio de San Juan de Río y La Solana, municipio de Querétaro. Setenta por ciento de los hornos ladrilleros en el estado se encuentran en el corredor de 18 km que une las ciudades de San Juan de Río y Tequisquiapan. El combustible que se emplea en la industria ladrillera artesanal Queretana es estacional y puede incluir combustóleo, aceites usados, madera, pero en general se emplea cualquier material combustible y barato. La comunidad de San Nicolás, por ser la que cuenta con el mayor número de hornos ladrilleros, se eligió para evaluar la dirección de vientos dominantes, así como el efecto genotóxico de los contaminantes emitidos en fauna nativa recolectada en la periferia de San Nicolás. En esta comunidad, los vientos dominantes van en dirección noreste a suroeste y ratones (*Peromyscus sp.*) nativos (n=61) capturados en la dirección de los vientos dominantes mostraron 3 veces más daño genético que una población no expuesta de la reserva ecológica de El Tángano (n=41). La información obtenida en este estudio será la base para estudios de riesgo más detallados y para sustentar acciones y decisiones que contribuyan a la solución del problema.

I. INTRODUCCIÓN

La industria ladrillera artesanal es una actividad productiva informal y no regulada que representa una fuente importante de ingresos económicos para algunas comunidades rurales. La operación de la industria ladrillera tiene implicaciones ambientales, económicas y sociales. Efectivamente, la industria ladrillera produce grandes cantidades de contaminantes por periodos prolongados y es la fuente de empleo para decenas de personas incluyendo menores de edad, mujeres y ancianos que trabajan sin las condiciones mínimas de higiene laboral. La falta de regulación de la industria ladrillera dificulta el control de emisiones y el apego a la legislación ambiental, laboral y fiscal.

El problema fundamental asociado a la contaminación producida por la industria ladrillera es el diseño de los hornos, el proceso de combustión (la ineficiencia del dispositivo para proveer y quemar combustible) y la baja calidad de los combustibles empleados. Se estima que un horno que opera con la combustión de madera produce 3,91.5 kg de contaminantes. El uso de cualquier material combustible disponible para la operación de hornos ladrilleros, como sucede en el Estado de Querétaro, magnifica el problema. En ese caso es probable la presencia de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's) e incluso compuestos aromáticos clorados incluyendo bifenilos policlorados (PCB's) y dioxinas en las emisiones.

Los contaminantes emitidos pueden afectar a los trabajadores de los hornos, a los habitantes de las comunidades ladrilleras, a los habitantes de comunidades circunvecinas, a la flora y fauna nativas, o los contaminantes se pueden depositar en alimentos de consumo humano y entrar en la cadena alimenticia. Las comunidades ladrilleras son, en muchos casos, lugares con actividad agrícola y ganadera importante. Algunos efectos inducidos por contaminantes presentes en productos de combustión incompleta incluyen los inmunológicos, prenatales, dentales, reproductivos, sobre el desarrollo sexual, neurológicos, de aprendizaje, genotóxicos y se sabe pueden incrementar el riesgo de desarrollo de cáncer.

La problemática asociada a la industria ladrillera artesanal no es única del Estado de Querétaro. Situaciones similares existen en otros estados de la República Mexicana incluyendo el Estado de México, Oaxaca, Guanajuato, Zacatecas, Coahuila y Chihuahua, entre otros e incluso en algunos países sub-desarrollados. Algunas propuestas de solución al problema incluyen la reconversión tecnológica de hornos para mejorar su eficiencia, la reubicación de hornos, el uso de combustibles de mejor calidad y la aplicación de normatividad.

La información sobre la industria ladrillera artesanal en el Estado de Querétaro es limitada. En este trabajo se realizará el primer inventario geo-referenciado con meta-información de la industria ladrillera Queretana y se estimará el daño genotóxico en fauna nativa de la comunidad ladrillera de San Nicolás, Tequisquiapan, Querétaro, la principal comunidad ladrillera en el Estado.

II. ANTECEDENTES

II.1 Generalidades de la industria ladrillera

La fabricación artesanal de ladrillo es una actividad prolífica que representa una problemática importante en el Estado de Querétaro y en el país. Por un lado, tiene un impacto favorable y significativo para decenas de poblaciones, la economía de las cuales depende de dicha actividad (todo el ladrillo empleado en la industria de la construcción en nuestro país es de origen artesanal), pero por otro lado es una industria altamente contaminante.

La cantidad de hornos ladrilleros en el Estado, en combinación con las características del proceso de fabricación hacen que esa actividad tenga impactos importantes a varios niveles. Quizá el impacto más importante tiene que ver con la combustión que se lleva a cabo en los hornos ladrilleros (un proceso necesario para dar resistencia estructural al ladrillo) y la calidad y cantidad de los combustibles empleados. El proceso de combustión, en las condiciones en que se realiza en los hornos ladrilleros artesanales, produce dióxido de carbono (CO_2), dióxido de azufre (SO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x), partículas (PM), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's) y probablemente hidrocarburos aromáticos halogenados (HAH's) incluyendo dioxinas (TECQ, 2002; EMPB, 2003 y EA, 1998). Esos contaminantes, principalmente los HAP's, son altamente tóxicos y muy persistentes en el ambiente (ATSDR, 1995), lo que se traduce en exposición por periodos prolongados. Sin embargo, la contaminación producida no sólo provoca los daños a la salud y al ecosistema, tiene también otros impactos incluyendo accidentes viales debido a problemas de visibilidad, manchado de la ropa cuando se seca al sol, conflictos entre vecinos debido a las emisiones generadas, entre otros.

Como en otras actividades industriales, en la fabricación artesanal de ladrillo los trabajadores se exponen a condiciones y actos inseguros, pero en esta industria los riesgos se maximizan por la falta de recursos, conocimientos sobre seguridad ocupacional y equipo de protección adecuado, siendo las quemaduras, fracturas y otros accidentes eventos comunes.

Una parte importante del problema asociado a esta actividad son los combustibles utilizados; del combustible dependen en gran medida las emisiones que se generarán por su combustión. A la calidad de los combustibles empleados se adiciona la ineficiencia del proceso de combustión que repercute directamente en la cantidad de combustible utilizado.

Como resultado de esas deficiencias, la industria ladrillera artesanal es una industria altamente contaminante con impactos importantes en los ecosistemas. Efectivamente, Heuser y colaboradores (2002) encontraron que tanto emisiones automovilísticas como aquellas generadas por la combustión incompleta causan daño en algunas especies de roedores nativas de la zona donde se generan las emisiones.

II.2 Contaminación del aire

El aire es una mezcla de gases que rodean la Tierra en una capa relativamente delgada. La mayor parte del aire se encuentra dentro de los primeros 20 km sobre el nivel del mar. La parte más baja de dicha capa, la troposfera, tiene aproximadamente 8 km de espesor en los polos de la Tierra, y cerca del doble en el ecuador. En su mayor parte, las actividades del hombre se realizan sobre la superficie de la Tierra dentro de los primeros 2 km de la atmósfera; los contaminantes generados por las actividades antropogénicas se filtran directamente en la troposfera donde son mezclados y transportados.

Los componentes naturales del aire son nitrógeno (78%), oxígeno (20.94%) y otros gases (argón, helio, neón, criptón, xenón, e hidrógeno) en pequeñas cantidades (Strauss y Mainwaring, 1990).

Las actividades humanas modifican el ambiente. La contaminación atmosférica se ha definido como la acumulación en el aire de sustancias en concentraciones tales que provoquen daños provisionales o permanentes a la biota (humanos, animales, plantas) o a los bienes. La contaminación del aire no sólo se atribuye a una actividad en particular, ni tampoco solamente a la actividad humana, todos los organismos que habitan en la Tierra producen modificaciones en la calidad del aire. Existen fuentes naturales de contaminación del aire, por

ejemplo las emisiones volcánicas, aerosoles, emisiones de los océanos y descomposición de vegetales y animales, entre otras. La contaminación antropogénica se debe a las actividades que realiza el hombre para proveerse de bienes y servicios, por ejemplo las actividades industriales, residenciales, de transporte, agrícolas y comerciales. De estos dos tipos de fuentes generadoras de contaminación atmosférica la más importante es la realizada por el hombre (Bernard y col., 2001).

II.2.1 Clasificación de Contaminantes

Existen diferentes formas de clasificar a los contaminantes atmosféricos. El Cuadro 1 muestra clasificaciones de los contaminantes del aire. El uso de una clasificación u otra depende del contexto. Todas esas clasificaciones son útiles.

Cuadro 1. Clasificación de los contaminantes del aire.

Clasificación	Descripción
Tamaño	Partículas sólidas o líquidas (polen, polvos, humos y aerosoles)
	Gases (CO, SO ₂ , NO ₂)
Estado	Sólido (polvos y polen)
	Líquido (nieblas ácidas)
	Gas (CO, NO)
Composición química	Orgánicos Alcanos, Alquenos, Alquinos Aldehídos, Aromáticos
	Inorgánicos Azufre: SO ₂ , SO ₃ , H ₂ SO ₄ , H ₂ S Nitrógeno: NO ₂ , NO, N ₂ O, NO _x , PAN, NH ₃ Metales pesados: Pb, Cd, Hg, As
	Primarios (SO ₂ , NO, HCHO)
Origen	Secundarios (SO ₂ , PAN, NO ₂ , Glioxal, HNO ₃ , HCOH)

Hodgson y Levi, 1997

II.2.2 Contaminantes criterio

La cantidad de contaminantes que se emiten anualmente a la atmósfera es inmensa. Sin embargo, de la cantidad global de todos los contaminantes que se emiten, cinco de ellos aportan más del 95% del total. El monóxido de carbono (CO), bióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), partículas, ozono

superficial y plomo son conocidos como contaminantes criterio y son empleados para calificar la calidad del aire (Caselli, 1995).

La normatividad mexicana emplea las concentraciones de esos contaminantes para evaluar la calidad del aire. El 23 de diciembre de 1994, la Secretaría de Salud emitió en el Diario Oficial de la Federación las Normas Oficiales Mexicanas que contienen los límites máximos permisibles para los contaminantes criterio, Cuadro 2.

Cuadro 2. Límites máximos permisibles de contaminantes criterio en México.

Contaminante	Valores límite			Normas Oficiales Mexicanas
	Concentración y tiempo promedio	Exposición aguda Frecuencia máxima aceptable	Exposición crónica (Para protección de la salud de la población susceptible)	
Ozono (O ₃)	0.11 ppm (1 Hora)	1 vez cada 3 años	-	NOM-020-SSA1-1993
Monóxido de carbono (CO)	11 ppm (8 Horas)	1 vez al año	-	NOM-021-SSA1-1993
Bióxido de azufre (SO ₂)	0.13 ppm (24 Horas)	1 vez al año	0.03 ppm (media aritmética anual)	NOM-022-SSA1-1993
Bióxido de nitrógeno (NO ₂)	0.21 ppm (1 Hora)	1 vez al año	-	NOM-023-SSA1-1993
Partículas suspendidas totales (PST)	260 mg/m ³ (24 Horas)	1 vez al año	75 mg/m ³ (media aritmética anual)	NOM-024-SSA1-1993
Partículas menores a 10 µm (PM ₁₀)	150 mg/m ³ (24 Horas)	1 vez al año	50 mg/m ³ (media aritmética anual)	NOM-025-SSA1-1993
Plomo (Pb)	-	-	1.5 mg/m ³ (prom. Arit. en 3 meses)	NOM-026-SSA1-1993

INE, 2000

II.2.2.1 Monóxido de Carbono

El monóxido de carbono es uno de los contaminantes que se emite en mayor cantidad. Cada año se introducen a la atmósfera cerca de 200 millones de toneladas generadas por actividades antropogénicas, cantidad a la que debe sumarse la que se genera en la troposfera a partir del metano.

El monóxido de carbono es un gas incoloro e inodoro que resulta de los procesos de combustión incompleta de combustibles fósiles. Se forma en todos

los procesos de combustión en los que no se halla presente suficiente oxígeno, o en los gases de la combustión que no permanecen en contacto con el oxígeno el tiempo necesario para completar la transformación del carbono a CO₂. Por esta razón, la mayor parte del monóxido de carbono se produce en los medios de transporte; el cual contribuye con cerca del 70% de la cantidad total emitida (INE, 2005). Sin embargo, existen otras fuentes que contribuyen notablemente a la producción de monóxido de carbono: incendios forestales, quemas agrícolas de maleza, residuos de desechos y vegetación y algunas actividades industriales específicas como la industria papelera, petrolera y de fundición (Caselli, 1995).

La Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) en conjunto con el Instituto Nacional de Ecología (INE) publicaron (2000) los resultados obtenidos del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes del periodo 1998-1999. En ese reporte se estima que en México se generan 1,576,613.4 ton/año de monóxido de carbono. De esta cantidad el 98.6% es producida por la generación de energía eléctrica.

II.2.2.2 Bióxido de Azufre

El grupo de contaminantes más dañinos y destructores de todos es el relacionado con el átomo de azufre. Los óxidos de azufre (SO_x) son una forma común de llamar al bióxido y trióxido de azufre (SO₂ y SO₃). El bióxido de azufre, un gas incoloro de olor penetrante, es el principal compuesto de azufre que se genera industrialmente (INE, 2005).

Los óxidos de azufre se generan principalmente por la combustión de combustibles fósiles. El crudo que se extrae de los yacimientos de nuestro país contiene grandes cantidades de azufre. El contenido de azufre en los combustibles que se usan en México va del 0.05 al 6% (INE, 2005). El porcentaje de azufre depende de la zona de origen y puede llegar hasta el 1%. Durante el fraccionamiento del crudo, el azufre se concentra en las fracciones que hierven a mayor temperatura, como el combustóleo, que son las que contienen hidrocarburos con mayor número de átomos de carbono. Por su contenido de azufre el combustóleo se clasifica en combustóleo de bajo contenido de azufre

(Bca) y combustóleo de alto contenido de azufre (Aca). La proporción de azufre de un Aca puede rebasar el 3%. Por el contrario, el azufre está prácticamente ausente en la gasolina y sólo presente en cantidades modestas en el gasóleo.

El carbón también contiene un porcentaje de azufre que varía según la zona de origen y puede estar entre el 0.5 y 2.55%. Durante el proceso de combustión, el azufre que contiene el carbón se combina con el oxígeno del aire y se transforma en bióxido de azufre (Caselli, 1995).

El bióxido de azufre es la emisión industrial de más importancia dentro del grupo de los compuestos de azufre. Las principales industrias generadoras de óxidos de azufre son la de fundición, termoeléctrica y refinación de petróleo. Existen normas específicas para las cantidades que pueden emitir estas industrias. En el reporte presentado en el año 2000 por el INE se encontró que se generaron 2,939,785.43 ton de SO₂ por año, de las cuales el 93.6% es producida por la industria de generación de energía eléctrica.

Los productos del bióxido de azufre (SO₂) son un problema, ya que en ocasiones el bióxido de azufre produce trióxido de azufre, una molécula hidrofílica que absorbe agua y forma ácido sulfúrico (H₂SO₄) y provoca lluvia ácida (INE, 2005).

II.2.2.3 Óxidos de Nitrógeno

El nitrógeno y el oxígeno son los principales componentes de la atmósfera. Los óxidos de nitrógeno (NO_x) incluyen al monóxido de nitrógeno (NO), bióxido de nitrógeno (NO₂) y otros óxidos menos comunes. En general los óxidos de nitrógeno se producen por la combustión y son precursores del ozono.

Las moléculas de nitrógeno y oxígeno coexisten en el aire sin reaccionar a temperatura ambiente. Sin embargo, a temperaturas elevadas (1100 y 1200 °C) el nitrógeno y el oxígeno (provenientes del aire o del combustible) se combinan para producir óxidos de nitrógeno, la cantidad de óxidos de nitrógeno es directamente proporcional a la temperatura.

Los óxidos de nitrógeno provienen principalmente de la combustión. Por lo general el principal producto de la combustión es el monóxido de nitrógeno (NO).

Sin embargo, el monóxido de nitrógeno (NO) se halla siempre en equilibrio con el bióxido de nitrógeno (NO₂). Por esta razón, cuando se analizan no se reportan individualmente, sino como NO_x. El monóxido de nitrógeno reacciona y forma bióxido de nitrógeno el cual tiene la característica de absorber la luz. El bióxido de nitrógeno puede reaccionar con los hidrocarburos del aire generando smog, o puede reaccionar con iones ⁻OH para formar ácido nítrico (HNO₃) provocando lluvia ácida (INE, 2005).

En el periodo de 1998 a 1999 se generaron en México 1,828,561.29 ton/año de óxidos de nitrógeno de los cuales el 92.2% fueron producidos por la industria generadora de energía eléctrica. La industria del petróleo y petroquímica aportaron el 5.72% (INE, 2000).

II.2.2.4 Partículas

Las partículas, también conocidas como material particulado (PM) no se pueden observar a simple vista, pero se encuentran dispersas en la atmósfera y pueden encontrarse en estado sólido o líquido. Las dimensiones de las partículas son muy variables, pueden ir desde una milésima de micra hasta algunos milímetros y tienen composiciones variables (hollín, polvo, niebla, cenizas, etc.).

Las partículas se clasifican de varias formas: partículas suspendidas totales (PST), partículas suspendidas (PS), partículas primarias, partículas secundarias, partículas con diámetro menor a 10 micras (PM₁₀) y partículas con diámetro menor a 2.5 micras (PM_{2.5}), entre otras. Las partículas suspendidas totales (PST) son emitidas como partículas líquidas, sólidas o vapores y se encuentran suspendidas en el aire como sólidos o líquidos particulados. Las partículas suspendidas (PS) son partículas suspendidas que tienen un diámetro de 30 mm. Las partículas primarias son partículas emitidas directamente desde la fuente generadora y se mantienen en forma particulada en condiciones ambientales de presión y temperatura. Las partículas secundarias son aerosoles que se forman a partir de material gaseoso como resultado de reacciones atmosféricas. Las partículas PM₁₀ son aquellas partículas primarias que tienen un diámetro aerodinámico menor a 10

micras. De manera similar, las partículas $PM_{2.5}$ son partículas primarias que tienen un diámetro aerodinámico menor a 2.5 micras (INE, 2005).

