GOBIERNO DEL
ESTADO DE MÉXICO

GENTE QUE TRABAJA Y LOGRA
enGRANDE

IEECC
INSTITUTO ESTATAL DE
ENERGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO

SECRETARÍA
DEL MEDIO
AMBIENTE
ESTADO DE MÉXICO

Determinación de las emisiones por la quema de combustibles en casas habitación.

Determinación de las emisiones por la quema de combustibles en casas habitación.

GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO

Eruviel Ávila Villegas
Gobernador Constitucional del Estado de México

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE

Miguel Ángel Contreras Nieto
Secretario de Medio Ambiente

Susana Libién Díaz González
Directora General de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica

INSTITUTO ESTATAL DE ENERGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO

Lic. Margarita Díaz Sánchez
Encargada del Despacho de la Dirección General del IEECC

D.R. © Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático
Octubre 2015
Conjunto Sedagro S/N,
Ex Rancho San Lorenzo,
Metepec, Estado de México
C.P. 52140
ieeccgem@gmail.com

Coordinación:
Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático
Margarita Díaz Sánchez
Subdirectora de Adaptación y Crecimiento Verde
Luis Felipe Bautista Gorostieta
Jefe del Departamento de Adaptación al Cambio Climático

Elaboración: Bibiana Valdez Avendaño
Portada: Jesús Humberto Salazar Monroy

Colaboración:
Secretaría del Medio Ambiente
Raquel Agami Quezada
Coordinación Aire Limpio para el Valle de Toluca de la
Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica

Contenido

1. Introducción. ***8***

2. Efectos de los principales productos de los combustibles en la salud. ***11***

3. Contaminantes generados por el uso de combustibles en los hogares ***13***

3.1 Combustión en los hogares 13

3.2 Consumo de combustibles 17

3.3 Niveles de contaminación generada en las comunidades de Metepec 19

4. Conclusiones y recomendaciones ***25***

4.1 Conclusiones 25

4.2 Recomendaciones 26

5. Bibliografía ***28***

Anexos ***31***

Anexo - 1. Tablas de conversiones y factores de emisión 31

Anexo - 2. Emisión de Contaminantes por tipo de combustible y por localidad en el municipio de Metepec 34

Lista de tablas

Tabla 1. Número de viviendas por comunidad en el municipio de Metepec. 15
Tabla 2. Número de viviendas por tipo de combustible utilizado en comunidades del municipio de Metepec. 16
Tabla 3. Consumo por tipo de combustible por comunidad. 18
Tabla 4. Emisiones de contaminantes criterio por tipo de combustible en toneladas anuales. 21
Tabla 5. Emisiones de carbono negro, tóxicos y metales en toneladas anuales por tipo de combustible. 22
Tabla 6. Porcentaje de emisiones de gases efecto invernadero en Gigagramos de CO_2 equivalentes anuales. 23
Tabla 7. Poderes caloríficos de los combustibles. 31
Tabla 8. Tabla de conversiones y densidad del gas LP. 31
Tabla 9. Factores de emisión para contaminantes, criterio, carbono negro, tóxicos y metales. 32
Tabla 10. Factores de emisión para gases de efecto invernadero. 33
Tabla 11. Emisiones de contaminantes criterio. 34
Tabla 12. Emisiones de carbono negro, tóxicos y metales. 35
Tabla 13. Emisiones de carbono negro, tóxicos y metales. 36

Lista de Gráficas

Gráfica 1. Porcentaje de viviendas por comunidad del Municipio de Metepec. 15
Gráfica 2. Porcentaje de viviendas por tipo de combustible utilizado. 16
Gráfica 3. Porcentaje por tipo de combustible utilizado. 18
Gráfica 4. Porcentaje de emisiones de los contaminantes evaluados en las comunidades del municipio de Metepec. 20
Gráfica 5. Porcentaje de emisiones por tipo de combustible y contaminante. 21
Gráfica 6. Porcentaje de emisiones de carbono negro, tóxicos y metales, por tipo de combustible. 22
Gráfica 7. Porcentajes de emisión de gases de efecto invernadero. 23

Lista de acrónimos

AP42	Contaminantes peligrosos del aire (por sus siglas en inglés)
BC	Carbono negro (black carbón por sus siglas en inglés)
CALVT	Coordinación Aire Limpio para el Valle de Toluca
CH_4	Metano
CO	Monóxido de carbono
CO_2	Bióxido de carbono
CONACyT	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
CONUEE	Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía
COV	Compuestos orgánicos volátiles
DGPCCA	Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica
EPA	Agencia de Protección al Ambiente
GEI	Gases de efecto invernadero
GgJ	Giga Joules
GIRA	Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada
GLP	Gas Licuado de Petróleo
IEECC	Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
Kg	Kilogramo
MJ	Mega Joules
NH_3	Amoniaco
NOx	Óxidos de nitrógeno
N_2O	Óxido nitroso
OMS	Organización Mundial de la Salud
PEMEX	Petróleos Mexicanos
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PJ	Peta Joules
PICC	Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático
PM_{10}	Partículas menores a 10 micrómetros
$PM_{2.5}$	Partículas menores a 2.5 micrómetros
SENER	Secretaría de Energía
SMA-GEM	Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México
SOx	Óxidos de azufre
TJ	Tera Joules
ZMVT	Zona Metropolitana del Valle de Toluca