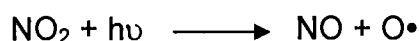
Las partículas suspendidas en el aire descienden tarde o temprano. Una partícula de cierta densidad es atraída hacia abajo con una fuerza proporcional a su volumen. El viento y la lluvia ejercen un efecto retardante y acelerador, respectivamente, de su descenso. Por ejemplo, una partícula de $0.1 \mu m$ tardaría 15 días para descender un metro; mientras que una partícula de $1 \mu m$ tardaría 7 horas. Estos valores se refieren al aire en reposo, pero en la práctica el tiempo de permanencia en el aire depende de la velocidad de los vientos y de las precipitaciones. En general, las partículas más pequeñas permanecen suspendidas en el aire por mayor tiempo, son arrastradas por los vientos y recorren grandes distancias. Por el contrario, las partículas pueden ser eliminadas de la atmósfera gracias a la lluvia. Las partículas actúan como núcleos alrededor de los cuales se forma la gota de lluvia y otras son barridas por la lluvia misma (Caselli, 1995).

En el periodo 1998-1999 se generaron 959,201.33 ton/año de partículas en México de las cuales el 99.38% fue emitido por la industria generadora de energía eléctrica (INE, 2000).

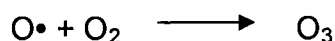
II.2.2.5 Ozono

El ozono, un gas tóxico, reactivo, de olor fuerte y color azul pálido es el oxidante fotoquímico más abundante en la atmósfera. El ozono es un contaminante que no se emite directamente a la atmósfera, se produce principalmente por reacciones que involucran a hidrocarburos, monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) y luz solar.

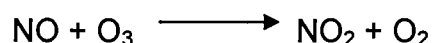
Las siguientes reacciones muestran la producción de ozono:



El bióxido de nitrógeno al estar expuesto a la radiación produce óxido de nitrógeno y un radical oxígeno



El radical oxígeno reacciona con oxígeno ambiental formando ozono



El óxido de nitrógeno reacciona con ozono produciendo bióxido de nitrógeno y oxígeno.

El factor limitante en la producción de ozono son los óxidos de nitrógeno. Las autoridades encargadas de la administración de la calidad del aire, recomiendan disminuir las concentraciones de los óxidos de nitrógeno para disminuir la cantidad de ozono en el aire (INE, 2005).

El sector transporte es una de las fuentes principales de formación de ozono ya que contribuye con el 80% de las emisiones de NO_x y con el 55% de hidrocarburos (Kim y Ponka, 2002).

II.2.2.6 Plomo

La mayor parte del plomo se halla presente en forma particulada. El plomo se emite en forma de sales de plomo. Existen en el mercado pinturas que contienen plomo. Las pinturas aplicadas sobre superficies con el tiempo generan polvo que contiene grandes cantidades de plomo (Shorthen y Hooveng, 2000). Otra fuente de polvo con plomo es la demolición de edificios. Farfel y colaboradores (2003) realizaron un estudio en Baltimore sobre la contribución de la demolición de edificios viejos en las concentraciones atmosféricas de plomo y encontraron que durante la demolición, los edificios desprenden grandes cantidades de polvo con plomo que puede ser transportado por el viento. Ese polvo puede ser inhalado por receptores sensibles.

En algunos países como Nigeria y Australia el plomo proviene principalmente de los aditivos que se agregan a la gasolina. Aunque también existen cantidades menores que se originan por la incineración de los desechos sólidos, por la combustión del carbón (en cenizas volátiles) y en el procesamiento de los minerales (Gulson y col., 2004).

En países donde ya no se utiliza plomo como aditivo en la gasolina, el plomo puede provenir de otras fuentes. En Albuquerque, Nuevo México, Root (2000) determinó que la mayoría del plomo proviene de las pesas que se colocan en las llantas de los vehículos para balancearlas. Esas pesas se desgastan y las

partículas se depositan en las calles y se acumulan en las pequeñas ranuras de las banquetas. El plomo puede permanecer hasta una semana en esas ranuras. Debido al tráfico vehicular y las condiciones meteorológicas las partículas se distribuyen y el plomo puede ser absorbido por la población.

Las partículas con plomo que se depositan en las vialidades pueden ser transportadas al interior de las casas por los peatones y el viento, entre otros factores. Dentro de las casas, las partículas vuelven a suspenderse en el aire donde pueden ser inhaladas (Yiin y col., 2000). El 75% de las partículas que contiene plomo tiene dimensiones menores a 0.4 mm que son capaces de penetrar directamente a la sangre a través de las vías respiratorias.

II.2.3 Otros contaminantes ambientales

Además de los contaminantes que se han discutido en las secciones anteriores, en la atmósfera se encuentran presentes otros compuestos químicos que tienen la capacidad de inducir alteraciones funcionales en los organismos. Muchos de esos compuestos son contaminantes ubicuos y otros son contaminantes de procesos específicos. En general, esos contaminantes se encuentran en el ambiente en concentraciones bajas que dificultan su detección y estudio. Para algunos contaminantes no se conocen sus efectos en organismos, para otros se conocen sus efectos, pero no su mecanismo de acción. Algunos tóxicos prioritarios incluyen hidrocarburos aromáticos halogenados (HAH's), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's), benceno, acetaldehído, formaldehído, radón, uranio y polonio, entre otros. Debido a su relevancia en el contexto de este estudio, en esta sección nos enfocaremos sólo a los hidrocarburos aromáticos halogenados y policíclicos.

II.2.3.1 Hidrocarburos aromáticos halogenados

Los HAH's son productos químicos que contienen uno o más átomos de un halógeno (cloro, flúor, bromo, yodo) y anillos de benceno. Dentro de esta familia se incluyen los PCB's (Bifenilos Policlorados), dioxinas, diclorodifeniltricloroetano (DDT), cloronaftalenos y clorobenceno, entre otros.

Algunos HAH's han tenido varios usos a lo largo del tiempo, otros no tienen propiedades utilitarias. Algunos de ellos como el triclorobenceno se usaron para combatir termitas, como medio de transferencia térmica, como material dieléctrico en transformadores y como disolventes. El diclorobenceno se usa actualmente como fumigante, insecticida y desinfectante. Los cloronaftalenos se han usado como medios de transferencia térmica, disolventes, aditivos para lubricantes, líquidos dieléctricos y material de aislamiento térmicos. Aunque su uso actualmente está prohibido, el DDT se utilizó extensivamente en el control de insectos portadores de parásitos o de otros vectores de organismos patógenos para el hombre. Con el DDT se previnieron enfermedades como la malaria, la fiebre amarilla y el dengue (ATSDR, 1998).

II.2.3.2 Dioxinas

La estructura básica de las dibenzodioxinas cloradas (DDC's) está formada por dos anillos de benceno unidos por dos átomos de oxígeno.

Las dibenzodioxinas cloradas son un grupo de 109 congéneres al que se refiere comúnmente como dioxinas. Las dioxinas son compuestos de gran interés ambiental y toxicológico, no tienen función utilitaria y no se encuentran normalmente en el ambiente; se generan como sub-productos indeseables de algunos procesos, reacciones químicas en las que se utiliza cloro y procesos de combustión e incineración ineficientes. Por ejemplo, la industria papelera utiliza cloro o algún derivado de cloro para el blanqueo de la pasta y como resultado se forman compuestos orgánicos clorados incluyendo pequeñas cantidades de dioxinas. Esos compuestos no solo están impregnados en el papel sino también se encuentran en las aguas residuales y en los lodos resultantes del tratamiento de aguas. Seidel y colaboradores (2000) encontraron cantidades detectables de compuestos similares a dioxinas en periódico.

Las dioxinas se producen en cantidades apreciables durante los procesos de combustión e incineración, incluyendo la incineración de residuos municipales, industriales y médicos, la producción de metales (acero, hierro, magnesio, níquel, plomo y aluminio) y la combustión de combustibles fósiles y madera (Buser y col.,

1985). También se ha encontrado que algunos lodos de plantas de tratamiento contienen DDC's. Cuando esos lodos se utilizan como tierra o abono agrícola, las plantas cultivadas en esas condiciones, o expuestas a emisiones de incineradores, pueden absorber dioxinas que pueden ser transferidas a lo largo de la cadena alimentaria (Rideout y Teschke, 2004).

Conocer el destino ambiental de las dioxinas es de suma importancia ya que dependiendo de donde se encuentren, será la exposición de receptores susceptibles. El aire es el principal receptor de emisiones de DDC's, mientras que en el suelo y sedimento es donde generalmente se acumulan. En el sedimento las dioxinas pueden acumularse por décadas causando de esa manera un impacto a corto y largo plazo (Bopp y col., 1998). Las DDC's son persistentes, pero en el suelo pueden ser degradadas aunque de manera muy lenta por hongos del género *P. sordida* YK-624 (Takada y col., 1996).

Las propiedades fisicoquímicas de las DDC's determinan su transporte y destino. Las dioxinas cloradas son generalmente sólidos insolubles en agua que forman cristales incoloros en estado puro. Las DDC's tienen una baja volatilidad y gran afinidad por partículas que se encuentren en el aire, suelo o agua. La solubilidad en agua disminuye cuando aumenta el número de cloros substituidos. En climas templados, las DDC's pueden entrar en la cadena alimenticia del hombre mediante su transporte por el aire y depositación en cultivos de consumo humano o animal. En general, debido a sus características lipofílicas, el riesgo de exposición a DDC's es mayor con el consumo de alimentos con alto contenido de grasa. En climas fríos como en el Ártico, entran a la cadena alimenticia cuando el hombre consume peces contaminados (Commoner y col., 2000).

Existen dos factores ambientales importantes que determinan la fase del ambiente en la que se encuentran los compuestos químicos, incluyendo DDC's: la presión de vapor y la temperatura. Compuestos con presiones de vapor $<10^{-8}$ mm Hg se asocian principalmente con partículas y aquellos con presiones de vapor $>10^{-4}$ mm Hg se encuentran en forma de vapor; aquellos con presión vapor entre esos dos rangos se asocian con partículas y pueden encontrarse en forma de vapor. Otros factores que determinan el destino ambiental de las DDC's incluyen

solubilidad en agua, constante de Henry, coeficiente de partición agua-octanol (K_{ow}), y coeficiente de partición de carbón orgánico (K_{oc}), entre otros (ATSDR, 1998).

II.2.3.3 Bifenilos policlorados (BPC's)

Los BPC's son una familia de 209 compuestos clorados individuales. Los BPC's son líquidos aceitosos o sólidos, incoloros a amarillo claro, sin olor o sabor especial, sus características específicas dependen del grado de cloración (Holford y col., 2000). Los BPC's están compuestos químicamente por 2-10 átomos de cloro que son atraídos por la molécula bifenila.

En general, los BPC's son insolubles en agua y su solubilidad decrece en forma inversamente proporcional a su contenido de cloro, también son solubles en disolventes orgánicos no polares y en lípidos biológicos. Debido a que los BPC's son muy volátiles no pueden completar un ciclo de transporte entre el aire (el medio de transporte más importante), agua y suelo a condiciones atmosféricas normales. Esas observaciones se encuentran fundamentadas por la constante de la ley de Henry para los Alocloros y BPC's, 2.9×10^{-4} a 4.6×10^{-3} atm-m³/mol y 1.5×10^{-5} a 2.8×10^{-4} atm-m³/mol, respectivamente. En ausencia de agua su movimiento se debe a una transferencia por difusión. Los BPC's en el aire se encuentran en fase vapor o adheridos a partículas, cuando se encuentran en fase vapor se considera que son más móviles que cuando están con partículas. Los BPC's con una presión vapor $>10^{-4}$ mm Hg se encuentran en la atmósfera en forma de vapor, los que tienen una presión vapor $<10^{-8}$ mm Hg se adhieren a partículas y aquellos que se encuentran entre estos dos rangos se encuentran en las dos formas (ATSDR, 1998).

En contraste con las dioxinas, éstos compuestos si tienen o tuvieron usos importantes. Una propiedad importante y clave es que son inertes a la acción ácida y básica y tienen una alta resistencia térmica; es por esto que fueron utilizados como fluidos dieléctricos en transformadores eléctricos, fluidos para transferencia de calor y lubricantes (Safe y Zacharewski, 1997).

La principal contaminación ambiental por BPC's se lleva a cabo por medio de derrames. Los BPC's se pueden acumular en los humanos si no se realiza una remediación del sitio contaminado de donde proviene la exposición. Afortunadamente existen microorganismos en sedimentos que tiene la habilidad de reducir el número de cloros en esas moléculas, un fenómeno que depende del número de cloros presentes en las molécula, siendo los más rápidos de degradar los que tiene de 6 o más cloros (Bedard y col., 1998; Wu y col., 2000).

La acumulación de BCP's en los organismos, es un proceso importante que depende de las propiedades fisicoquímicas de estos contaminantes y varía según el organismo. Los BCP's se acumulan en el tejido adiposo debido a que son lipofílicos y en algunas ocasiones pueden ser biotransformados. El grado de biotransformación disminuye con el número de cloros que tenga la molécula y la posición en la que se encuentran. Un aspecto importante es la especie en la que se este llevando la bioacumulación. Por ejemplo, los perros y las ratas metabolizan mucho más rápido los BCP's que los monos (Holford y col., 2000).

En agua superficial, los BCP's se encuentran principalmente en tres fases: disueltos, particulados y en asociaciones coloidales. Los compuestos más pesados se asocian con partículas y coloides. Cuando se encuentran en el agua, los BCP's se concentran rápidamente en la biota.

Los BPC's se remueven de la atmósfera por medio de deposición húmeda (por lluvias o nieve), depositación seca y absorción de vapor de agua en suelo y plantas. Los BPC's se eliminan de la atmósfera por medio de deposición húmeda cuando ocurre un barrido en las nubes o una lluvia y a muy bajas temperaturas se depositan por medio de la nieve. En contraste con la deposición húmeda, la depositación seca ocurre por efecto de la gravedad sobre la superficie terrestre o acuática.

En el agua, la degradación se lleva a cabo por medio de una reacción fotolítica en la cual se rompe un enlace carbono-cloro seguida de una sustitución de cloro por un átomo de hidrógeno. La fotólisis aumenta con los rayos solares y disminuye en invierno. La biodegradación en el agua superficial es un proceso aerobio, siendo más importante en suelo y sedimento que en agua, por tres

razones: los números más altos de microorganismos que ahí se presentan, las condiciones para biodegradación anaerobia, y partición preferencial de los BPC's en suelo y sedimento.

La vida media de los BPC's en la troposfera depende de su contenido de cloro: 5-11 días para los bifenilos-monoclorados, 8-17 días para los bifenilos-biclorados, 14-30 días para los bifenilos-triclorados, 25-60 días para los bifenilos-tetraclorados y hasta 60-120 días para los bifenilos-pentaclorados (ATSDR, 1998).

II.2.3.4 Hidrocarburos aromáticos policíclicos

Los HAP's son un conjunto de más de 100 compuestos diferentes que generalmente se producen como mezclas complejas. Cuando se encuentran químicamente puros son incoloros, blancos o sólidos amarillos verdosos y pueden tener un olor agradable débil.

La producción comercial de los HAP's no es la principal fuente de contaminación del ambiente, la principal fuente es la combustión incompleta de madera y combustibles, aunque también se producen HAP's por fuentes naturales como erupciones volcánicas y fuegos forestales, entre otros. Los HAP's son compuestos ubicuos, se pueden generar como producto de la combustión de cigarrillos (Nawrot y col, 2002), se encuentran en el asfalto que se usa en la construcción de caminos, y en el petróleo crudo y el carbón. Algunos HAP's se utilizan en la elaboración de medicamentos, tintes, plásticos y pesticidas.

La principal ruta por la que entran en el ambiente es el aire; 80% de la contaminación atmosférica por HAP's proviene de fuentes fijas y el resto de fuentes móviles. En el aire, los HAP's se encuentran generalmente absorbidos en partículas o gases, y de esa manera pueden viajar grandes distancias y de la misma forma que las dioxinas pueden ser eliminadas de la atmósfera por precipitaciones o depositaciones secas. Mientras se encuentran en el aire junto con partículas, pueden ser inhalados por los organismos depositándose en las fosas nasales o en los pulmones (Dickhut y col., 2000). El aire entra en contacto con el agua por medio de deposiciones atmosféricas o por descargas de efluentes industriales (Mastral y col., 2000). El agua, sin embargo, no es el principal receptor

de éstos contaminantes sino los sedimentos. Los HAP's, de la misma manera que los sedimentos, son hidrófobos. La naturaleza hidrofóbica de los sedimentos es el resultado de la alta concentración de materia orgánica (Bianco y col., 2001). Una vez en el agua pueden ser transformados por fotooxidación, oxidación química y por el metabolismo de microorganismos, aunque este último se lleva a cabo de manera más eficiente si se realiza en sedimentos o suelos. La cantidad de HAP's que se han encontrado en el suelo se debe a depositaciones aéreas. Una fuente importante de contaminación de suelos con HAP's es el asfalto del cual están contruidos las carreteras y autopistas en todo el mundo (ATSDR, 1995).

Las características químicas y físicas de los HAP's son de gran importancia para entender su comportamiento toxicológico y como actuarán cuando se encuentren en la atmósfera (Waterman y col., 2000). El transporte de los HAP's depende principalmente de sus propiedades fisicoquímicas, como solubilidad en agua, constante de la ley de Henry, coeficiente de partición agua-octanol (K_{ow}), coeficiente de partición de carbón orgánico (K_{oc}), presión de vapor y peso molecular. Generalmente, los HAP's tienen baja solubilidad en agua. Los HAP's con dos o tres anillos aromáticos (antraceno, fenantreno, etc.) se encuentran en la atmósfera en fase vapor, los que tienen cuatro anillos en fase vapor y en partículas y, los que tienen cinco anillos o más se encuentran en partículas. El tiempo de residencia y la distancia transportada dependen tanto del tamaño de la partícula como de las condiciones climatológicas (Terzi y Samara, 2004). Los HAP's que se encuentran mezclados en el agua se pueden separar por medio de una volatilización o una absorción en el sedimento o en el suelo y serán consumidos por animales o plantas acuáticas.

Los animales acuáticos pueden acumular HAP's por medio del suelo, sedimentos o alimento. Los peces tienen la habilidad de metabolizar HAP's y comúnmente se encuentran solamente pequeñas cantidades de ellos aun estando en aguas altamente contaminadas. Algunas plantas terrestres acumulan HAP's por las partes aéreas o por medio de sus raíces y follaje; las cantidades de éstos contaminantes en las plantas dependerá de la cantidad de HAP's en el suelo donde se encuentren (Edwards, 1983). Efectivamente, se pueden detectar HAP's

en aceite de oliva obtenido de árboles plantados en sitios contaminados con HAP's (Guillen y col., 2004). En animales, la exposición a HAP's se debe principalmente a la ingestión de comida y suelo contaminados (ATSDR, 1995).

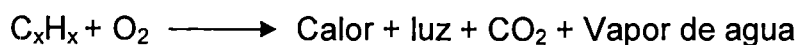
Durante la degradación y transformación de los HAP's se pueden formar compuestos que pueden ser menos o más tóxicos que el compuesto padre. En el caso de la degradación en el aire se producen fenoles, quinonas, dihidrodioles, etc.; los cuales son mutagénicos. En el medio acuático, la hidrólisis de HAP's no es una reacción importante de degradación. Para que se lleve a cabo la degradación en el agua se deben considerar factores como la profundidad, flujo, cantidad de oxígeno y temperatura. Para la degradación en los suelos y sedimentos, la participación de microorganismos es la más importante y se ve afectada por el contenido orgánico en el suelo o sedimento, la población de microorganismos presentes y el tipo de suelo o sedimento, entre otros factores (ATSDR, 1995).

II.3 Combustión

Una de las principales causas de contaminación atmosférica es la combustión. Sin embargo, la combustión es esencial en la vida diaria del hombre y un ejemplo de ello es la respiración. La respiración es un proceso de combustión que se realiza de manera continua donde se queman moléculas, principalmente azúcares, produciendo bióxido de carbono y agua. La energía que se libera se almacena como ATP y se utiliza en todas las actividades de la célula que requieren energía. Existen varios tipos de combustión, pero todas ellas consisten en una reacción química entre un combustible y el oxígeno (el comburente), en la cual se obtendrá energía como producto.

No todas las sustancias son combustibles, ni todas las sustancias combustibles tienen el mismo poder calorífico, el calor que produce su combustión perfecta, el poder calorífico, se expresa en Joules/kg, en Calorías/kg o BTUs/lb de combustible cuando se trata de combustibles sólidos o líquidos y en Calorías/m³ a 0 °C y 760 mm Hg o a 15 °C y 760 mm Hg, si se trata de combustibles gaseosos (Never, 1998).

En la combustión perfecta o teórica, el hidrógeno y el carbono del combustible se combinan con el oxígeno del aire para producir calor, luz, bióxido de carbono y vapor de agua. En una combustión perfecta por cada átomo de carbono reaccionan dos átomos de oxígeno y se produce una molécula del gas bióxido de carbono (CO₂). Ese proceso se ilustra en la reacción siguiente:



Sin embargo, una combustión perfecta es rara. Varios factores impiden una combustión perfecta. Esos factores incluyen: a) impurezas en el combustible b) relación incorrecta de combustible/aire y c) temperaturas de combustión sub-óptimas (muy altas o demasiado bajas). Las impurezas pueden incluir azufre, metales pesados y otros compuestos químicos. La relación incorrecta entre el combustible y el aire merma directamente la eficiencia de combustión y temperaturas muy altas o demasiado bajas son las causantes de la formación de productos secundarios como: monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x), dioxinas, cenizas fijas e hidrocarburos no quemados, por mencionar algunos.

En una combustión imperfecta parte del combustible se oxida en grado inferior al máximo, o no se oxida y se generan productos secundarios. Las combustiones imperfectas son de gran preocupación ambiental ya que los productos que se obtienen de ella se emiten al ambiente y causan daños al ecosistema y a los seres vivos que lo habitan (Wark y Warner, 1992).

Durante la incineración de residuos municipales, peligrosos, hospitalarios y lodos residuales de plantas de tratamiento de agua también se pueden llevar a cabo combustiones imperfectas y se pueden formar una gran variedad de sub-productos, dañinos para la salud pública, pero un grupo de ellos, las dioxinas (descritas anteriormente), merece especial atención. Pérez y colaboradores (2002) determinaron que, en Estados Unidos, la incineración de residuos hospitalarios era la principal fuente de producción de dioxinas. Las dioxinas y otros contaminantes generados son transportados por las cenizas producidas durante la combustión.

Es irónico que las instituciones de salud sean, al mismo tiempo, productoras de compuestos tóxicos.

La formación de dioxinas y furanos tiene relación con las zonas de bajas temperaturas en el incinerador. Su formación es un proceso complejo que involucra la limpieza, enfriamiento de los gases y la tecnología de incineración. La retención de gases y partículas en ductos por tiempos considerables a temperaturas entre 200-500 °C propicia las condiciones necesarias para la producción de dioxinas. La producción de dioxinas se lleva a cabo por dos procedimientos: a) formación a partir de precursores y b) formación de novo.

En la formación a partir de precursores se necesita que exista un rompimiento térmico y un rearrreglo molecular entre los compuestos precursores. Los precursores pueden ser moléculas de hidrocarburos aromáticos clorados que se condensan y son absorbidos por la superficie de las cenizas que se encuentran en suspensión. En esta reacción el cloro inorgánico absorbido en las cenizas actúa como catalizador. Esas reacciones se deben de llevar a cabo a temperaturas entre 200 y 500 °C, si se realizan por debajo o arriba de éstas, las reacciones se inhiben. Actualmente se ha postulado un mecanismo de formación de dioxinas en la post-combustión (Pérez y col., 2002):

- Se produce HCl a partir de la utilización de combustibles que contienen compuestos orgánicos clorados.

- El HCl en presencia del oxígeno y de CuCl₂ como catalizador forma agua y cloro gaseoso.



- Los compuestos fenólicos son clorados en la superficie de las cenizas para formar precursores de dioxinas:



- Por último, los precursores son oxidados una reacción catalizada por CuCl_2 :



En el proceso de formación de dioxinas de novo se realiza a partir de moléculas que no contienen la misma estructura a nivel molecular. Se cree que se lleva a cabo en lugares fuera del horno en donde los gases se han enfriado en un rango de temperaturas de 200 – 500 °C. Análisis de laboratorio han confirmado que las cenizas, debido a su alto contenido de cloro, participan en el proceso de formación de dioxinas y furanos. El catalizador, principalmente CuCl_2 actúa en la superficie de la ceniza en presencia de oxígeno. A diferencia de la síntesis por precursores, en la síntesis de novo la presencia de oxígeno es indispensable para la formación de dioxinas. La formación de estos compuestos se ve afectada por la transferencia de masa.

Las condiciones de operación de incineradores de residuos sólidos propician la formación de dioxinas y furanos. Esas condiciones incluyen: velocidad de enfriamiento de gases de salida, cantidad de cenizas en suspensión, presencia de metales traza especialmente cobre, alto contenido de cloro y carbono en las cenizas, presencia de oxígeno, alimentación de los desechos a incinerar, limpieza de los gases, entre otros (Pérez y col., 2002).

La combustión que se realiza en los hornos ladrilleros del Estado de Querétaro es de tipo imperfecta ya que el combustible no es de buena calidad, contiene impurezas y tiene bajo poder calorífico. La ineficiencia de la combustión crea un gran problema de contaminación para la zona, los habitantes donde se encuentra la fuente emisora y potencialmente para poblaciones que se encuentran a varios kilómetros de ella.

II.4 Alternativas tecnológicas para la producción de ladrillo

II.4.1 Situación en México

Al igual que en el Estado de Querétaro, en otros estados del país el problema de la producción artesanal de ladrillo ha causado, al mismo tiempo, controversia e interés por parte del gobierno, sociedad e instituciones no gubernamentales.

Debido a su ubicación fronteriza, los hornos ladrilleros en Ciudad Juárez, Chihuahua han sido muy estudiados. En un principio, esos hornos se encontraban en la periferia de Ciudad Juárez, pero debido al crecimiento de la ciudad los hornos quedaron más cerca de la población. En el año 2002 se contabilizaron 332 hornos que contribuyen a la contaminación de las ciudades fronterizas del Paso Texas y Ciudad Juárez. La EPA (Environmental Protection Agency) ha determinado que la calidad de aire en ambas ciudades es seria debido a las altas concentraciones de contaminantes generados por los hornos ladrilleros (TECQ, 2002). Las autoridades han realizado estudios socioeconómicos y ambientales para estimar los daños provocados por dicha actividad y como resultado de los estudios se han dado propuestas para mejorar y eficientar el proceso de fabricación de ladrillos sin cambiar su calidad. El gobierno de la zona ha dado cuatro propuestas para mejorar ese proceso. Una de ellas es cambiar el tipo y forma del horno tradicional. El diseño del nuevo horno, mejor conocido como horno MK, fue propuesto por la Universidad Estatal de Nuevo México y consiste en pares de hornos en forma de bóveda conectados mediante un túnel subterráneo relleno con arcilla. La segunda propuesta es la construcción de un horno que use gas natural como combustible. En esos casos los dueños de los hornos tendrán que hacer una inversión inicial. La tercera propuesta es la reubicación de los hornos a zonas menos pobladas para reducir la exposición en Ciudad Juárez y El Paso. La última propuesta es el establecimiento de días y horarios permitidos para la quema o cocción de ladrillos. Después de llevar a cabo pruebas con todas las propuestas anteriores, el gobierno de Ciudad Juárez, en noviembre del 2002, por medio de la Comisión de Calidad Ambiental de Texas (TECQ) aprobó la propuesta

para sustituir los hornos tradicionales por los hornos propuestos por la Universidad Estatal de Nuevo México. Después de la construcción de algunos hornos modificados se realizaron muestreos para verificar si existía una reducción en la cantidad de contaminantes emitidos al ambiente. Se encontró que hubo una reducción significativa en NO_x (63%), CO (46%), Partículas (83%) y Compuestos Orgánicos Volátiles (69%). Lo que constituye una reducción total de contaminantes del 54% (TECQ, 2002).

En el Estado de Zacatecas se han presentado graves problemas de salud pública debido a la producción de ladrillo rojo. En ese Estado, la Procuraduría de Protección del Medio Ambiente (PROFEPA) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) han tomado también cartas en el asunto, aunque no han intervenido directamente. Las autoridades han propuesto que la cocción de los ladrillos se realice con gas natural como combustible, la adquisición de quemadores para gas así como la capacitación de trabajadores sobre seguridad laboral con recursos que proporcione el municipio afectado. En algunos otros municipios que aún no presentan graves problemas, se ha capacitado a trabajadores de la industria ladrillera artesanal sobre seguridad e higiene ocupacional para esta actividad y formas de minimización de los impactos ambientales que genera su actividad productiva (Cazares, 1999).

El Estado de México es uno de los estados que ha mostrado más interés en erradicar los problemas generados por los hornos ladrilleros. Los aproximadamente 570 hornos asentados generan insumos para la construcción en el Distrito Federal y los municipios de Cuatlitlán y Texcoco. Para poder eliminar los problemas ambientales y de la salud, el gobierno del Estado a través de la Secretaría de Ecología, formó un fideicomiso ambiental con una base de \$ 13,426,000.00 para controlar la contaminación generada en los municipios de Cuatlitlán y Texcoco. Con estos recursos se adquirió tecnología para evitar la contaminación ambiental que consiste en dosificadores de aserrín para lograr una combustión adecuada y reducir emisiones, molinos de madera para producir aserrín y una mezcladora para homogeneizar la materia prima, disminuir el

esfuerzo físico e incrementar la productividad. El combustible utilizado en esos hornos es principalmente aserrín.

Además, el gobierno del Estado de México se comprometió a dar facilidades para la obtención de tecnología y los dueños se comprometieron a emplear aserrín como combustible, a participar en programas de contingencias ambientales, a solicitar autorización de quema al ayuntamiento, y aportando ladrillo al ayuntamiento como pago en especie para obras de beneficio a la comunidad. Se cuenta con un reglamento en materia de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica para regular las emisiones producidas por los hornos ladrilleros, el Reglamento de la Ley de Protección al Ambiente para el Desarrollo Sustentable del Estado de México. Los beneficios que se han obtenido con ese cambio de tecnología son notorios, el horno con dosificador produce niveles muy inferiores de emisiones que los hornos tradicionales (Gobierno del Estado de México, 1999).

En el Estado de Guanajuato se ha elaborado una Norma Técnica Ecológica que establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la instalación y reubicación de hornos ladrilleros y las condiciones para la operación de los hornos en la elaboración y cocido de piezas elaboradas con arcillas para la construcción. De acuerdo a la norma, publicada en 1998, los lugares en que se ubiquen hornos ladrilleros deben estar alejados de manchas urbanas mayores a 2,500 habitantes, carreteras con transporte continuo, cuerpos de agua y aeropuertos. En cuanto a materias primas, la norma prohíbe la utilización de tierra para cultivo como insumo, recomienda el uso de gas LP y especifica que el agua deberá ser administrada por el organismo municipal correspondiente. La norma también especifica que la construcción de los hornos deberán ser de ladrillo pegado con cemento y la forma del quemador de gas se detalla perfectamente (Arriaga, 1998).

En el 2001 la Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, estableció varios objetivos ambientales. Uno es el programa de Aire Limpio en el que se delinea la evaluación de equipos de control de emisiones provenientes de hornos ladrilleros en conjunto con las universidades (SEMARNAT, 2001).

En el Estado de Querétaro se realiza un análisis de la legislación y estrategias tecnológicas que han adoptado exitosamente otros estados de la República en materia de contaminación por hornos ladrilleros y se analizan alternativas tecnológicas propuestas por investigadores de la entidad. Este estudio será esencial en la definición de estrategias que el Estado adopte para disminuir y administrar el riesgo asociado a la producción artesanal de ladrillo rojo.

II.4.2 Situación en otros países

Los problemas asociados con la fabricación de ladrillo en otros países dependen del grado de desarrollo del país. En los países desarrollados, la industria ladrillera es también un problema de contaminación, pero el uso de tecnología más eficiente y reglamentación más estricta hacen que la generación de contaminantes sea menor y más controlada. En los países donde la producción de ladrillo es artesanal, principalmente en países subdesarrollados, se tienen problemas similares al de México.

En Alemania existen hornos ladrilleros a escala industrial. El principal problema de contaminación debido a esta industria son las partículas y los compuestos de azufre que se forman durante la cocción de los ladrillos. El azufre proviene de la tierra con la que se elaboran los ladrillos. Otra impureza que se encuentra dentro de esta materia prima es el flúor lo que provoca la generación de compuestos fluorados. En este país se han implementado diversas técnicas para minimizar las emisiones contaminantes entre ellas se encuentran la absorción seca, filtros con membranas empaquetadas, filtros de tela, condensadores, lavadores de gases e incineradores (EIG, 1996).

La elaboración de ladrillos en Australia comenzó a finales de 1700's. En un principio su fabricación se llevaba a cabo por convictos ya que era un trabajo muy pesado y se les aplicaba como parte de la condena que tenían que cumplir. Su trabajo consistía en extraer la tierra de áreas designadas, moldear los ladrillos y construir el horno. El primer cambio en tecnología ocurrió en el segundo cuarto del Siglo XIX y fue el elaborar los ladrillos no manual sino mecánicamente. En los inicios de esta actividad, los ladrillos eran cocidos en hornos temporales que

usaban madera como combustible, el horno era construido con ladrillos. Los hornos típicos temporales hasta ese momento fueron cambiados por hornos tipo Scotch (hornos rectangulares) y después por hornos tipo Hoffman. En cuanto al combustible se cambió de madera a carbón (CBPI, 2004).

En Bhubaneswar, capital de Orissa, India existen gran número de hornos ladrilleros. Las autoridades de Orissa han impuesto tres condiciones para el establecimiento de los hornos ladrilleros de tipo industrial. La primera de ellas es que esta industria no debe establecerse en terrenos agrícolas o forestales, la segunda es que deben establecerse a 0.5 km de carreteras y autopistas nacionales y estatales, a 2 km de comunidades con poblaciones con 50,000 habitantes o menos y a 5 km de ciudades con más de 50,000 habitantes, y la última es que un grupo de hornos ladrilleros debe estar alejado de otro por al menos 1 km (EMPB, 2003).

III. HIPÓTESIS

En el Estado de Querétaro, la fabricación artesanal de ladrillo es una actividad extensiva no regulada que impacta negativamente a la fauna nativa que habita en la periferia de las zonas de fabricación.

IV. OBJETIVOS

IV.1 GENERAL

Elaborar un inventario de la producción artesanal de ladrillo en el Estado de Querétaro y estimar el daño genotóxico producido por las emisiones en ratones nativos empleando la zona de San Nicolás, Tequisquiapan como modelo.

IV.2 ESPECÍFICOS

- Elaborar mediante la aplicación de encuestas un inventario georeferenciado de hornos usados para la producción artesanal de ladrillo rojo en el Estado de Querétaro que incluya: a) ubicación geográfica, b) capacidad de producción, c) materias primas empleadas, d) descripción del proceso de producción, e) combustibles empleados, f) métodos de combustión, g) estimación de emisiones, h) periodos de exposición y i) número de personas expuestas.
- Estimar el daño genotóxico en ratones nativos de la zona ladrillera de San Nicolás, Tequisquiapan, mediante la cuantificación de fragmentos de ADN (micronúcleos) en eritrocitos de sangre periférica.
- Construir una base de datos meteorológicos de la zona de San Nicolás, Tequisquiapan que incluya, entre otros parámetros, la dirección y velocidad de los vientos para conocer la dirección de dispersión de contaminantes y las comunidades afectadas por los mismos.

V. METODOLOGÍA

V.1 Material

V.1.1 Elaboración del inventario geo-referenciado

Dispositivo de posicionamiento global (GPS) Marca Garmin Modelo eTrex Legend; Software ArcView 9.0, Environmental Systems Research Institute, Inc. (Esri); Cartas geográficas F14c65 (Municipio de Querétaro), F14c66 (Municipio de El Marqués), F14c67 (Municipio de Tequisquiapan), F14c76 (Municipio de Pedro Escobedo) y F14c77 (Municipio de San Juan del Río) obtenidas del Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Información (INEGI).