1. Introducción.

Los grupos de bajos ingresos utilizan principalmente la leña y el carbón como fuente de energía porque es barata y fácil de obtener. En los países en desarrollo, entre 75% y 80% de la población depende de la madera y biomasa de desecho como combustible para calefacción y cocina. Además, al menos en los próximos cien años no se prevé una disminución significativa de la dependencia de la población rural mundial respecto de la biomasa como fuente de energía; algunos estudios indican que incluso puede incrementarse. En la mayoría de los casos, la biomasa de desechos agrícolas y forestales se utiliza como combustible, pero en ciertas regiones del mundo la demanda de energía del sector doméstico ha comprometido sobremanera los recursos forestales (Karve 2000).

La contaminación atmosférica en casas habitación, es un asunto que ha cobrado preocupación por parte de las autoridades desde hace tiempo. Esto se debe a las evidencias acerca de altas concentraciones de ciertos contaminantes en estos espacios los cuales han sido relacionados con síntomas de afecciones a la salud humana. Por otra parte, se sabe que los estudios ecológicos usados de series de tiempo que relacionan la exposición a contaminación atmosférica y la salud por lo general no consideran la exposición a la contaminación dentro de la vivienda, subestimando su efecto. Por lo tanto, para caracterizar la exposición a la contaminación atmosférica, fuera y dentro de la vivienda, estimar el efecto y desarrollar políticas ambientales se deben considerar las emisiones de una gran variedad de fuentes, incluyendo las de espacios interiores, como agentes biológicos, cocinas y los sistemas de calefacción, entre otros.

Las estufas de leña, gas y carbón en los hogares son fuentes de productos combustibles. Si bien en la mayoría de los casos estos equipos cuentan con una instalación de salida de humo al exterior, existen todavía estufas sin salida. En estos casos, es importante realizar un mantenimiento periódico de las salidas de humo que, de estar dañadas, pueden devolver agentes contaminantes al interior de la vivienda.

La leña que no arde debidamente convirtiéndose en dióxido de carbono da lugar a productos de combustión incompleta: básicamente monóxido de carbono, pero también benceno, butadieno, formaldehído, hidrocarburos poliaromáticos y muchos otros compuestos peligrosos para la salud. Se piensa que el mejor indicador de peligro para la salud causado por el humo de combustión son las pequeñas partículas, que contienen muchas sustancias químicas.

En el Estado de México se han elaborado dos documentos en los que se incluye las emisiones generadas por la combustión doméstica como son: el Inventario de Emisiones a la Atmósfera de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (del año 2000 y 2004) publicados en el 2005 y 2010 respectivamente.

En el presente trabajo se pretenden mostrar las emisiones generadas por el uso de combustibles en casas habitación en seis comunidades del municipio de Metepec, perteneciente a la Zona Metropolita del Valle de Toluca.

Así mismo se mostrará de manera muy general los efectos a la salud, los combustibles generados y sus emisiones.

En los anexos se describirá la metodología empleada para el cálculo de las emisiones mediante la utilización de factores de emisión de:

- La EPA (Agencia de Protección al Ambiente de Estados Unidos, por sus siglas en inglés), para el caso de los siguientes contaminantes:
    - Material particulado en su fracción (PM_{10}) y ($PM_{2.5}$)
    - Monóxido de carbono (CO)
    - Óxidos de nitrógeno (NO_x)
    - Dióxido de azufre (SO_2)
    - Compuestos orgánicos volátiles (COV)

Además se estimará:

- Carbono negro o black carbón (BC)

Algunos contaminantes tóxicos:

- Benceno
- Tolueno
- Xileno
- Acetileno
- Etileno
- Furano
- Otros hidrocarburos

Y finalmente los metales:

- Cadmio
- Cromo
- Cobre

- Manganeso
- Níquel

Y con metodología implementada por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), se estiman otros contaminantes como son los llamados Gases de Efecto Invernadero (GEI):

- Bióxido de carbono (CO_2)
- Metano (CH_4)
- Óxido nitroso (N_2O)

Esto debido a que no se cuentan con factores propios para la entidad.

Un análisis general de los factores de emisión contenidos en la metodología antes citada, muestra que existen menores niveles de emisión en las tecnologías que utilizan gas como combustible, por sobre las que utilizan combustibles líquidos y biomasa.

Y finalmente se darán las conclusiones y recomendaciones derivadas de los resultados de las emisiones del presente documento.