V.1.2 Estimación del daño genotóxico

Materiales: Trampas Sherman; Micropipeta de 2 - 20 μ l Marca Eagle; dispositivo para sangrar ratones elaborado por personal del Laboratorio de Toxicología Ambiental del Centro de Estudios Académicos sobre Contaminación Ambiental (CEACA); Dinamómetro Marca Ohaus; Placa con 96 pozos Marca Microtiter; Portaobjetos esmerilados Marca Corning; Lancetas Marca Feather Modelo 12; Cajas Coplin; Microscopio óptico Marca Olympus Modelo CHT.

Reactivos: Carnada (avena marca Quaker Oaks con esencia de vainilla); Cloroformo Marca Fermont; Heparina solución de 1000 ul/ml; Alcohol de 96°; Giemsa Marca Hycel de México, S.A. de C.V.; Hematoxilina de Harris Marca Merck y Aceite de inmersión Marca Zeiss.

V.1.3 Construcción de la base de datos meteorológicos

Estaciones meteorológicas marca Davis Instruments modelo Weather Monitor II; Software Wrplot 5.3 (Lakes Environmental)

V.2 Métodos

V.2.1 Elaboración del inventario geo-referenciado.

V.2.1.1 Elaboración y Aplicación de Cuestionarios.

Se elaboró un cuestionario para obtener la siguiente información de la industria ladrillera Queretana: a) datos generales del propietario, b) capacidad de producción, c) identidad, cantidad y origen de materias primas empleadas, d) descripción del proceso de producción, e) identidad, cantidad y origen de combustibles empleados, f) métodos de combustión, h) periodos de exposición ocupacional y i) número de personas expuestas. Previo a su uso en campo, el cuestionario se aplicó al grupo de trabajo para asegurarse de que cumplía con su objetivo, que las preguntas eran concisas, sencillas y claras para los encuestados y que fuera un instrumento operativo y de fácil aplicación para los encuestadores. El cuestionario se modificó y adecuó de acuerdo a los resultados de esa prueba. Posteriormente, se recorrió el Estado de Querétaro y los cuestionarios se aplicaron a los propietarios de hornos ladrilleros asentados en el estado.

V.2.1.2 Geo-referenciación

Para cada horno ladrillero se determinó su localización geográfica en coordenadas UTM empleando un dispositivo de posicionamiento global (GPS). Las coordenadas se situaron sobre las cartas geográficas F14c65 (Municipio de Querétaro), F14c66 (Municipio de El Marqués), F14c67 (Municipio de Tequisquiapan), F14c76 (Municipio de Pedro Escobedo) y F14c77 (Municipio de San Juan del Río) obtenidas del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) empleando el programa Arc View GIS 9.0. A cada coordenada correspondiente a un horno ladrillero se adicionó la información (meta-datos) que se obtuvo de la entrevista de manera tal que el mapa constituyó una base de datos visual y geo-referenciada de la industria ladrillera estatal.

V.2.2 Estimación del daño genotóxico

V.2.2.1 Muestreo de ratones nativos

Se muestrearon ratones que habitan en la periferia de la zona ladrillera de San Nicolás, Tequisquiapan, la zona ladrillera mas importante del Estado de Querétaro. La captura de especímenes inició en Junio de 2005 y concluyó en Noviembre de 2005. De acuerdo a la dirección de vientos dominantes en la zona, el muestreo se dirigió a una sección comprendida entre la parte Este-Sureste hasta la parte Oeste de la comunidad. Para la captura de ratones, se colocaron trampas tipo Sherman en sitios ocultos a la vista. En la parte interior de la trampa se colocó una carnada de avena impregnada con esencia de vainilla. Esta carnada es útil en la captura de roedores en otros sitios (Ríos y col., 1996). La localización de cada trampa (coordenadas geográficas UTM) se determinó con auxilio de un GPS. Las trampas se dejaron en el sitio por un periodo de aproximadamente 24 horas de manera que se cubriera un periodo de oscuridad.

V.2.2.2 Muestreo del grupo control

Como grupo no expuesto se recolectaron ratones de la zona del Tángano. El Tángano está localizado a 20 km al suroeste de la ciudad de Querétaro en la zona protegida del Cimatario. No existe actividad ladrillera en la zona o en la periferia. El muestreo inició en Diciembre de 2005 y concluyó en Febrero de 2006. Para la captura de especímenes se siguió la misma metodología que para el muestreo de ratones en la zona ladrillera de San Nicolás.

V.2.2.3 Recolección de muestra biológica

La recolección de muestra biológica se realizó en el sitio de captura. Los ratones capturados se colocaron dentro de un recipiente cerrado que contenía un algodón impregnado con cloroformo (1 ml) para sedar al animal y facilitar su manipulación. Para cada animal se recolectaron 30-50 μ l de sangre periférica de la vena lateral de la cola en condiciones asépticas. La sangre se mezcló inmediatamente con heparina (5 μ l) para prevenir coagulación. Después de la

recolección de sangre, los ratones se pesaron, midieron longitudinalmente y se determinó su sexo. Todos los animales se dejaron en libertad en su hábitat original. La captura, el manejo de animales y la recolección de muestras se realizó en condiciones que minimizaron dolor innecesario, estrés u otra forma de sufrimiento.

V.2.2.4 Elaboración de preparaciones para observación microscópica

Por cada ratón se prepararon de 3 a 5 frotis de sangre, dependiendo de la cantidad de sangre obtenida, inmediatamente después de la recolección. Para preparar cada frotis, se extendieron 3 μ l de sangre heparinizada sobre un portaobjetos limpio y desengrasado con el extremo de otro portaobjetos inclinado en un ángulo de 45°. Las preparaciones se dejaron secar durante 24 h antes de la tinción.

V.2.2.5 Tinción de preparaciones

Se usó la técnica reportada por Salomone y col. (1980) con algunas modificaciones. Las preparaciones se fijaron en metanol absoluto durante 5 min y se dejaron secar por 24 h transcurrido ese tiempo, se tiñeron por 15 min con colorante Giemsa (Hycel de México, S.A. de C.V.), se enjuagaron con agua corriente a presión para retirar el exceso de colorante y se tiñeron nuevamente durante 10 min con colorante Hematoxilina de Harris (Merck). Después de lavarlas con agua corriente, las preparaciones se dejaron secar por 24 h antes de realizar la observación microscópica.

V.2.2.6 Observación microscópica

Las muestras se observaron en un microscopio óptico con objetivo de inmersión (100x). Para cada laminilla se identificó el número de fragmentos nucleares (micronúcleos) en 2000 eritrocitos. Se consideraron como fragmentos nucleares, aquellos fragmentos teñidos de color morado que se encontraban dentro de la membrana citoplasmática del eritrocito, con características no refringentes, con bordes bien definidos y que se encontraban en el mismo plano

focal del eritrocito. Los resultados se reportaron como el porcentaje de micronúcleos. Se calculó la media y error estándar para cada grupo de animales estudiado y las medias se compararon con la prueba de Kolmogorov Smirnov.

V.3 Construcción de la base de datos meteorológicos

V.2.3.1 Ubicación e instalación de estaciones meteorológicas

Debido a la forma aproximadamente triangular de la comunidad de San Nicolás, Tequisquiapan y para asegurar la identificación de posibles microclimas, se instaló una estación meteorológica en cada uno de los vértices del triángulo. Las estaciones se instalaron a una altura de 10 m (Petchers, 2002) de la superficie del suelo, en el techo de casas habitación. Las ubicaciones elegidas fueron locaciones sin interferencia de árboles, construcciones, objetos o estructuras que pudieran interferir con las mediciones. Se emplearon estaciones meteorológicas marca Davis Instruments modelo Weather Monitor II. Las estaciones meteorológicas se calibraron con la altitud, presión barométrica y temperatura del sitio de ubicación. Se determinó un intervalo de 10 min para la recolección de los datos meteorológicos, así como un periodo de 10 días para la descarga de los datos almacenados en la memoria de la estación para posteriormente elaborar las rosas de vientos, de igual manera se estableció un programa trimestral de mantenimiento.

V.2.3.2 Dirección y velocidad de vientos

La información meteorológica se analizó con el software Wrplot 5.3 (Johnson y col., 2005). La dirección y velocidad de los vientos para cada una de las tres estaciones se representó como una rosa de vientos. La información meteorológica se adicionó como meta-datos a la base de datos geo-referenciada.

VI. RESULTADOS

VI.1 Inventario geo-referenciado de la Industria Ladrillera en el Estado de Querétaro

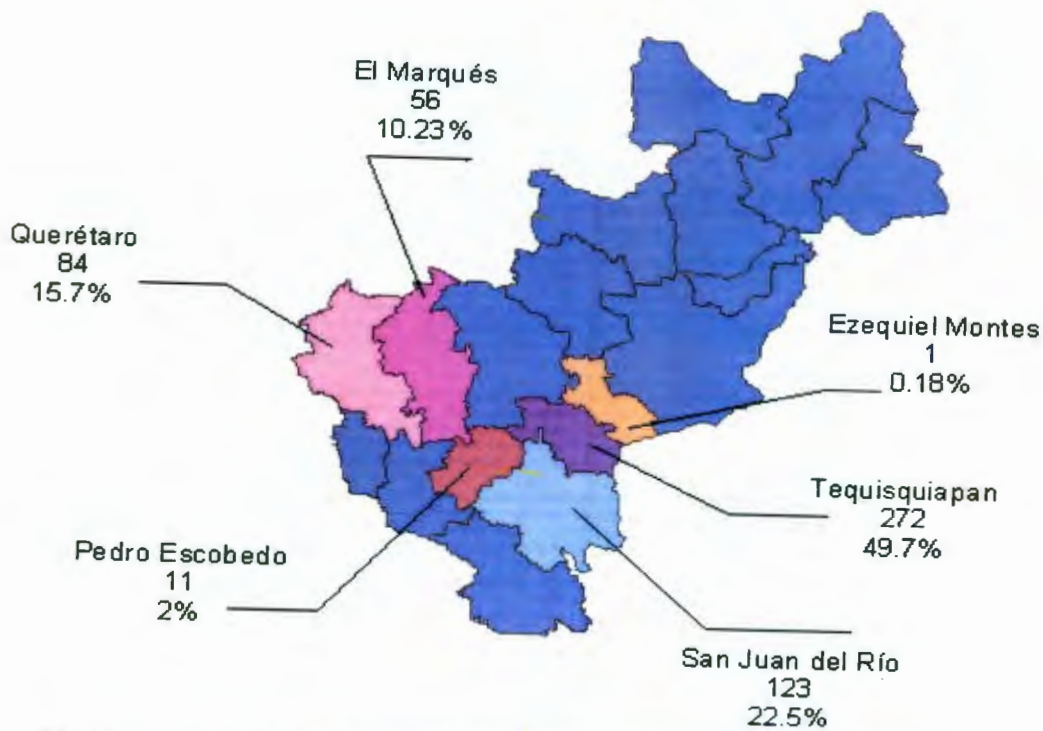
VI.1.1 Distribución geográfica

Se elaboraron 547 encuestas, las cuales arrojaron que la industria ladrillera artesanal Queretana se encuentra distribuida en la parte suroeste del estado, cerca de Santiago de Querétaro, la capital. En general, todos los hornos ladrilleros se encuentran cerca de vías de comunicación importantes que proveen acceso a centros de distribución y venta. Al momento del estudio (2005-2006), en el Estado de Querétaro existían 547 hornos que se emplean en la producción artesanal de ladrillo. De esos, 497 (90.8%) se encontraban en funcionamiento activo y 50 se empleaban sólo ocasionalmente o estaban fuera de uso. En el Cuadro 3 se muestra el porcentaje de hornos activos e inactivos por municipio ladrillero.

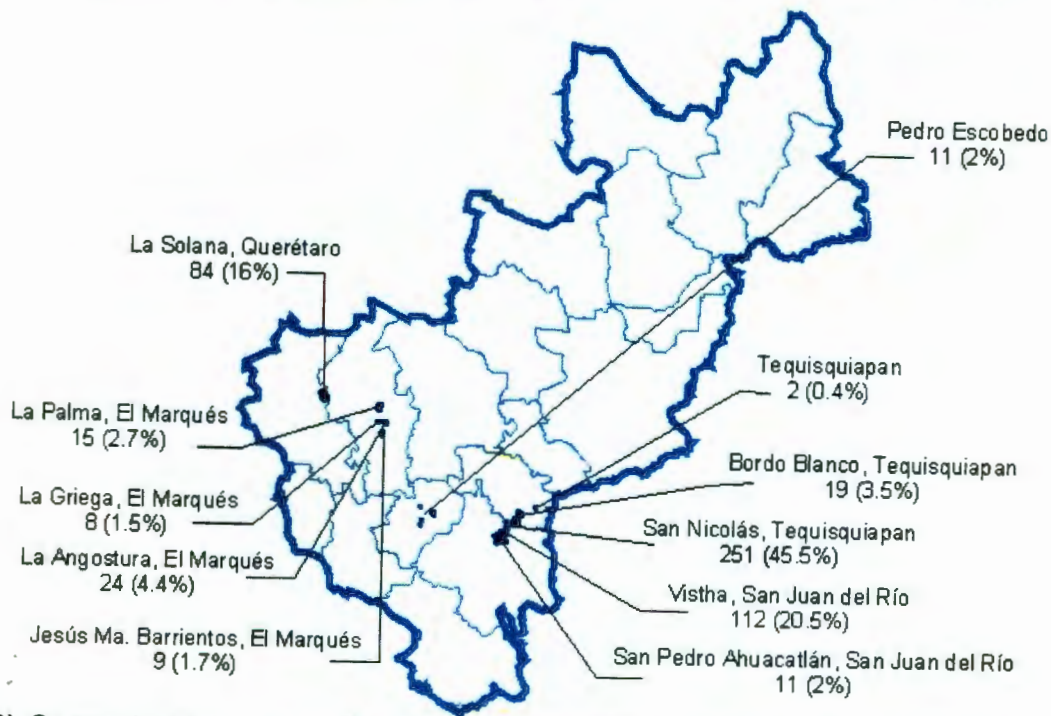
Cuadro 3. Porcentaje de hornos activos e inactivos por municipio ladrillero.

Municipio	Número de hornos	Hornos en uso (%)	Hornos fuera de uso (%)
El Marqués	56	67.86	32.14
Ezequiel Montes	1	100.00	0.00
Pedro Escobedo	11	63.64	36.36
Querétaro	84	70.24	29.76
San Juan del Río	123	97.56	2.44
Tequisquiapan	272	100.00	0.00

Los municipios productores de ladrillo en el Estado son: Tequisquiapan, San Juan del Río, Querétaro, El Marqués, Pedro Escobedo y en mucho menor grado Ezequiel Montes. En la Figura 1A se muestra la distribución municipal de la industria ladrillera artesanal en el Estado de Querétaro, el número de hornos por municipio y el porcentaje que representan del total. En los municipios de Tequisquiapan, San Juan del Río y Querétaro se encuentran asentados 85% de los hornos de todo el Estado.



A) Distribución de la industria ladrillera en los municipios del Estado.



B) Comunidades que se dedican a la fabricación artesanal de ladrillo rojo.

Figura 1. La industria ladrillera artesanal en el Estado de Querétaro.

Entre los municipios de San Juan del Río y Tequisquiapan, en el corredor de 18 km a lo largo de la carretera federal No. 120 San Juan del Río - Xilitla, se encuentran localizados 395 hornos, los cuales representan el 72.2% del total de hornos en el Estado. En el municipio de Tequisquiapan se ubican 49.7% de los hornos del Estado; siendo el municipio ladrillero más importante en nuestro Estado, seguido por San Juan del Río, Querétaro y El Marqués.

Dentro de estos municipios, una decena de comunidades se dedica a la producción artesanal de ladrillo. La localización de esas comunidades, el número y porcentaje de hornos ladrilleros se ilustra en la figura 1B. Aunque las hay aisladas, conjuntos importantes de comunidades ladrilleras se agrupan en los municipios de Tequisquiapan, San Juan de Río y el Marqués. En esos casos, la distancia entre comunidades ladrilleras es relativamente corta (aprox. 5 km).

Gran parte de los hornos ladrilleros en el Estado (57%) se encuentran ubicados en lotes ladrilleros (Figura 2A), es decir sitios destinados exclusivamente para las operaciones necesarias en la fabricación de ladrillo, fuera del límite de una casa habitación donde se encuentran asentados varios hornos para la manufactura de ladrillo. Los lotes ladrilleros, aunque fuera del límite de casas, son asentamientos no planeados que en el mejor de los casos se localizan en la periferia de una comunidad, pero en muchas ocasiones cercanos a casas habitación. En el establecimiento de esos asentamientos no se han considerado condiciones geológicas o meteorológicas (dirección del viento, por ejemplo) para definir su localización.

Una fracción importante de los hornos ladrilleros en el Estado (40%) se encuentran en zonas urbanizadas (Figura 2B); en el traspatio de una casa habitación dentro de la comunidad misma, cerca de escuelas, iglesias, centros de salud y centros recreativos. El 3% restante se encuentran en terrenos de cultivo o a pie de carretera (Figura 2C).



A) Horno dentro de una zona urbana



B) Horno en la periferia de la comunidad ladrillera



C) Horno cerca de terrenos de cultivo

Figura 2. Asentamientos de hornos ladrilleros.

El Cuadro 4 muestra los porcentajes de hornos localizados en zonas urbanas y lotes ladrilleros en las comunidades ladrilleras del Estado. En las comunidades de Bordo Blanco y San Nicolás en el municipio de Tequisquiapan y en la comunidad de San Pedro Ahuacatlán en el municipio de San Juan del Río, más del 50% de los hornos se localizan en zonas urbanas. Esas comunidades, principalmente la de San Nicolás, tienen un número importante de hornos. En otras comunidades, Barrientos, La Angostura, La Griega y La Palma en el municipio de El Marqués y la comunidad de La Solana en el municipio de Querétaro, los hornos se encuentran principalmente en lotes ladrilleros. Para esos casos, la distancia entre la localización de grupos de hornos y casas habitación varía entre 100 y 250 m.

Cuadro 4. Porcentaje de hornos ladrilleros ubicados en zonas urbanas y periféricas.

Municipio	Comunidad	Número de hornos	Zona urbana (%)	Periferia (%)	Otros * (%)
El Marqués	La Angostura	24	0.0	100.00	0.0
	La Palma	15	0.0	100.00	0.0
	Barrientos	9	0.0	100.00	0.0
	La Griega	8	0.0	100.00	0.0
	Total municipal	56	0.0	100.00	0.0
Tequisquiapan	San Nicolás	251	87.2	11.9	0.8
	Bordo Blanco	19	57.9	42.1	0.0
	Tequisquiapan	2	100.0	0.0	0.0
	Total municipal	272	85.3	13.9	0.7
San Juan del Río	Vistha	112	1.8	94.6	3.6
	San Pedro Ahuacatlán	11	54.5	27.3	18.2
	Total municipal	123	6.5	88.6	5.0
Querétaro	La Solana	84	1.19	97.6	1.2
	Total municipal	84	1.19	97.6	1.2
Pedro Escobedo	Pedro Escobedo	11	9.1	0.0	90.9
	Total municipal	11	9.1	0.0	90.9
Ezequiel Montes	Ezequiel Montes	1	0.0	0.0	100.0
	Total municipal	1	0.0	0.0	100.0
Total estatal		547	44.2	52.1	3.65

* Incluye campos de cultivo y locaciones a pie de carretera

El Municipio de Tequisquiapan es el municipio con el mayor número de hornos para la elaboración de ladrillo rojo en el Estado (272), la comunidad de San Nicolás es la comunidad con más hornos en ese municipio (251, 92.3 %) y en el Estado (251, 45.9 %). Además, San Nicolás es la comunidad en donde se encuentran el mayor porcentaje de hornos (87.3 %) dentro del trazo urbano. La Figura 3 muestra la comunidad de San Nicolás y la ubicación de los hornos ladrilleros (puntos rojos) determinada con un dispositivo de posicionamiento global. La zona de color amarillo representa la comunidad en la cual se observa el trazo de las calles (líneas blancas), esta zona es atravesada en dirección suroeste – noreste por la carretera San Juan del Río – Xilitla, dividiendo la comunidad en dos partes y de suroeste a noreste es atravesada por las vías del ferrocarril (línea negra). El horno más alejado de la zona urbana se encuentra localizado aproximadamente a 550 m. La cercanía entre complejos habitacionales y hornos se ilustra en las Figuras 3 y 2A.

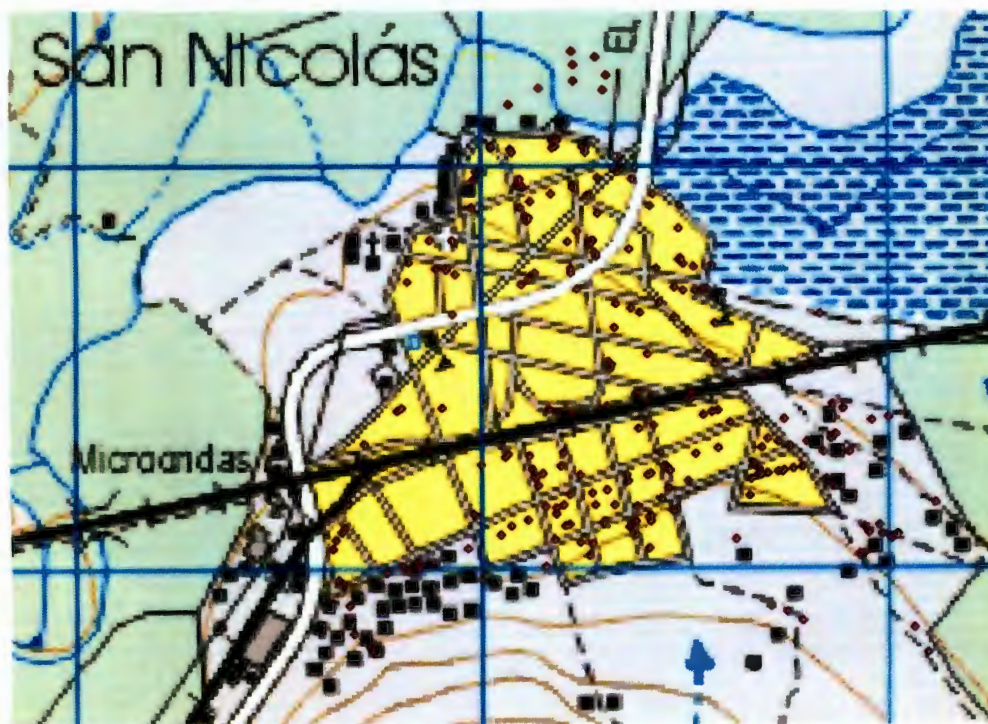


Figura 3. Ubicación de hornos ladrilleros en la comunidad de San Nicolás, Tequisquiapan, Querétaro.

La industria ladrillera artesanal Queretana es una industria no regulada. Eso significa que no se controlan los combustibles empleados, no se verifica la eficiencia de los procesos de combustión, no se conoce la ubicación de la industria, no se controlan exposiciones ocupacionales y no esta incorporada en un régimen fiscal. En resumen, no se sabe exactamente el impacto económico, social y ambiental.

VI.1.2 Proceso de elaboración de ladrillo.

La elaboración de ladrillos es un proceso artesanal. Comienza con la extracción de las principales materias primas: tierra arcillosa y agua. La tierra y el agua se mezclan homogéneamente y la mezcla se coloca en moldes rectangulares (26.5 cm x 15.5 cm x 5.5 cm) para formar la pieza de ladrillo. Los ladrillos crudos se dejan secar al sol (48-72 h) para eliminar la mayor cantidad de humedad y posteriormente se hornean. Con el horneado, los ladrillos cambian de color gris a color rojo óxido y adquieren excelentes propiedades mecánicas.

Los ladrillos secos se hornean en construcciones cuboidales (aprox. 4x4x2m) de adobe (Figura 4A) con un orificio en la parte inferior (Figura 4B) para colocar el quemador. La parte superior del horno se deja abierta para introducir los ladrillos crudos y conducir la salida de las emisiones producidas durante el proceso. Durante el proceso de cocción del ladrillo y por la altura de los hornos (1-2 m sobre el nivel del suelo), las emisiones permanecen cerca de la fuente de emisión y son transportadas a distancias que dependen de las condiciones atmosféricas. La Figura 4C muestra un horno típico y la Figura 4A las emisiones generadas durante la etapa horneado.

El dispositivo para la generación de calor (el quemador como se le conoce comúnmente en la industria) consiste de una cámara tubular de hierro que genera un jet de vapor de agua a presión para dispersar combustible en el interior del horno. La cámara de hierro es continuamente alimentada con agua y el combustible es dosificado por una línea de alimentación adyacente y fluye directamente sobre el flujo de vapor de agua para mantener fuego dentro del horno. La cámara de hierro se coloca parcialmente dentro del horno para que el



A) Horno durante la etapa de cocción



B) Quemador (centro) y suministro de combustible (depósito de la izquierda) y agua (depósito de la derecha)



C) Horno típico empleado en la fabricación de ladrillo.

Figura 4. Proceso de elaboración de ladrillo.

calor generado por la combustión vaporice el agua dentro de la cámara. Las líneas de alimentación de agua y combustible tienen válvulas de una vía para prevenir el flujo de agua o combustible en sentido opuesto. La Figura 4B muestra la posición del quemador en un horno ladrillero. Los quemadores son de fabricación casera y son, en ocasiones, fabricados por los mismos dueños o trabajadores de los hornos. El diseño funcional, pero rudimentario e ineficiente del quemador tiene una vida media corta y representa un riesgo laboral para los trabajadores del horno y un problema ambiental por derrames de combustible del quemador o del depósito de combustible.

VI.1.3 Materias primas empleadas

Las materias primas empleadas en la fabricación de ladrillo incluyen tierra, agua, estiércol, aserrín, grava y en algunos casos arenas más finas. En 59.3% de los casos, la tierra utilizada proviene de terrenos de cultivo y el resto (40.7%) de bancos de material (considerando los encuestados que respondieron a esa pregunta, n=142). El agua proviene de la red de agua potable (47.5%), lluvia (15.8%), plantas de tratamiento (14.9%), ríos (12.9%), otros cuerpos de agua (5.4%) y pozos (3.5%).

VI.1.4 Producción de ladrillo en el Estado de Querétaro

La fabricación artesanal de ladrillo en el Estado es un insumo importante para la industria de la construcción. Con la información obtenida mediante la aplicación de los cuestionarios se estimó que mensualmente se producen, aproximadamente, 4.5 millones de ladrillos en el Estado. El Cuadro 5 muestra una estimación de la producción mensual de ladrillos por comunidad ladrillera. San Nicolás, Tequisquiapan, es la comunidad productora más importante en el Estado.

Cuadro 5. Estimación de la producción mensual de ladrillo por comunidad ladrillera.

Comunidad	Producción (Millones)
San Nicolás, Tequisquiapan	2.50
La Solana, Querétaro	0.68
Vistha, San Juan del Río	1.16
San Pedro Ahuacatlán, San Juan del Río	0.11
Pedro Escobedo	0.62
TOTAL	4.50

VI.1.5 Combustibles

El tipo de combustible empleado en la industria ladrillera es estacional y en general se emplea cualquier material combustible disponible y barato. La Figura 5 muestra la frecuencia reportada de uso de combustible en la industria ladrillera del

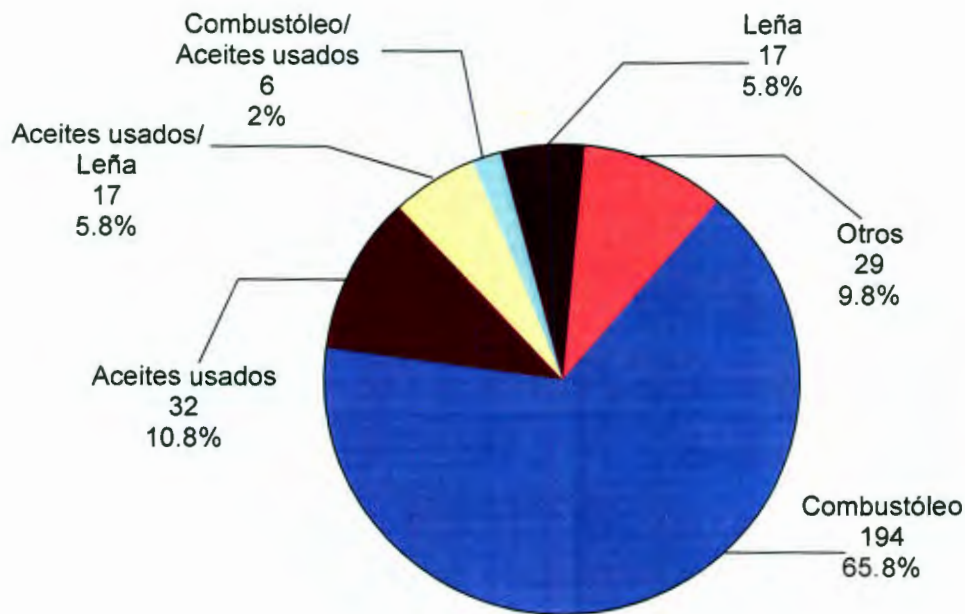


Figura 5. Frecuencia reportada de uso de combustible en la industria ladrillera del Estado de Querétaro.

Estado de Querétaro. El combustible que se reportó como usado más frecuentemente es el combustóleo (65.8%), seguido de aceites usados (10.8%) y leña (5.8%). Otros combustibles que se emplean en la industria ladrillera Queretana se listan en la Cuadro 6 e incluyen residuos sólidos, residuos líquidos, mezclas de solventes y basura, entre muchos otros.

El tiempo de horneado y la cantidad de combustible requerido dependen de la calidad y del tipo de combustible. El tiempo de horneado promedio para 10,000 ladrillos es de 24 horas. El Cuadro 7 muestra la cantidad promedio requerida de cada uno de los combustibles para la fabricación de 10,000 ladrillos, basada en la información proporcionada por los entrevistados. La cantidad requerida de aceite usado ($1,304 \pm 288$ L) para fabricar 10,000 ladrillos es, si acaso, sólo ligeramente menor que la cantidad requerida de combustóleo ($1,403 \pm 313$ L). En general, la cantidad de combustóleo-aceite requerida para el horneado es mayor que la cantidad de aceite usado-leña esta comparación fue mencionada durante la realización de las entrevistas. El Cuadro 8 muestra una estimación del consumo

Cuadro 6. Otros combustibles usados en la fabricación artesanal de ladrillo rojo^a

Aceites usados y torta de filtración ^b	Estiércol y aceites usados
Aceites usados y cera	Llantas
Aceites usados y llantas	Llantas y residuos industriales
Aceites usados, llantas, plásticos, residuos industriales ^c y basura	Llantas y telas ^d
Aceites usados y plásticos	Llantas y plásticos
Aserrín y estiércol	Llantas, plásticos, aceites usados y residuos industriales
Aserrín, estiércol y residuos industriales	Partes combustibles estructurales y aislantes de refrigeradores
Aserrín y plásticos	Plásticos
Aserrín, plásticos y cera	Residuos industriales y telas
Cera	Residuos industriales, estiércol y aserrín
Cera, plástico, aserrín y estiércol	Residuos de tela
Cera, plásticos y estiércol	Residuos sólidos municipales
Combustóleo y residuos industriales	Residuos industriales, plásticos y estiércol
Estiércol y cera	

^a El uso de otros combustibles es específico para cada localidad, ^b Residuos de filtros de plantas de tratamiento de aguas, ^c Residuos no caracterizados de la industria local, ^d Incluye naturales y sintéticas.

Cuadro 7. Cantidad promedio requerida de cada combustible para la fabricación de 10,000 ladrillos.

Combustible	Número de hornos	Cantidad empleada para 10,000 ladrillos
Combustóleo/Aceites Usados	6	1,546 ± 413 L
Aceites usados	16	1,304 ± 288 L
Combustóleo	31	1,403 ± 313 L
Aceites usados/Leña	6	407 ± 159 L / 2 ± 0.38 ton

Cuadro 8. Estimación del consumo de mensual de combustible por comunidad ladrillera.

Comunidad	Combustóleo /Aceites Usados (L)	Aceites Usados (L)	Combustóleo (L)	Aceites Usados/Leña (L/ton)
San Nicolás, Tequisquiapan	9,276 (n=6)	5,216 (n=4)	238,510 (n=170)	
La Solana, Querétaro		33,904 (n=26)		6,919 / 34 (n=17)
Bordo Blanco, Tequisquiapan			22,448 (n=16)	
Vistha, SJR		2,608 (n=2)	11,224 (n=8)	
Total	9,276	41,728	272,182	6,919 /34

n: número de hornos en la comunidad que reportaron el consumo de ese combustible.

mensual de los principales combustibles empleados en algunas de las comunidades ladrilleras del Estado, este cuadro sólo incluye a aquellos hornos que contestaron afirmativamente a la pregunta acerca del tipo y cantidad de combustibles empleados. En Querétaro se queman alrededor de 40,000 L/mes de aceites usados y 272,000 L/mes de combustóleo, además de cantidades significativas de mezclas de combustible, leña y otros materiales, líquidos y sólidos, no caracterizados.

VI.1.6 Impacto ambiental

La industria ladrillera artesanal tiene impactos ambientales importantes a varios niveles. Uno de ellos esta relacionado con la extracción de materias primas (estiércol, tierra, agua, aserrín). La arcilla, dependiendo de la accesibilidad y capital disponible, se obtiene de bancos de materiales ubicados cerca de las comunidades ladrilleras, o bien se extrae de terrenos de cultivo, generalmente cercanos al horno. En este caso se disminuye significativamente la capacidad de producción agrícola debido a la eliminación de la parte fértil del suelo, y causando además un deterioro en el paisaje.

Otro impacto tiene que ver con la cantidad e identidad de contaminantes emitidos. El Cuadro 9 muestra una estimación de la cantidad de los contaminantes criterio emitidos anualmente por los hornos ladrilleros que usan leña como combustible (17, 5.8%) considerando su capacidad de producción indicada en el momento de la entrevista (10,000 ladrillos/mes). Esa estimación se realizó empleando los factores de emisión reportados en el Inventario Nacional de Emisiones de México 1999 (ERG y TransEngineering, 2005). Para esa estimación se hicieron los siguientes supuestos: a) Las PM_{10} representan 0.9350 de las PM totales (ERG y TransEngineering, 2005), b) Las $PM_{2.5}$ representan el 0.9001 de las PM totales (ERG y TransEngineering, 2005). Los factores de emisión usados son: NO_x - 6.2254×10^{-4} kg/ladrillo, COV - 8.1153×10^{-3} kg/ladrillo, CO - 3.6760×10^{-2} kg/ladrillo, PST - 5.8931×10^{-3} kg/ladrillo, PM_{10} - 5.51×10^{-3} kg/ladrillo, $PM_{2.5}$ - 5.3044×10^{-3} kg/ladrillo. Se estima que el 5.8% de los hornos en el Estado que emplean madera como combustible emiten 131.75 ton/año de contaminantes al aire. Siendo el monóxido de carbono el contaminante que se emite en mayor cantidad (77,858 kg/año) seguido de los compuestos orgánicos volátiles (COV, 17,188 kg/año) y las partículas suspendidas totales (12,482 kg/año).

El combustóleo fue el combustible con la frecuencia de uso más alta en la industria ladrillera del Estado (65.8%). El Cuadro 10 muestra una estimación de la cantidad de contaminantes de algunos compuestos orgánicos y metales generados por hornos ladrilleros que utilizan combustóleo. Para esa estimación se emplearon los factores de emisión reportados en la California Air Toxics Emission Factor Database (CATEF) por la CEPA (California Environmental Protection Agency), 2000. De acuerdo a esas estimaciones, en la fabricación de ladrillos se podrían producir cantidades importantes de vanadio (29.33 g/año), níquel (49.65 g/año), formaldehído (20.05 g/año), benceno (12.68 g/año), benzo(a)pireno (4.19 g/año), dioxinas (0.10 g/año), TCDD (2.621×10^{-06} g/año), arsénico (0.22 g/año), furanos (0.23 g/año), mercurio (0.07 g/año) y plomo (1.71 g/año).