2. Efectos de los principales productos de los combustibles en la salud.

Los métodos para cocinar que utilizan biomasa son por lo regular rudimentarios. En muchos casos, se trata simplemente de estructuras sencillas de tres piedras (es decir, un fuego abierto). No tienen chimenea ni ventilación para humo y hollín, lo que implica que cualquier persona que esté cerca inhalará directamente cualquier emisión.

Además también interviene la quema de combustibles pétreos no renovables y altamente contaminantes. El consumo promedio diario de gas LP en México es de aproximadamente 1.8 litros de gas, por vivienda, el resultado de una mala combustión afectan directamente la salud de los usuarios y en forma general la calidad atmosférica.

Alrededor de 2.500 millones de personas, casi todas de países en desarrollo, sufren los efectos de altos niveles de contaminación del aire en interiores. Este tipo de contaminación se debe a la quema de madera, estiércol, residuos agrícolas, carbón para cocinar y calentar la casa.

Existe una gran variedad en la emisión de productos de la contaminación cuando la biomasa es quemada, dependiendo principalmente de las características de la combustión y de las prácticas culinarias. El humo de la madera es una compleja mezcla de sustancias volátiles y particuladas constituidas por elementos orgánicos e inorgánicos.

La contaminación del aire en interiores (hollín y humo) derivada del uso deficiente de combustibles en viviendas es un problema de salud pública importante. Los estudios realizados en las dos últimas décadas han demostrado que la baja calidad del aire en interiores es una de las principales causas de muerte, enfermedades respiratorias y salud deficiente en mujeres y niños de zonas rurales en países en desarrollo, así como en grupos de bajos ingresos.

Los principales compuestos de la combustión de la madera son el monóxido de carbono, el dióxido de nitrógeno y el material particulado, todos ellos tóxicos para el aparato respiratorio.

Los principales efectos de la salud de los contaminantes emitidos a la atmósfera son:

- Infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores (pulmonía) en niños pequeños, principal causa de mortalidad infantil en todo el mundo y enfermedad responsable de la pérdida del mayor número de años de vida en el mundo;

- Enfermedad pulmonar obstructiva crónica, como bronquitis crónica y enfisema, en mujeres adultas que durante muchos años han cocinado con combustibles sólidos sin ventilación.

- Enfermedades respiratorias se han encontrado fuertemente asociadas con la exposición al humo de este tipo de combustibles con exposiciones por largos períodos de tiempo: las infecciones agudas del tracto respiratorio inferior en niños menores de 5 años y la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC).

Una sola exposición al humo de leña no va a desencadenar cualquiera de las enfermedades mencionadas, pero sí puede agravarlas, por ejemplo quien sufra de asma, EPOC, infecciones respiratorias como sinusitis, faringitis, laringitis.

Otro elemento a tener en cuenta es que estas maderas si están húmedas o llevan mucho tiempo almacenadas pueden contener esporas de hongos, bacterias y virus y en ocasiones en los humos puede aspirase alguno de estos elementos y originar otras enfermedades o complicaciones. Además si las maderas están pintadas podrían inhalarse componentes de estas pinturas que pueden contener hidrocarburos, alcoholes y otros elementos tóxicos.

3. Contaminantes generados por el uso de combustibles en los hogares

3.1 Combustión en los hogares

Las emisiones atmosféricas que se producen al quemar algún tipo de combustible en las residencias particulares se debe principalmente a la calefacción, el calentamiento de agua o a la cocción de alimentos.

Los combustibles utilizados en las viviendas objeto de este documento son: gas licuado de petróleo (GLP), carbón y leña, y de los cuales se determinará las emisiones generadas para cada uno.

Las emisiones de gas LP dependen del diseño de los quemadores y de la ventilación del flujo de gas; un mal diseño, un bloqueo de la ventilación e insuficiente aire provoca una combustión incompleta produciendo emisiones de CO y COV. Las emisiones de NOx se producen en función de la temperatura, del exceso de aire y de la mezcla combustible/aire. Las emisiones de SOx dependen directamente de la cantidad de azufre en el combustible.

La leña es una fuente energética económica, su empleo está íntimamente ligado a la cultura y tradiciones de la zona y, su uso se encuentra generalizado en casi todos los estratos de la sociedad, tanto en el sector urbano como rural. El mercado en que se desenvuelve la producción comercialización y, consumo de leña es altamente informal, con una producción basada en bajas o casi nulas orientaciones técnicas y ambientales.

Las características más importantes de la leña que determinan la producción de calor son su contenido de humedad y densidad. Por su parte, el contenido de humedad en la leña requiere de mayor energía para ser evaporada, reduciendo la eficiencia de la combustión y el valor energético del combustible, aumentando las emisiones (Rogge et al., 1998).

Los principales tipos de carbón son la turba, lignito, hulla (de donde se obtiene el coque usado en la siderurgia) y antracita, siendo éste último el mejor de los carbones, por ser muy poco contaminante y tener alto poder calorífico.