Los combustibles empleados durante la cocción de los ladrillos no sólo afectan la calidad del aire. Otro impacto importante son los derrames al suelo que

Cuadro 9. Estimación de emisiones anuales generadas por hornos ladrilleros que usan leña

Horno	Estimaciones de emisiones kg/año					
	NO _x	COV	CO	PST	PM ₁₀	PM _{2.5}
1	74.70	973.84	4,411.19	707.17	661.20	636.52
2	149.41	1,947.68	8,822.38	1,414.34	1,322.41	1,273.05
3	134.47	1,752.91	7,940.14	1,272.91	1,190.17	1,145.74
4	74.70	973.84	4,411.19	707.17	661.20	636.52
5	74.70	973.84	4,411.19	707.17	661.20	636.52
6	97.12	1,265.99	5,734.55	919.32	859.57	827.48
7	134.47	1,752.91	7,940.14	1,272.91	1,190.17	1,145.74
8	74.70	973.84	4,411.19	707.17	661.20	636.52
9	74.70	973.84	4,411.19	707.17	661.20	636.52
10	74.70	973.84	4,411.19	707.17	661.20	636.52
11	74.70	973.84	4,411.19	707.17	661.20	636.52
12	74.70	973.84	4,411.19	707.17	661.20	636.52
13	37.35	486.92	2,205.59	353.59	330.60	318.26
14	59.76	779.07	3,528.95	565.74	528.96	509.22
15	37.35	486.92	2,205.59	353.59	330.60	318.26
16	33.62	438.23	1,985.04	318.23	297.54	286.44
17	37.35	486.92	2,205.59	353.59	330.60	318.26
TOTAL	1,319	17,188	77,858	12,482	11,670	11,235

Cuadro 10. Estimación de emisiones de compuestos orgánicos y metales generados por hornos ladrilleros que emplean combustóleo.

Contaminante	Factor de emisión mg/L	Emisión g/año
Acetaldehído	2.768×10^{-04}	0.8884
Antraceno	2.780×10^{-06}	0.1683
Antimonio	1.306×10^{-04}	0.4163
Arsénico	7.058×10^{-05}	0.2249
Benceno	3.978×10^{-03}	12.6802
Benzo(a)pireno	2.996×10^{-06}	4.1971
Berilio	5.033×10^{-05}	0.1739
Cadmio	4.110×10^{-04}	1.4205
Cloroformo	5.944×10^{-04}	2.0541
Cromo hexavalente	4.194×10^{-05}	0.1449
Dioxinas	1.360×10^{-08}	0.1040
Formaldehído	6.291×10^{-03}	20.0515
Furanos	5.932×10^{-04}	0.2351
Mercurio	2.313×10^{-05}	0.0737
Naftaleno	5.932×10^{-04}	1.8905
Níquel	1.558×10^{-02}	49.6515
Plomo	5.381×10^{-04}	1.7148
Selenio	3.871×10^{-04}	2.9248
Tolueno	8.748×10^{-04}	2.7881
TCDD	7.585×10^{-11}	2.621×10^{-06}
Vanadio	9.203×10^{-03}	29.3325
Xileno total	1.112×10^{-03}	3.6889

ocurren comúnmente durante el almacenamiento, manejo y transporte de combustibles.

VI.1.7 Impacto económico

A pesar de que es una actividad con un margen de ganancia limitado, la industria ladrillera proporciona el sustento económico a cientos de familias Queretanas. En algunos casos familias enteras se dedican a las tareas de extracción de materia prima, amasado del lodo, moldeado, transporte de combustibles, llenado y descargado de hornos, alimentación de combustible durante el horneado, fabricación del quemador y carga/descarga de ladrillos en camiones para transporte. Ni siquiera los niños escapan a esa labor. No es raro

encontrar niños y jóvenes trabajando después de horas de clase. La fabricación y venta de un lote de ladrillos (10,000) puede tardar hasta un mes. En general el capital de los productores se agota con la fabricación de un lote y necesitan venderlo para continuar la producción y para obtener las ganancias derivadas del producto. En muchas ocasiones, esas condiciones los obligan a vender el ladrillo a sub-precio a casas distribuidoras de materiales que tienen la capacidad económica y física para almacenar el producto. La falta de capital, el pequeño margen de ganancia y la necesidad de ingresos económicos inducen a algunos productores artesanales de ladrillo a recurrir por otras opciones laborales. La falta de clientes y la inhabilidad de pagar la mano de obra necesaria para la operación de hornos ha obligado a muchos propietarios a cerrar algunos de sus hornos o hacerlos mas pequeños. Efectivamente, esas limitaciones han disminuido el número de hornos activos en algunas comunidades, contabilizando 50 hornos inactivos al momento del estudio. Algunos propietarios de hornos o de terrenos de cultivo los rentan para el horneado de ladrillo o para la extracción de materia prima, respectivamente.

A pesar de ser una actividad artesanal, la fabricación de ladrillo no es remunerada de manera adecuada y el pago que reciben los productores por el ladrillo es mucho menor del que correspondería a un producto considerado como artesanía. La elaboración de ladrillo implica varios gastos incluyendo agua (si es que no cuentan con un río o bordo cerca), la extracción de tierra (si no tienen un terreno propio de donde extraerla), el pago de trabajadores, renta del horno o terreno, combustible, y si es el caso pago de transporte para su venta, entre otras. Todos esos gastos y los pequeños márgenes de ganancia hacen que la fabricación artesanal de ladrillo sea una actividad económica de sobrevivencia.

Con la información obtenida en la aplicación de encuestas se sabe que alrededor de 1,500 personas dependen de esta actividad en el Estado. En La Solana y San Nicolás aproximadamente el 20% y 24%, respectivamente, de la población depende económicamente de esta actividad. En algunas localidades, los pobladores se dedican a la elaboración de ladrillos para complementar los ingresos que obtienen de la agricultura u otras actividades.

VI.1.8 Impacto social

En el Estado de Querétaro, la fabricación de ladrillo y productos similares de forma artesanal se lleva acabo desde hace varias décadas. Muchos de los artesanos ladrilleros que actualmente son propietarios de un horno trabajaban ayudando a sus padres desde niños en la misma actividad. De esa manera el arte del oficio, la propiedad, y el horno, cuando aplica, se heredan de generación en generación. La fabricación de ladrillo es un oficio extenuante, agobiante y mal pagado. Las tareas inician desde el amanecer (6-7 hrs) y se dividen entre hombres mujeres, niños y ancianos de la familia propietaria del horno y empleados. Generalmente, los niños ayudan a sus padres en la elaboración de ladrillo después de ir a la escuela. Las tareas de mujeres y niños son tan extenuantes como las de los adultos. En promedio se requiere de la mano de obra de 8 personas para la elaboración de un lote de ladrillo (10,000). En algunas comunidades, la fabricación de ladrillo es parte importante de la cultura y proporciona identidad a la comunidad.

VI.1.9 Receptores susceptibles

La contaminación generada por hornos ladrilleros no sólo puede perjudicar a los trabajadores de los hornos, sino también a los habitantes de las zonas ladrilleras y a otros receptores en zonas periféricas incluyendo humanos, animales y plantas. La Figura 6 muestra las comunidades y el número de personas asentadas en un radio de 5 km de las zonas ladrilleras del Estado. El radio de influencia de 5 km se determinó de forma arbitraria, para poder estimar el posible número de receptores afectados, ya que por observaciones visuales, realizadas durante las visitas a estas zonas, se determino que es posible que la contaminación se disperse esa distancia. En la Figura 6 son evidentes dos corredores ladrilleros, el corredor de San Juan del Río-Tequisquiapan, donde se encuentran localizados 72.2% de los hornos del estado, habitan aproximadamente 144,300 personas a una distancia menor o igual a 5 km de cualquier horno ladrillero, y el corredor de El Marqués donde también otras poblaciones

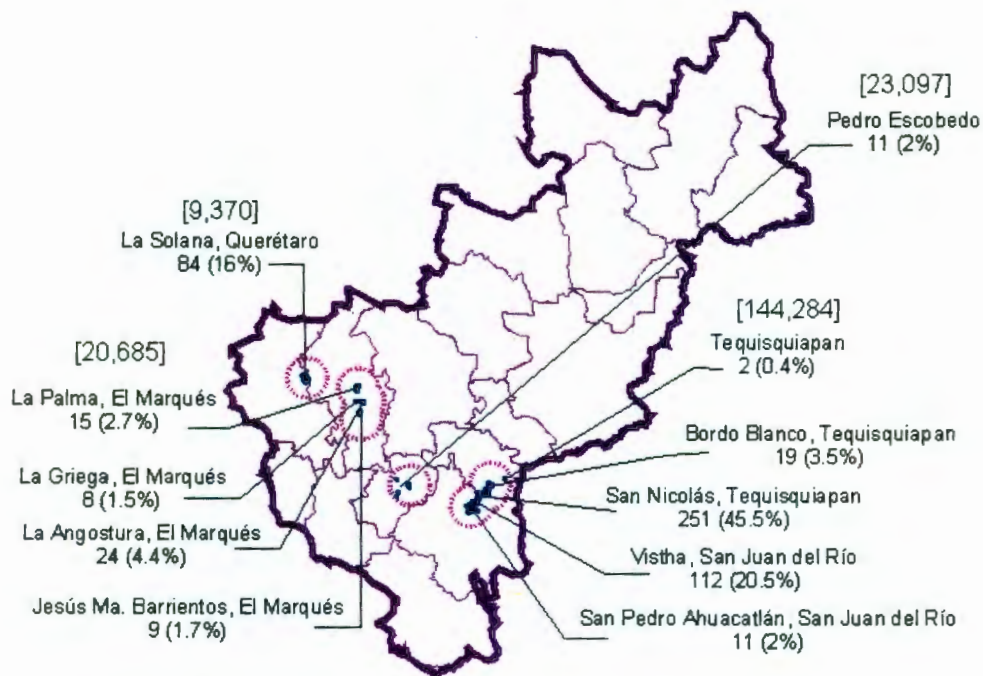


Figura 6. Comunidades asentadas en un radio de 5 km de las zonas ladrilleras.

impactadas de forma importante (~20,700 personas, 10% de hornos) y en la comunidad de La Solana (~9,400, 16% de hornos).

Las emisiones pueden afectar a los habitantes de las comunidades, así como a la flora y la fauna. Para evaluar el efecto en la fauna se realizó un muestreo de ratones silvestres en la zona periférica sur de la comunidad de San Nicolás, Tequisquiapan. Se determinó la densidad de roedores por captura/liberación ($n=61$) y el daño genotóxico midiendo la frecuencia de fragmentos nucleares (micronúcleos) en eritrocitos de sangre periférica. Para determinar la densidad de la población de ratones, la zona de muestreo se dividió en cuadrantes de 50 m^2 y se colocaron 498 trampas. La densidad de población se calculó como el cociente del número de ratones capturados por cuadrante y el número de trampas colocadas en ese cuadrante expresado por cada 50 m^2 . La figura 7 muestra (cuadros rojos) las densidades de ratones encontradas. Los cuadrantes sin color tienen una densidad observada de cero. La región periférica sur y sur-suroeste de San Nicolás es un hábitat natural de ratones de la especie

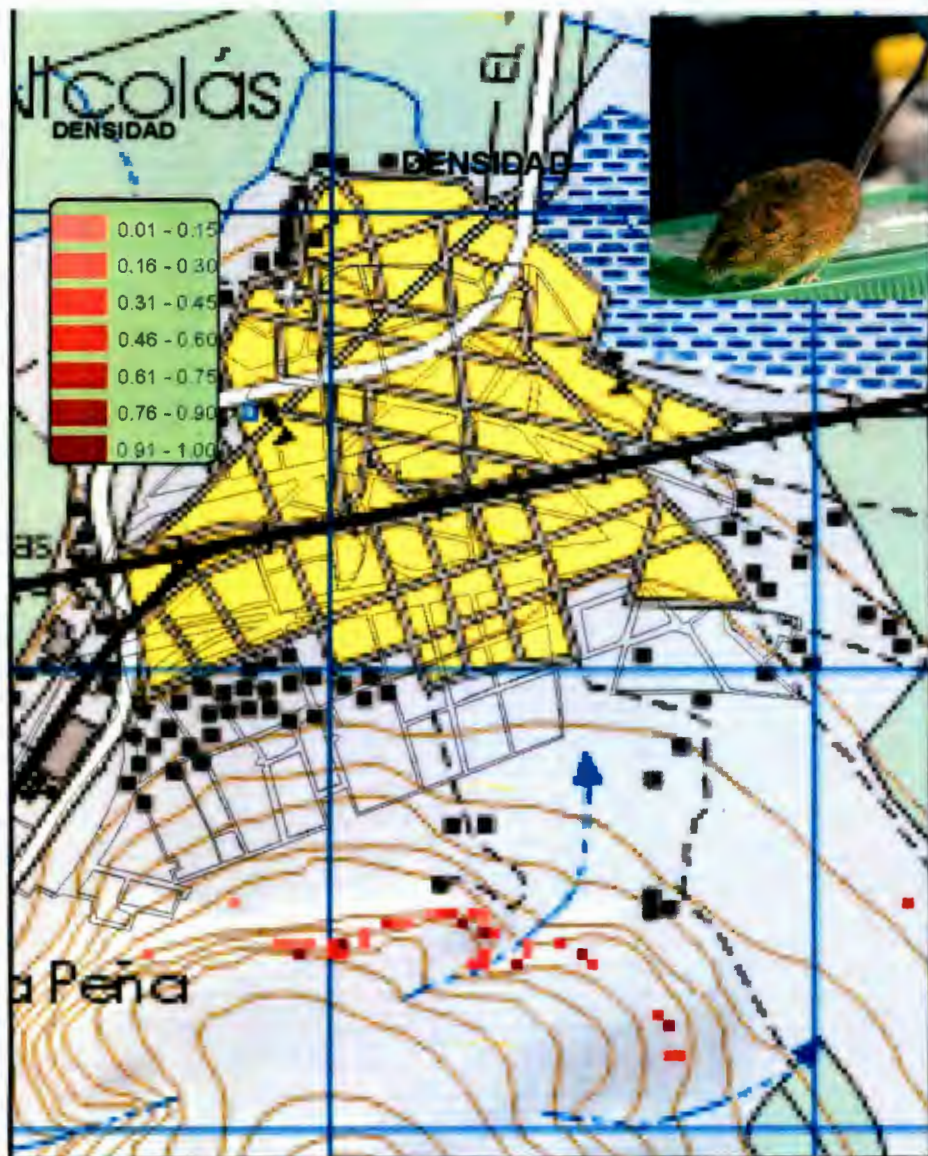
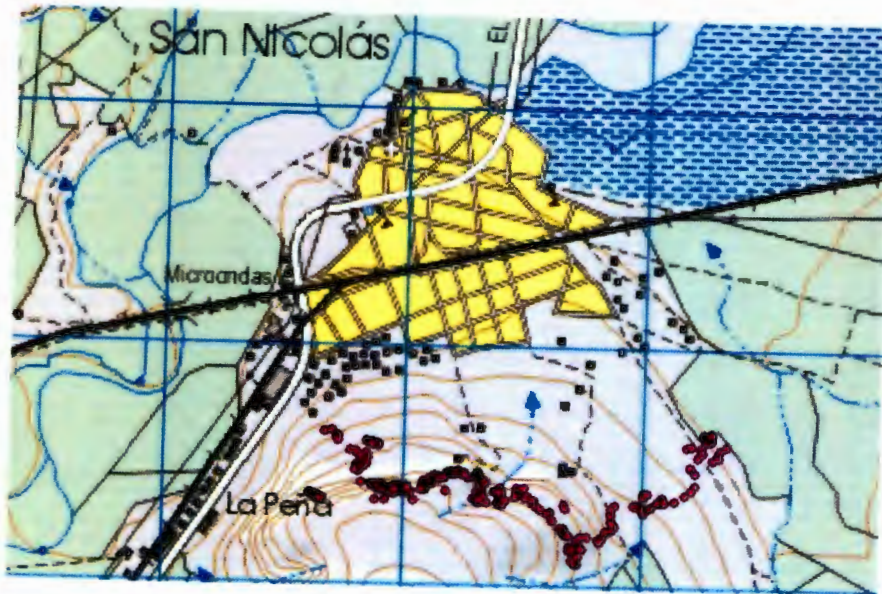


Figura 7. Densidad de población de ratones.

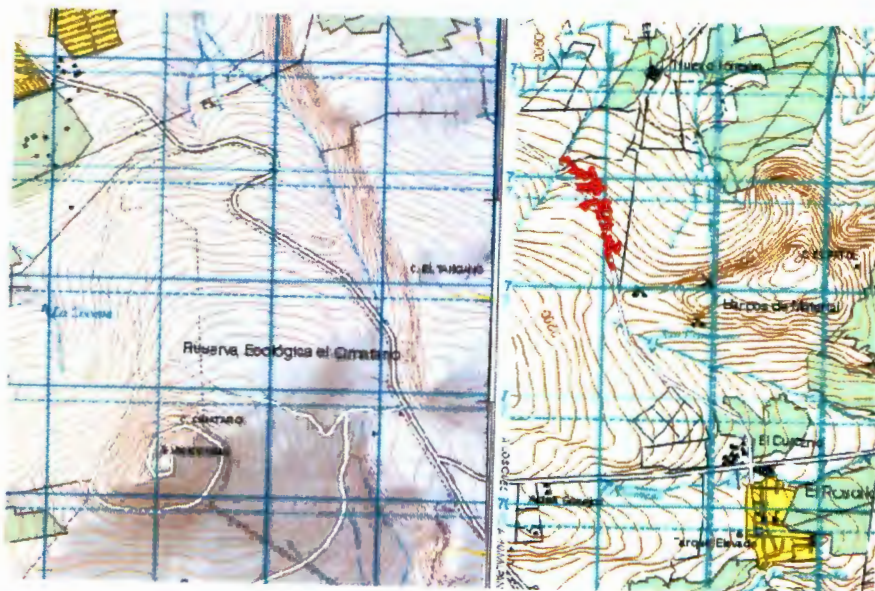
Peromyscus sp (Figura 7) con densidades de población de hasta 1 ratón por cada 50 m². Por la dirección de los vientos dominantes, las emisiones producidas por ladrilleras de la comunidad de San Nicolás impactan esta zona y pudieran afectar las poblaciones nativas de ratones y de otras especies.