El tipo de contaminantes que se generan por el uso del carbón son: los óxidos de azufre y nitrógeno (SOx y NOx), y diferentes partículas de elementos pesados, como el mercurio.

Además de los contaminantes ya mencionados producto de la quema de combustibles, también se forman otros como el carbono negro (hollín) que se encuentra formando como parte de las $PM_{2.5}$; los contaminantes tóxicos se les denomina contaminantes peligrosos del aire algunos de ellos son: el benceno, tolueno, xileno y etilbenceno, también existen algunos otros compuestos gaseosos peligrosos o tóxicos que no son compuestos orgánicos volátiles, como son el amoniaco y el cloro y los metales pesados que son sustancias de la naturaleza de peso molecular alto como pueden ser: el cadmio, el cromo, el cobre, el manganeso y el níquel.

Viviendas

Las localidades de San Miguel Totocuitlapilco, San Bartolomé, San Gaspar Tlahulilpan, Magdalena Ocototlán San Lucas Tunco y San Sebastián, se encuentran localizadas en la periferia del municipio, la vivienda que predomina es rural, caracterizadas principalmente por muros de adobe, techos de teja y pisos de tierra o cemento. Con predios con una superficie promedio de 80 m^2 a 120 m^2. Sin embargo, en la actualidad se están presentando viviendas de tipo residencial.

En lo que se refiere a dotación de servicios públicos el 91% de las viviendas cuenta con servicios de drenaje y el 93% con energía eléctrica; sin embargo existen tomas clandestinas de electricidad y la falta de drenaje ha propiciado que las aguas residuales sean vertidas en canales a cielo abierto, principalmente en esas localidades en mención.

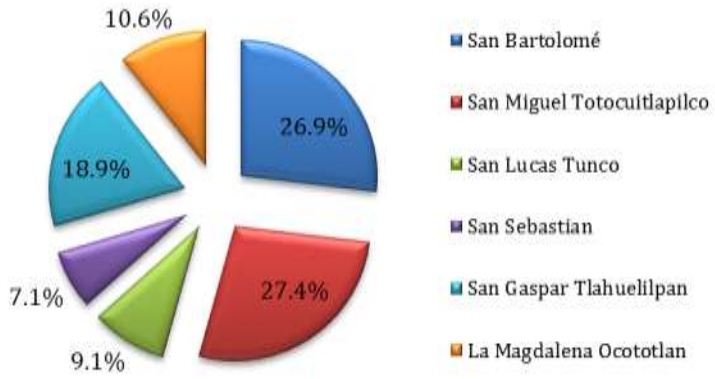
En la tabla 1, se muestra el número total de casas censadas durante el periodo del levantamiento de datos fue de 9,475, además se observa que hubo un incremento de las viviendas del 0.9% con respecto al último censo de población y vivienda 2010 elaborado por INEGI, además se puede apreciar que en las comunidades de San Miguel Totocuitlapilco y San Sebastián las casas aumentaron en un 26.4% y 31.4% respectivamente, mientras que en el resto de las comunidades el censo fue menor.

Tabla 1. Número de viviendas por comunidad en el municipio de Metepec.

Comunidad	Censo de casas (INEGI 2010)[1]	Total de casas Censadas[2]
San Bartolomé	2,724	2,534
San Miguel Totocuitlapilco	1,904	2,586
San Lucas Tunco	870	854
San Sebastián	457	666
San Gaspar Tlahuelilpan	1,848	1,785
La Magdalena Ocototlán	1,534	1,000
TOTAL	**9,337**	**9,475**

El porcentaje de viviendas establecidas en el municipio de Metepec por comunidad con respecto al total fue: 27.4% se ubica en San Miguel Totocuitlapilco, el 26.9% en San Bartolomé, el 18.9% en San Gaspar Tlahulilpan, el 10.6% en la Magdalena Ocototlán y finalmente el 9.1% y 7.1% se ubican en las comunidades de San Lucas Tunco y San Sebastián. Gráfica 1.

Gráfica 1. Porcentaje de viviendas por comunidad del Municipio de Metepec.



Con respecto al tipo de combustible utilizado por vivienda se tiene que el 51.3% utiliza gas LP, el 29.2% leña y el 19.5% carbón. Además cabe mencionar que en algunas viviendas se utilizan hasta dos tipos de combustibles, ver Gráfica 2.

[1] Fuente: INEGI. Censo de población y vivienda 2010.
[2] Fuente: Coordinación Aire Limpio para el Valle de Toluca de la SMA-GEM, periodo agosto 2013 a diciembre 2014.

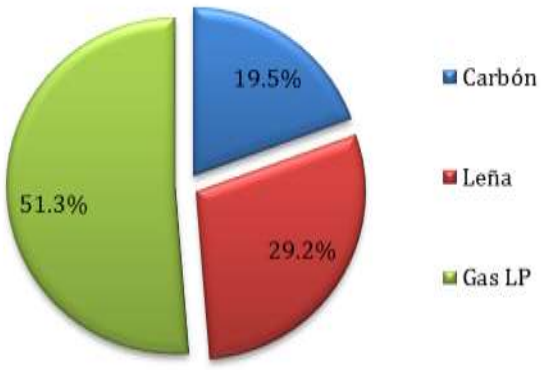
En las comunidades de San Bartolomé y San Miguel Totocuitlapilco se encuentra el porcentaje más alto de viviendas que consumen gas LP 37.5% y 27.6%, mientras que las viviendas que más consumen carbón y leña se ubican en las comunidades de San Miguel Totocuitlapilco y San Gaspar Tlahuelilpan con 27.3% y 24.9%.

Tabla 2. Número de viviendas por tipo de combustible utilizado en comunidades del municipio de Metepec.

Comunidad	No. de casas que usan:		
	Carbón	Leña	Gas LP
San Bartolomé	288	433	1,813
San Miguel Totocuitlapilco	502	752	1,332
San Lucas Tunco	186	278	390
San Sebastian	156	234	276
San Gaspar Tlahuelilpan	458	687	640
La Magdalena Ocototlan	247	370	383
TOTAL	**1,837**	**2,754**	**4,834**

Fuente: Elaboración propia, con datos de la CALVT.

Gráfica 2. Porcentaje de viviendas por tipo de combustible utilizado.



3.2 Consumo de combustibles

Nacional

En el Balance Nacional de Energía 2013 (SENER 2013) a nivel nacional el consumo total de energía fue de 4,941.4 PJ correspondiente al 96.3% del consumo final total.

Los sectores en que se desagrega éste consumo son el transporte, siendo el sector más intensivo en uso de energía, representando el 46%, el industrial, que consumió 33%; el residencial, con 15%; el agropecuario, con 3%; el comercial, con 2.7%; y, el público, con 0.7%.

El consumo de energía en el sector residencial durante 2013 disminuyó 2.0% respecto a 2012, totalizando 742.74 PJ. Esto se debió principalmente a la disminución en el consumo de gas licuado de petróleo en los hogares, que pasó de 274.38 PJ en 2012 a 256.96 PJ en 2013. Asimismo, durante este año se observó una disminución de 5% y 0.5% en el consumo de gas LP y leña en hogares debido al incremento en el uso de gas seco, electricidad y uso directo de la energía solar en zonas urbanas del país (SENER, 2013).

En este sector el principal combustible utilizado es el gas L.P. con una participación del 52.2%, seguido de Leña con 40.9% y finalmente gas natural con 6.8%. El consumo de carbón en el 2013 fue de 316.27 PJ.

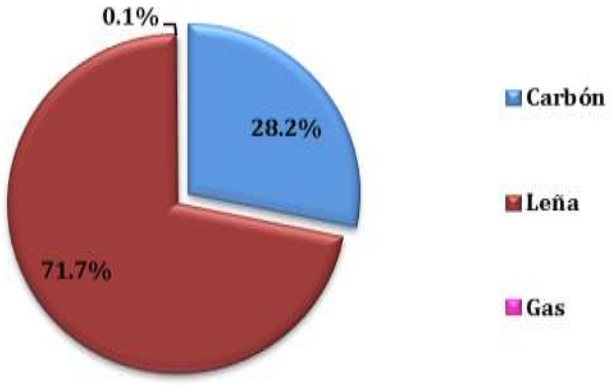
Estatal

En el Estado de México para el 2013 se consumieron 226 PJ de gas LP, gas natural y leña, de los cuales el 23% (52.9 PJ) corresponde al sector residencial, en donde el consumo para este sector queda como sigue: 60% es gas lp, 32% leña y 8% gas natural.

Localidades de Metepec

La cantidad diaria de combustibles utilizados en las comunidades de Metepec fue de 599.4 TJ lo que corresponde a 71.7% (429.8 TJ) de leña, 28.2% (168.8 TJ) de carbón y 0.1% (0.8 TJ) de gas LP. Gráfica 3.

Gráfica 3. Porcentaje por tipo de combustible utilizado.



En la siguiente tabla 3 se muestran los consumos de combustible por tipo de comunidad en kg/día y en TJ/día. En esa tabla se puede observar que las comunidades que más consumo de combustibles tienen (en Tera Joules) son: San Bartolomé con el 59.8% de carbón, 51.9% de leña y 37.5% de gas LP, seguido de San Miguel Totocuitlapilco con 27.6% de gas LP, 11.9% de carbón y 11.8% de leña y San Gaspar Tlahuelilpan con 13.3% de leña, 13.2% de gas LP y 12.6% de carbón.

Tabla 3. Consumo por tipo de combustible por comunidad.