VI.2 Estimación del daño genotóxico.

Durante el periodo de muestreo se colocaron un total de 416 trampas en sitios periféricos al suroeste de la comunidad de San Nicolás (indicadas con círculos de color rosa en la Figura 8A) y se colocaron en el Tángano, parte de la



A) Población expuesta (San Nicolás, Tequisquiapan)



B) Población control (El Tángano, Querétaro)

Figura 8. Sitios de muestreo de ratones.

reserva Ecológica, El Cimatario 494 trampas (población no expuesta) (Figura 8B, círculos de color naranja). La posición geográfica de cada punto (UTM) se colocó en una carta de la zona con ayuda de ArcView.

La Figura 9 muestra la media y el error estándar de fragmentos de ADN (micronúcleos) encontrados en la población expuesta (n=61) y en la población control (n=41). La población expuesta mostró una media del porcentaje de micronúcleos en eritrocitos de 0.0729 ± 0.012 , aproximadamente 3 veces mayor que la encontrada en la población no expuesta ($0.0238 \pm 7.18 \times 10^{-3}$), esta diferencia es estadísticamente significativa empleando la prueba de Kolmogorov Smirnof. Los resultados indican que las emisiones resultantes de la fabricación artesanal de ladrillo producen daño genotóxico.

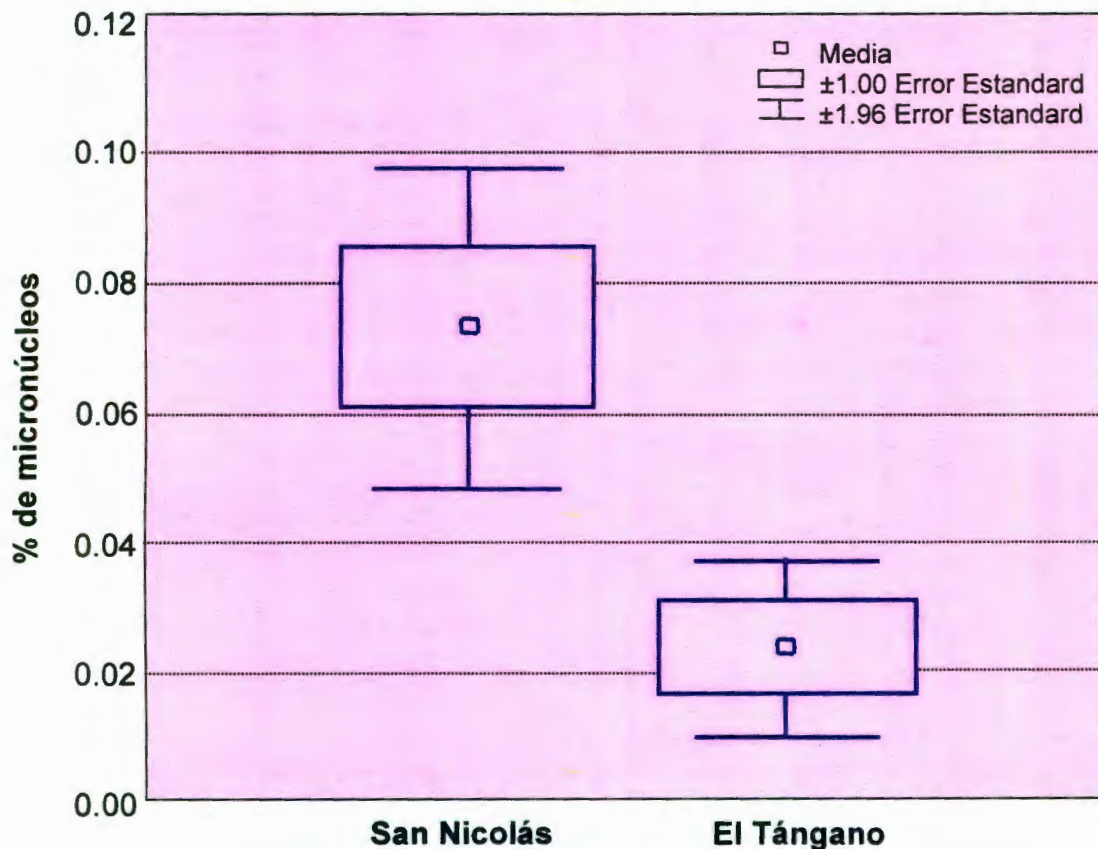


Figura 9. Porcentaje de micronúcleos observados en ratones capturados en la periferia de la población de San Nicolás y en la reserva ecológica El Tángano.

La Figura 10 es una fotografía de eritrocitos de sangre periférica de ratón donde se puede observar un eritrocito conteniendo un micronúcleo.

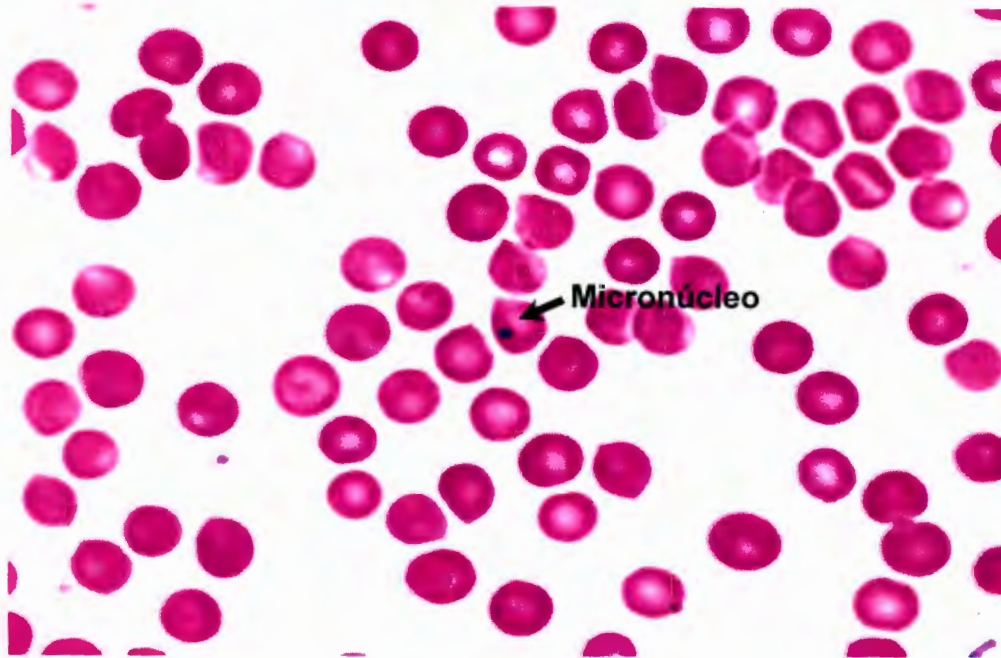


Figura 10. Eritrocito de sangre periférica de ratón con un fragmento de ADN (micronúcleo).

VI.3 Construcción de la base de datos meteorológicos

Se recolectó información climatológica durante 5 meses (Septiembre 2005-Febrero 2006) de las tres estaciones meteorológicas instaladas en la comunidad de San Nicolás (Figura 11) para determinar la dirección del movimiento de los contaminantes. Los vientos dominantes vienen del Noreste y se dirigen hacia el Suroeste. De acuerdo a la escala de Beaufort (Morris, 2004), treinta por ciento de los vientos son brisas ligeras (2.1 – 3.6 m/s), es decir viento que puede sentirse sobre el rostro. El 15% son brisas (3.6 – 5.6 m/s) y 3.7% son brisas moderadas (5.7 – 8.8 m/s). En una situación hipotética y simplista considerando un movimiento horizontal, los contaminantes tardarían 1.38 horas, 53.57 min, 34.09

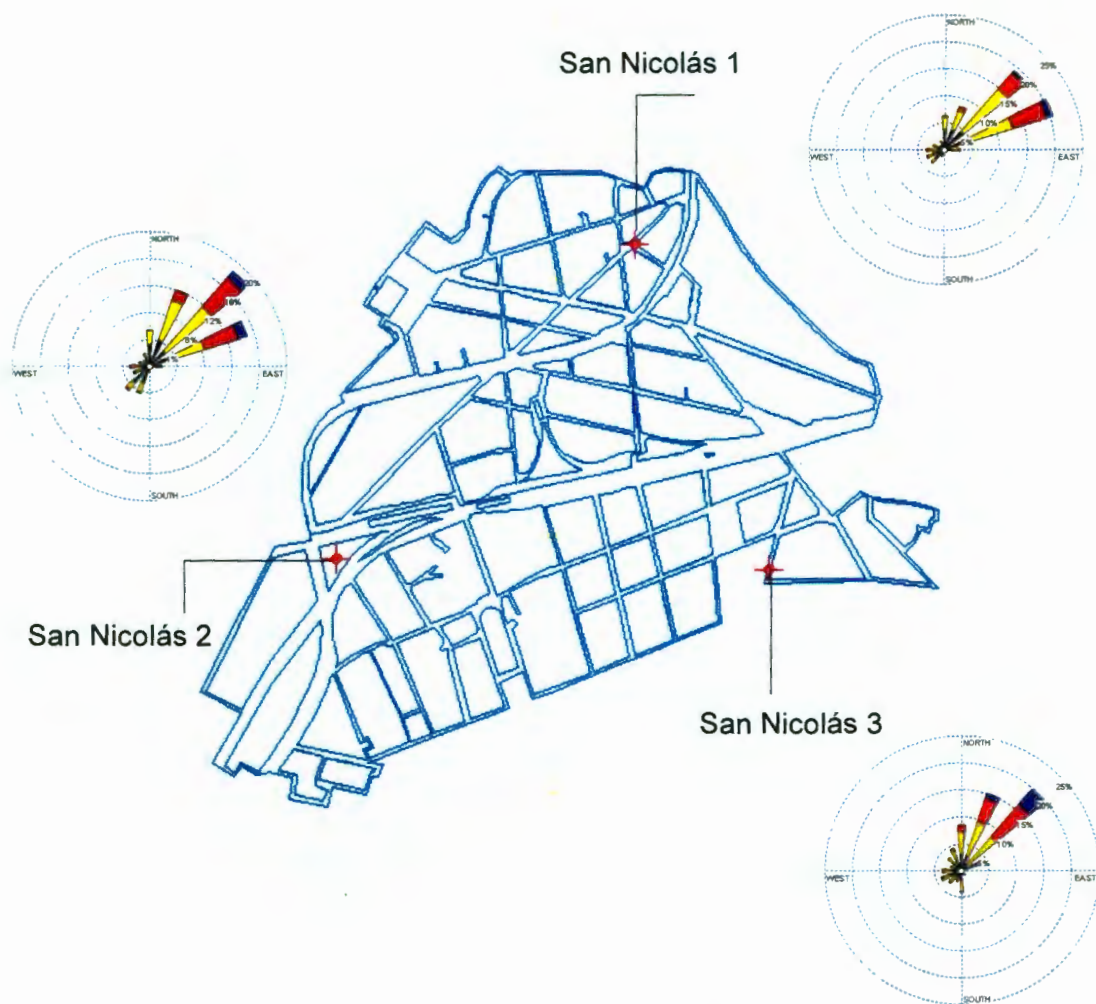


Figura 11. Vientos dominantes en las tres estaciones meteorológicas ubicadas en la comunidad de San Nicolás, Tequisquiapan.

min, respectivamente, en recorrer la distancia de 18 km que separa la comunidad de San Nicolás de San Juan de Río.

El porcentaje de calmas (<0.5 m/s), la condición meteorológica que impide la dispersión de contaminantes generados, fue de 24.6 %. En general no hay diferencia en la dirección de vientos entre las tres locaciones de las estaciones meteorológicas.

VII. DISCUSIONES

En el Estado de Querétaro, la industria ladrillera es una actividad artesanal, extensiva, no regulada, importante en la economía de varias comunidades y que representa un problema serio de contaminación ambiental. De acuerdo con los resultados obtenidos las grandes cantidades de contaminantes emitidos por la industria ladrillera se deben a varios factores que incluyen, ineficiencia del proceso artesanal de fabricación, la falta de supervisión acerca del tipo y calidad de combustibles empleados, la sub-valorización del producto y la falta de educación ambiental.

En este estudio se presenta el primer inventario de la industria ladrillera artesanal en el Estado de Querétaro. La industria ladrillera artesanal (497 hornos activos) provee todo el ladrillo rojo que se emplea en la industria de la construcción Estatal, y aunque no existe un inventario nacional de hornos ladrilleros, se estima que representa 5% de los aproximadamente 10,830 hornos que existen en el País (ERG y TransEngineering, 2005). Con la producción artesanal mensual de ladrillo en el estado se pueden construir aproximadamente 1,675 habitaciones de 3x3x2.5m. Aunque la fabricación de ladrillo es una actividad extensiva, también es una actividad localizada; como se pudo observar en el Cuadro 5 la mayoría del tabique en el estado se produce en 4 municipios (Tequisquapan, San Juan del Río, Querétaro y El Marqués). Aún cuando es posible que los fabricantes de ladrillo se dediquen a esa actividad por falta de oportunidades de empleo, es interesante que uno de los municipios (San Juan de Río) con más industria formal, después de Querétaro capital, sea también el segundo productor más importante de ladrillo en el Estado. La fabricación de ladrillo atiende también, seguramente a factores sociales y culturales, además de factores económicos.

Con el cuestionario aplicado en este estudio se pudo constatar que el método artesanal empleado para la elaboración de ladrillo es básicamente el mismo en todo el Estado y las deficiencias son comunes. Además el dispositivo de generación de calor (el quemador) para el horneado del ladrillo, aunque operativo

e ingenioso, es deficiente porque no permite un control adecuado de la relación combustible/comburente y es de funcionamiento discontinuo. Por lo que en los hornos tradicionales no se puede controlar la cantidad de aire en la cámara de combustión. El flujo de aire depende sólo de la diferencia en presión dentro y fuera del horno generada por el jet de vapor de agua que dispersa el combustible. Al mismo tiempo, la cantidad de combustible que se dispensa hacia el corazón del horno es simplemente la necesaria para mantener el horno activo. Además, el principio de operación del dispositivo para alimentación de combustible, a base de vapor de agua, requiere que la cámara de evaporación se llene de agua y que el agua se convierta en vapor. Una vez que el jet de vapor es expulsado (lo que a su vez impulsa el combustible al interior del horno), la cámara de evaporación se vacía sólo para volverse a llenar con agua que debe, nuevamente, convertirse en vapor de agua. Esas condiciones de operación no aseguran una combustión eficiente. Algunos experimentos han mostrado que la modificación del horno con dos entradas laterales de aire (en lugar de sólo una como en los hornos tradicionales) mejora significativamente la eficiencia de combustión (TECQ, 2002).

Como se pudo constatar en este trabajo el carácter informal de la industria ladrillera artesanal implica que es una actividad no supervisada por las autoridades a cargo de la administración del ambiente. En ese sentido no hay control acerca de la calidad de los combustibles empleados ni de la cantidad y composición de las emisiones generadas. En la industria ladrillera Queretana se emplea cualquier material combustible sin consideración, por ignorancia o con dolo, acerca de subproductos generados. Se especula que los hornos ladrilleros en Querétaro se han convertido en una forma fácil y barata, pero inadecuada e ilegal, de deshacerse de residuos industriales o peligrosos. Efectivamente, Gómez y colaboradores (2006) encontraron altas concentraciones de bifenilos policlorados en el suelo de la región de San Nicolás, la principal comunidad ladrillera del Estado. Es probable que el origen de esos compuestos sea la combustión de mezclas de ascareles con algún tipo de combustible. Considerando las fuentes de emisión en el Inventario Nacional de Emisiones de México 1999 (ERG y

TransEngineering, 2005), la industria ladrillera podría contribuir a las emisiones totales del estado con 1.46% de las emisiones de NO_x, 2.04% de las emisiones de COV, 9.35% de las emisiones de CO, 7.30% de las emisiones de PM₁₀ y 9.94% de las emisiones de PM_{2.5}. Esos valores pudieran ser una sub-estimación por la variedad de combustibles empleados. De acuerdo a mediciones realizadas por la Secretaría de Desarrollo Sustentable del Estado de Querétaro en el 2005, los niveles de PST en la comunidad de San Nicolás rebasan el límite máximo permisible.

La contaminación del aire no es el único problema asociado a la fabricación artesanal de ladrillo. Otros problemas incluyen la contaminación del suelo, agotamiento de suelo agrícola y problemas sociales, entre otros. La contaminación de suelo es el resultado de la depositación de contaminantes atmosféricos y de derrames accidentales que ocurren durante el transporte y manejo de combustibles. En la zonas ladrilleras, el suelo alrededor de los hornos esta visiblemente contaminado por combustible, aceites y seguramente con otros contaminantes producidos durante el horneado. Estudios en la comunidad de San Nicolás indican que los contaminantes emitidos por los hornos se encuentran distribuidos en el suelo de toda la comunidad (Gómez y col., 2006).

La fabricación de ladrillo tiene también un impacto importante en el agotamiento de suelos. La tierra, la principal materia prima, se extrae de suelos agrícolas y de bancos de material lo que disminuye el área de cultivo y provoca una modificación estética del entorno. El impacto en los suelos es un aspecto importante que aún no se ha estudiado lo suficiente.

Cuando el combustible es madera, también se provoca un impacto en los bosques. Con la información obtenida durante este inventario se supo que se requieren, aproximadamente, 3 toneladas de madera para el horneado de un lote típico de ladrillo.

Algunos problemas sociales asociados a la industria ladrillera artesanal incluyen la explotación de menores, deserción escolar, conflictos entre vecinos por la generación de humo. Además, debido a que la industria ladrillera actúa como cualquier otra industria manufacturera existen épocas del año en que la demanda

de ladrillo es baja lo que no necesariamente se traduce en un incremento de precio. Esa situación agudiza temporalmente los problemas económicos de las personas que se dedican a esa actividad.