Comunidad	Kg/dia[3]			TJ/día[4]		
	Carbón	Leña	Gas LP	Carbón	Leña	Gas LP
San Bartolomé	1,961.50	3,229.00	6,344.26	100.94	222.90	0.30
San Miguel Totocuitlapilco	389.25	731.50	4,662.00	20.03	50.50	0.22
San Lucas Tunco	293.00	631.00	1,365.50	15.08	43.56	0.07
San Sebastián	100.50	260.00	965.50	5.17	17.95	0.05
San Gaspar Tlahuelilpan	413.00	828.50	2,241.74	21.25	57.19	0.11
La Magdalena Ocotitlán	123.00	545.50	1,341.00	6.33	37.66	0.06
TOTAL	**3,280.25**	**6,225.50**	**16,920.00**	**168.81**	**429.76**	**0.81**

En el Anexo 1 se muestran los datos utilizados para la conversión de unidades de los combustibles; así como los factores de emisión empleados por tipo de combustible quemado para determinar las emisiones generadas e|n las viviendas de las comunidades de Metepec.

[3] Fuente: Coordinación Aire Limpio para el Valle de Toluca, Secretaría del Medio Ambiente.
[4] Fuente: Elaboración propia, con datos de la CALVT, SENER y PEMEX.

3.3 Niveles de contaminación generada en las comunidades de Metepec

El objetivo de este documento fue el de determinar de manera confiable las emisiones de los contaminantes del aire por el uso de combustibles en las casas habitación del municipio de Metepec ubicado en el Estado de México, siendo parte de un esfuerzo integral entre la Coordinación del Aire Limpio para el Valle de Toluca (CALVT) perteneciente a la Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica y el Departamento de Adaptación al Cambio Climático del Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático, además de identificar los problemas de la contaminación del aire e implementar medidas para mejorarla.

Dar cumplimiento a la acción 27.2 Realizar el inventario de establecimientos que queman leña y carbón; incluida en la medida 27. Fomentar la reducción de emisiones por el uso de leña y carbón, promoviendo el uso de equipos más eficientes para la cocción de alimentos en casas y establecimientos, de la Estrategia VI. Educación ambiental del Programa para Mejorar la Calidad del Aire Valle de Toluca (2012-2017).

La cantidad de leña utilizada por la familia está en función del número de comidas durante el día y miembros del hogar. Este recurso, se colecta fundamentalmente como material seco desprendido o seco en pie, debido a su menor peso, facilidad de acarreo y rápida ignición. Los usos fundamentales son la cocción de alimentos y calentamiento de agua de baño.

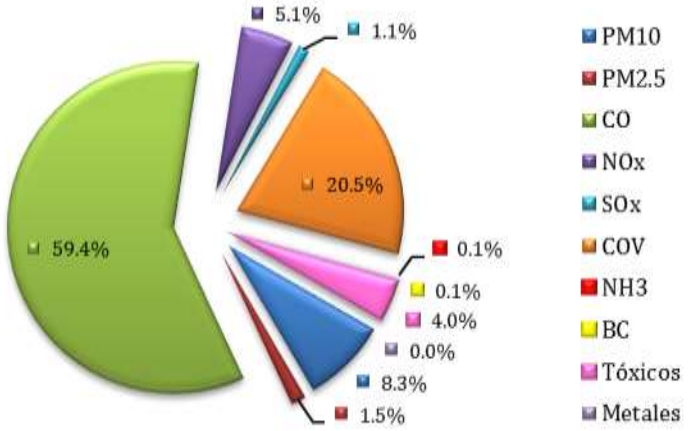
Para contar con un censo real por el uso de estos combustibles el personal de la Coordinación del Aire Limpio para el Valle de Toluca perteneciente a la Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica realizó visitas a casas habitación de las comunidades de San Bartolomé, San Miguel Totocuitlapilco, San Lucas Tunco, San Sebastián, San Gaspar Tlahuelilpan y La Magdalena Ocotitlán pertenecientes al Municipio de Metepec; con la finalidad de aplicar una encuesta para recopilar los datos necesarios para el cálculo de las emisiones.

El periodo de evaluación fue de agosto del 2013 a diciembre del 2014 (un año cuatro meses).

Las emisiones en toneladas anuales en las seis comunidades del municipio de Metepec, objeto de este documento fueron: para los llamados contaminantes criterio 38.9 de PM_{10}, 6.8 de $PM_{2.5}$, 278.4 de CO, 23.9 de NOx, 5.1 de SOx, 96.3 de COV y 0.3 de NH_3; 0.6 para el caso del carbono negro (BC); 18.5 para los tóxicos y 0.0002 para los metales. Además se tienen 24,777.9 gigagramos de CO_{2eq} (este contaminante no está representado en la gráfica, ya que el porcentaje de

emisiones superaría por mucho al resto de los contaminantes con respecto del total, además de que sus unidades son diferentes). Ver gráfica 4.

Gráfica 4. Porcentaje de emisiones de los contaminantes evaluados en las comunidades del municipio de Metepec.