La contaminación nunca permanece en un solo lugar. La contaminación atmosférica se dispersa en función de la dirección y velocidad de los vientos. De acuerdo a la información meteorológica recolectada en la zona de San Nicolás, las poblaciones que reciben la contaminación generada en esa zona son las localizadas al suroeste de la comunidad, es decir Vistha, San Pedro Ahuacatlán y San Juan del Río. Sin embargo, es necesario realizar estudios de modelación para determinar el comportamiento y dispersión de los contaminantes tomando en cuenta las condiciones meteorológicas y orográficas de la zona. Al mismo tiempo es recomendable realizar estudios meteorológicos en otras comunidades ladrilleras para determinar posibles receptores susceptibles.

La contaminación de compartimentos ambientales producida por la industria ladrillera puede tener efectos a todos los niveles del ecosistema. La calidad del aire de las zonas ladrilleras está dominada por las emisiones de hornos ladrilleros. Los efectos de la contaminación dependen de la cantidad y composición química de las emisiones, de los periodos de exposición, de la localización relativa de receptores con respecto a las fuentes de emisión y de la susceptibilidad individual de los organismos. En Querétaro, las comunidades ladrilleras tienen una actividad agrícola importante por lo que la depositación de contaminantes en alimentos animales y humanos es una vía potencial para la entrada de compuestos tóxicos en los organismos. Sería interesante realizar estudios para determinar cuantitativamente la contribución de la cadena alimentaria en la exposición a contaminantes emitidos por ladrilleras.

De acuerdo a nuestros estudios, en la región de San Nicolás hay una población importante de ratones nativos y una muestra de esa población mostró daño genotóxico tres veces mayor que el encontrado en una población no expuesta. Esos resultados sugieren que las emisiones de ladrilleras provocan efectos dañinos a varios niveles del ecosistema. La observación de daño

genotóxico en ratones nativos implica que otras especies, incluyendo el hombre, pueden ser susceptibles a daños del mismo tipo.

La industria ladrillera artesanal representa un problema importante de contaminación ambiental en el Estado de Querétaro con impactos potenciales en el ecosistema. Es, sin embargo, un problema multifactorial y complejo que requiere para su solución de la participación de productores, autoridades, e instituciones educativas.

VIII. CONCLUSIONES

- La industria ladrillera Queretana es una industria artesanal, informal y no regulada.
- La industria ladrillera artesanal es una actividad económica importante en varias comunidades del estado. En Querétaro, la principal comunidad ladrillera es San Nicolás en el municipio de Tequisquiapan, seguido de Vistha en el municipio de San Juan del Río y La Solana en el municipio de Querétaro.
- La mayoría de hornos ladrilleros en el estado (72.2%) se ubican en el corredor de 18 km que une a las ciudades de San Juan del Río y Tequisquiapan.
- En los hornos ladrilleros se utilizan como combustibles combustóleo, aceites usados, madera y cualquier otro material combustible disponible sin consideración de su capacidad contaminante.
- La cantidad y variedad de combustibles empleados en la industria ladrillera artesanal Queretana implica la emisión de grandes cantidades de contaminantes e impacta de forma importante la calidad del aire de varias zonas rurales.
- Las emisiones generadas por la industria ladrillera de San Nicolás, Tequisquiapan se dispersan, de acuerdo a los vientos dominantes, hacia el Suroeste de la comunidad durante los meses de septiembre-febrero.
- Las emisiones generadas por la industria ladrillera de San Nicolás, Tequisquiapan, pudieran ser las responsables del incremento del daño genotóxico observado en ratones nativos capturados de la periferia de la comunidad.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Arriaga, R. 1998. Norma técnica ecológica NTE-IEG-001/98 que establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la instalación y reubicación de hornos ladrilleros en el estado y las condiciones para la operación de los hornos en la elaboración y cocido de piezas elaboradas con arcillas para la construcción.

ATSDR. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. **1995.** Toxicological profile for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH's). Department of Health and Human Services, Public Health Service.

ATSDR. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. **1998.** Toxicological profile for Chlorinated Dibenzo-p-dioxins. Department of Health and Human Services, Public Health Service.

Bedard, DL; Van Dort, H; Deweed, KA. **1998.** Brominated Biphenyls Prime Extensive Microbial Reductive Dehalogenation of Aroclor 1260 in Housatonic River Sediment Applied Environmental Microbiology: Vol.64:1786-1795.

Bernard SM; Samet JM; Grambsch A; Ebi KL; Romieu I. **2001.** The potential impacts of climate variability and change on air pollution-related health effects in the United States. Environmental Health Perspectives: Vol. 109:199-209

Bianco, A; Gulmini, M; Zelano, V; Pramauro, E. **2001.** Microwave-assisted extraction of polycyclic aromatic hydrocarbons from marine sediments using nonionic surfactant solutions. Analytic Chemistry: Vol.73: 3790-3795.

Bopp, RF; Chillrud, SN; Shuster, EL; Simpson, HJ; Estabrooks, FD. **1998.** Trends in chlorinated hydrocarbon levels in Hudson River basin sediments. Environmental Health Perspectives: Vol.106: 1075-1081.

Buser, HR; Rappe, C; Bergqvist, P. **1985.** Analysis of polychlorinated dibenzofurans, dioxins, and related compounds in environmental samples. Environmental Health Perspectives: Vol.60: 293-302.

Caselli, M. 1995. La Contaminación atmosférica. Causas y fuentes. Efectos sobre el clima, la vegetación y los animales. 3era. ed., Siglo Veintiuno Editores: 39, 40, 43, 44, 48-54, 99-103.

Cazares, H. 1999. <http://www.imagenzac.com.mx/1999/11/15/Fresnillo2.htm>

CEPA. California Environmental Protection Agency. **2000.** California Air Toxic Emission Factors. http://www.arb.ca.gov/app/emsinv/catef_form.html

CBPI. Clay Brick and Paver Institute. **2004.** <http://www.cbpi.com.au>

Commoner, B; Barlett, P; Eisl, H; Couchot, K. **2000.** Long-range Air Transport of Dioxin from North American Sources to Ecologically Vulnerable Receptors in Nunavut, Arctic Canada. CEC.

Dickhut, R; Canuel, E; Gustafson, K; Liu, K; Arzayus, K; Walter, S; Edgecombe, G; Gaylon, M; MacDonald, E. **2000.** Automotive Sources of Carcinogenic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Associated with Particulate Matter in the Chesapeake Bay Region. Environmental Science and Technology: Vol.34: 4635-4640.

EA. Environmental Australia. **1998.** Emission Estimation Technique Manual for Bricks, Ceramics, & Clay Product Manufacturing. National Pollutant Inventory.

Edwards, NT. **1983.** Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH's) in the terrestrial environment. Journal of Environmental Quality: Vol.12: 427-441.

EIG. Emission Inventory Guidebook. **1996.** European Environmental Agency.

EMPB. Environmental Management Plan for Bhubaneswar. **2003.** Government of Orissa, India.

ERG. Eastern Research Group. TransEngineering. **2005.** Inventario Nacional de Emisiones de México, 1999: 340-341

Farfel, MR; Orlova, AO; Lees, PS; Rohde, C; Ashley, PJ; Chisolm, JJ Jr. **2003.** A study of urban housing demolitions as sources of lead in ambient dust: demolition practices and exterior dust fall. Environmental Health Perspectives: Vol.111: 1228-1234.

Gobierno del Estado de México. 1999.
<http://www.edomexico.gob.mx/se/proyladrillera.htm>

Gómez H; Barrán AL; Díaz_Barriga F; García VA; Mondragón V; Pedraza G; Verduzco B. **2006.** V Congreso Internacional y XI Nacional de Ciencias Ambientales. Oaxtepec, México. 8,7: 1-8.

- Guillen**, MD; Sopelana, P; Palencia, G. **2004**. Polycyclic aromatic hydrocarbons and olive pomace oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*: Vol.52: 2123-2132.
- Gulson**, BL; Mizon, KJ; Davis, JD; Palmer, JM; Vimpani, G. **2004**. Identification of sources of lead in children in a primary zinc-lead smelter environment. *Environmental Health Perspectives*: Vol.112: 52-60.
- Heuser**, V; Da Silva, J; Moriske, HJ; Dias, J; Yoneama, ML; De Freitas, T. **2002**. Genotoxicity biomonitoring in regions exposed to vehicle emissions using the comet assay and the micronucleus test in native rodent *Ctenomys minutus*. *Environmental and Molecular Mutagenesis*: Vol. 40: 227-235.
- Hodgson**, E; Levi, P. **1997**. A text book of modern toxicology. 2da.ed., Appleton & Lange, Estados Unidos de América: 233.
- Holford**, TR; Zheng, T; Mayne, ST; Zahm, SH; Tessari, JD; Boyle, P. **2000**. Joint effects of nine polychlorinated biphenyl (PCB) congeners on breast cancer risk. *International Journal of Epidemiology*: Vol.6: 975-982.
- INE**. Instituto Nacional de Ecología. **2000**. Segundo Informe Nacional de Emisiones y Transferencia de Contaminantes 1998-1999. INE-SEMARNAP, México D.F.: 35-38.
- INE**. Instituto Nacional de Ecología. **2005**. Guía de elaboración y usos de inventarios de emisiones. 1era. Ed. INE, México D.F.: 80-87.
- Kim**, S; Ponka, P. **2002**. Nitrogen monoxide-mediated control of ferritin synthesis: Implications for macrophage iron homeostasis. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*: Vol.99: 12214-12219.
- Mastral**, A; Callén, M; García, T. **2000**. Fluidized Bed Combustion (FBC) of Fossil and Nonfossil Fuels. A Comparative Study. *Energy & Fuels*: Vol.14: 275-281.
- Morris**, B. **2004**. The Windvane self-steering Handbook. 1era. Ed. McGrawHill, Estados Unidos América: 203
- Nawrot**, T; Staessen, J; Houd, E; Doppen, G; Schoeters, G; Fagard, R; Thies, L; Winneke, G; Roels, H. **2002**. Host and Environmental Determinants of Polychlorinated Aromatic Hydrocarbons in Serum of Adolescents. *Environmental Health Perspectives*: Vol.110: 583-589.

Never, N. 1998. Ingeniería de Control de la Contaminación del Aire. 2da. Ed. McGrawhill, México: 325-332.

Pérez, J; Espinel, J; Ocampo, A; Londoño, C. 2002.

<http://www.minas.unalmed.edu.co/facultad/publicaciones/dyna/134/dioxinasd.pdf>

Petchers, N. 2002. Combined heating, cooling & power handbook: Technologies & applications. 1era. ed. Fairmont Press, Estados Unidos América: 295.

Rideout, K; Teschke, K. 2004. Potential for increased human foodborne exposure to PDDC/F when recycling sewage sludge on agricultural land. Environmental Health Perspectives: Vol.112: 959-969.

Ríos, L; Cantillano, E; Sihezar, G; Franco, R; Pereira, G; Pereira, M; Ramírez, H; Espinosa, O. 1996. Ratón Semiespinoso *Liomys Salvini*. Rothschildia: Vol.3: 4-7.

Root, RA. 2000. Lead loading of urban streets by motor vehicle wheel weights. Environmental Health Perspectives: Vol.108: 937-940.

Safe, SH; Zacharewski, T. 1997. Organochlorine exposure and risk for breast cancer. Progress in Clinical and Biological Research: Vol.396: 133-145.

Salomone, M; Heddle, JA; Stuart, E; Kats, M. 1980. Towards and improved micronucleus test: Studies on tree model agents: mitomycin C, cyclophosphamide and dimethyl benzanthracene. Mutation Research: Vol.74: 347-356.

Seidel, S; Li, V; Winter, G; Rogers, W; Martinez, E; Denison, M. 2000. Ah receptor-based chemical screening bioassays: application and limitations for the detection of Ah receptor agonist. Toxicological Sciences: Vol.55: 107-115.

SEMARNAP. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca; INE Instituto Nacional de Ecología. 2000. Almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en ciudades mexicanas. INE, México D.F: 3.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2001. [http://www.semarnat.gob.mx/programas-](http://www.semarnat.gob.mx/programas-informes/primerinforme/6_subsecretaria_de_gestion.doc)

[informes/primerinforme/6_subsecretaria_de_gestion.doc](http://www.semarnat.gob.mx/programas-informes/primerinforme/6_subsecretaria_de_gestion.doc)

Shorten, C; Hooven, M. 2000. Methods of exposure assessment: lead-contaminated dust in Philadelphia Schools. Environmental Health Perspectives: Vol.108: 663-666.

- Strauss, W; Mainwaning, S. 1990.** Contaminación del aire. Causas, efectos y soluciones. 2da. ed., Trillas, México D.F.: 9-12.
- Takada S, Nakamura, M; Matsueda, T; Kondo, R; Sakai K. 1996.** Degradation of Polychlorinated Dibenzo-p-Dioxins and Polychlorinated Dibenzofurans by the White Rot Fungus *Phanerochaete sordida* YK-624: Applied and Environmental Microbiology: Vol.62: 4323-4328
- TECQ.** Texas Commission On Environmental Quality. **2002.** A Study of Brick-Making Processes along the Texas Portion of the U.S-Mexico Border: Senate Bill 749. Border Affairs Division.
- Terzi, E; Samara, C; 2004.** Gas-particle partitioning of polycyclic aromatic hydrocarbons in urban, adjacent coastal, and continental background sites of western Greece. Environmental Science Technology: Vol.38: 4973-4978.
- Wark, K., Warner, F.C. 1992.** Contaminación del Aire: Origen y Control. 2da. Ed. Limusa, México: 401-407.
- Waterman, D; Horsfield, B; Leistner, F; Hall, K; Smith, S. 2000.** Quantification of polycyclic aromatic hydrocarbons in the NIST standard reference material (SRM1649A) urban dust using thermal desorption GC/MS. Analytic Chemistry: Vol.72: 3563-3567.
- Wu, Q; Sowers, KR; May, HD. 2000.** Establishment of a polychlorinated biphenyl-dechlorinating microbial consortium, specific for doubly flanked chlorines, in a defined, sediment-free medium. Applied Environmental Microbiology: Vol.66: 49-53.
- Yiin, LM; Rhoads, G; Liroy, PJ. 2000.** Seasonal influences on childhood lead exposure. Environmental Health Perspectives: Vol.108: 177-182.

X. ANEXO

ENCUESTA PARA LA ELABORACIÓN DEL INVENTARIO GEO-REFERENCIADO DE LA INDUSTRIA LADRILLERA EN EL ESTADO DE QUERÉTARO

Fecha: _____

1. Datos generales

1.1 Nombre del responsable: _____
 Lugar: _____ Municipio: _____

1.2 El horno es: Propio Rentado

1.3 Ubicación del horno:

Coordenadas geográficas

	E	N	mts
Horno No. 1			
Horno No. 2			
Horno No. 3			

1.4 Número de viviendas colindantes al horno: _____

2. Asociación cooperativa

2.1 ¿Pertenece a alguna asociación o cooperativa? Si No

2.2 Si contesto afirmativamente diga el nombre de esta: _____

2.3 Nombre del representante: _____

2.4 Teléfono: _____

3. Características del horno

3.1 Número de hornos que tiene: 1 2 3 Más de 3

3.2 Dimensiones

	Largo mts	Ancho mts	Altura mts
Horno No. 1			
Horno No. 2			
Horno No. 3			

3.2 Características del sitio donde se ubica el horno:

Parque ladrillero Zona habitacional Otro: _____

3.3 Capacidad

	Capacidad Horno 1	Capacidad Horno 2	Capacidad Horno 3
Horno No. 1			
Horno No. 2			
Horno No. 3			

Observaciones:

4. Método de quemado

4.1 ¿Utiliza quemador? Si No

4.2 Tipo de quemador

Tubo de acero tradicional

Plásticos

Otros: _____

4.3 Tiempo de vida del quemador/costo

_____ quemadas _____ meses

Costo: _____

5. Producción

5.1 Tipo de productos, costo y precio de venta

Producto	Producción total (millares)	Costo de producción/millar	Precio de venta actual/millar
Tabique			
Cuña			
Solera			
Otros			

5.2 Número de horneadas mensuales

	No. Horneadas por mes
Horno No. 1	
Horno No. 2	
Horno No. 3	

5.3 ¿Cuánto tiempo tarda la quema con:

Llantas	
Aceites	
Plásticos	
Torta de filtración	
Combustóleo	
Chapopote	
Madera	
Solventes	
Otros	

5.4 Insumos requeridos y costos:

5.4.1 Combustibles

Tipo	Cantidad			Costo unitario	Forma de almacenamiento
	kg	Lts	Viaje (m ³)		
Torta de filtración					
Combustóleo					
Aceites Usados					
Llantas					
Aserrín					
Estiércol					
Residuos industriales					
Chapopote					
Madera					
Otros					

5.5 Fuentes de abastecimiento de agua

Fuente	Consumo (pipa/mes)	Costo/pipa
Red		
Pozo		
Río		
Reuso		
Pipa		
Lluvia		

5.6 Fuente de abastecimiento de tierra y consumo mensual

Fuente	Ubicación	Consumo m ³ /mes	Costo unitario
Banco de material			
Río			
Terreno agrícola			
Mismo predio			
Otro			

6. Mano de obra

Actividad	Familiares		Empleados	
	No. de personas	Salario/trab/millar	No. de personas	Salario/trab/millar
Elaboración de tabique (moldeado)				
Arrimado				
Horneado				
Carga y descarga				
Otros				

6.1 ¿Qué enfermedades padece frecuentemente?

6.2 ¿Hace cuánto trabaja en ladrilleras?

_____ meses

_____ años

7. Otros aspectos económicos

7.1 Personas que dependen de esta actividad económica

	No. de personas que forman su familia
Propietario	
Trabajador 1	
Trabajador 2	
Trabajador 3	
Trabajador 4	
Trabajador 5	
Trabajador 5	
Trabajador 6	
Trabajador 7	
Trabajador 8	
Trabajador 9	
Trabajador 10	

7.2 Transportación de los ladrillos

Vehículo	Costo/millar
Propio	
Rentado	

Cliente	
---------	--

8. ¿Tiene planes de crecimiento a corto y mediano plazo?

SI

NO

Indique Brevemente cuales y ubicación posible:

9. ¿Qué necesitaría para producir más ladrillos?

_____ Clientes

_____ Mano de obra

_____ Equipo de producción

_____ Proveedores

_____ Comercialización

_____ Otros: _____

10. ¿Qué apoyos le gustaría recibir?

Nombre de quién aplico la encuesta: _____