Emisiones de contaminantes criterio

Las cocinas que utilizan leña en estas comunidades son sin chimeneas o campanas que conduzcan el humo para expulsarlo al exterior. Aunque no se han hecho encuestas a gran escala estadísticamente representativas, cientos de pequeños estudios en todo el mundo en situaciones locales típicas han revelado que tales cocinas producen importantes concentraciones de pequeñas partículas en el interior de la casa, que pueden alcanzar a largo plazo niveles de 10 a 100 veces superiores a los recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en sus directrices recientemente revisadas sobre calidad del aire para proteger la salud (OMS, 2005)

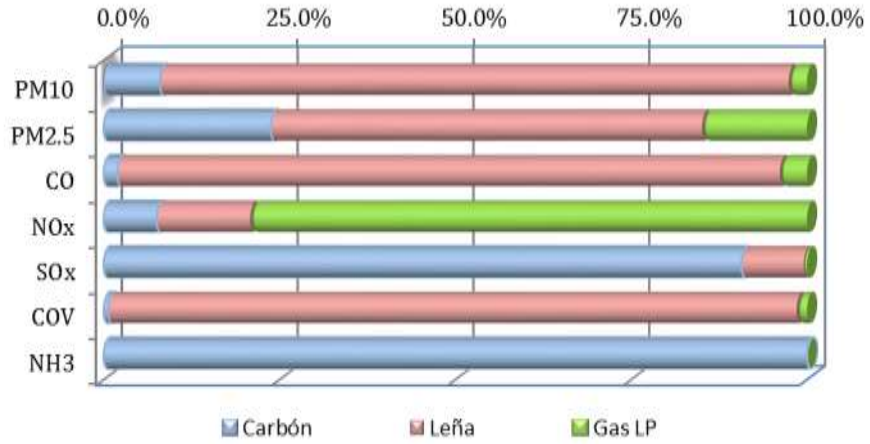
La tabla 4, muestra las emisiones de los principales contaminantes derivados de la leña, el carbón y el gas LP, y se observa que más del 90% de las emisiones de estos contaminantes son producidos por la leña en comparación con el combustible limpio más fácilmente disponible, el gas licuado de petróleo (GPL), incluso el mismo carbón resulta ser menos agresivo con las emisiones resultantes.

Tabla 4. Emisiones de contaminantes criterio por tipo de combustible en toneladas anuales.

Combustible	PM_{10}	$PM_{2.5}$	CO	SOx	NOx	COV	NH_3
Carbón	3.113	1.616	5.388	1.796	4.669	0.599	0.338
Leña	34.766	4.172	262.224	3.181	0.454	94.301	---
Gas LP	1.016	1.016	10.787	18.939	0.024	1.427	---
Total	**38.895**	**6.804**	**278.399**	**23.916**	**5.148**	**96.327**	**0.338**

Fuente: Elaboración propia, utilizando metodología EPA.

Gráfica 5. Porcentaje de emisiones por tipo de combustible y contaminante.



Emisiones de carbono negro, tóxicos y metales

Según las estimaciones de Jacobson (2007), de la Universidad de Stanford, el carbono negro es responsable de un 16% del calentamiento global. El carbono negro actúa de forma más local que el CO2 porque permanece en el aire durante un periodo de tiempo más corto.

El formaldehído (el tóxico más abundante en el aire de los espacios interiores y cuya exposición prolongada a baja concentración puede producir cáncer), el benceno, el xileno, el tricloroetileno, entre muchos otros compuestos orgánicos volátiles tóxicos, son producidos por la quema de combustibles en diferentes cantidades dependiendo del material a quemar que se esté utilizando.

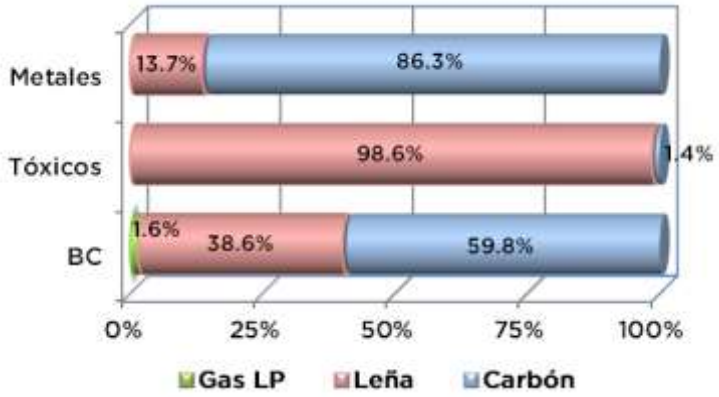
Como se observa en la tabla 5 el uso de leña genera el mayor porcentaje (98.6%) de sustancias tóxicas, así como el uso de carbón genera en mayor porcentaje el carbono negro (59.8%) y de la misma forma que con los contaminantes criterio, el combustible más limpio viene siendo el gas LP.

Tabla 5. Emisiones de carbono negro, tóxicos y metales en toneladas anuales por tipo de combustible.

Combustible	BC	Tóxicos	Metales
Carbón	0.388	0.2581	0.00017
Leña	0.250	18.281	0.00003
Gas LP	0.010	---	---
Total	**0.648**	**18.539**	**0.0002**

Fuente: Elaboración propia, utilizando metodología EPA.

Gráfica 6. Porcentaje de emisiones de carbono negro, tóxicos y metales, por tipo de combustible.



Emisiones de gases de efecto invernadero

La energía juega un papel importante en muchos aspectos de nuestras vidas. Por ejemplo, usamos la electricidad para la iluminación y la refrigeración. Utilizamos combustible para la calefacción y la cocina. Nuestra producción y uso de energía está interconectado con muchos otros aspectos de la vida moderna, como el consumo de agua, el uso de bienes y servicios, de transporte, de crecimiento económico, el uso del suelo y crecimiento de la población. la producción y uso de energía (la mayoría de los cuales proviene de combustibles fósiles) también contribuye al cambio climático.

Los cambios en la demanda de energía es probable que afecte las emisiones de gases de efecto invernadero, pero el efecto neto depende de que se utilicen las fuentes de energía para la electricidad y la calefacción y la cocción de alimentos.

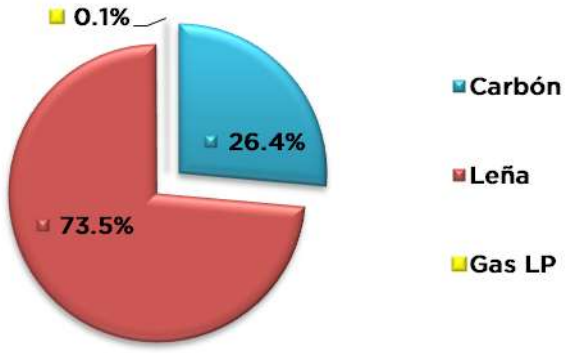
Como se puede observar en la siguiente tabla la leña genera el 73.5% con respecto a las emisiones totales de gases efecto invernadero, el carbón el 26.4% y el gas LP únicamente el 0.1%.

Tabla 6. Porcentaje de emisiones de gases efecto invernadero en Gigagramos de CO_2 equivalentes anuales.

Combustible	CO_2	CH_4	N_2O	Total
Carbón	6054.643	462.108	25.706	**6,542.456**
Leña	16853.392	1176.467	186.980	**18,216.839**
Gas LP	18.522	0.074	0.053	**18.649**
Total	**22,926.557**	**1,638.650**	**212.738**	**24,777.945**

Fuente: Elaboración propia utilizando metodología IPCC.

Gráfica 7. Porcentajes de emisión de gases de efecto invernadero.



Como se observó las emisiones de contaminantes nocivos para la salud por cada actividad, combinadas con el uso diario en la proximidad inmediata de las grandes poblaciones, significan que la quema de leña en los hogares expone considerablemente a la población a contaminantes importantes. Esta exposición es probablemente mayor que la causada por el uso mundial de combustibles fósiles (Smith, 1993), y alcanza su mayor intensidad entre las mujeres y los niños pobres de los países en desarrollo, tanto en zonas rurales como urbanas, ya que estos sectores de la población son los que más suelen estar presentes mientras se cocinan los alimentos.

En el Anexo 2 se muestran los datos de las emisiones generadas por tipo de comunidad e emisión empleados por tipo de combustible quemado para determinar las emisiones generadas en las viviendas de las comunidades de Metepec para los diferentes tipos de contaminantes evaluados.

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

- De acuerdo a las encuestas realizadas en el periodo de agosto de 2013 a diciembre de 2014 por la Coordinación de Aire Limpio para el Valle de Toluca, en las localidades de San Miguel Totocuitlapilco, San Bartolomé, San Gaspar Tlahulilpan, Magdalena Ocototlán San Lucas Tunco y San Sebastián ubicadas en el municipio de Metepec, se encuestaron 9,475 casas habitación de las cuales el 51.3% utiliza gas LP, 29.2% leña y 19.5% carbón.

- La quema de combustibles en términos de energía (Tera Joules) fue de 71.7% de leña, 28.2% de carbón y 0.1% de gas LP.

De las emisiones generadas:

- Las emisiones totales de contaminantes criterio generadas fueron de 61.9% de CO, 21.4% de COV, 8.6% de PM_{10}, 5.3% de NOx, 1.5% de $PM_{2.5}$, 1.1% de SOx y 0.1% de NOx, siendo las localidades de San Bartolomé, San Gaspar Tlahulilpan y San Miguel Totocutlapilco las de mayor aporte de emisiones que de éstos contaminantes se generan.

- Las emisiones derivadas de los contaminantes criterio se tiene que: se emitieron 96.6% de tóxicos, 3.4% de carbono negro y un valor no significativo (0.0001%) de metales. Los tóxicos más representativos fueron: etileno, benceno, tolueno y xileno y de los metales están el cobalto, cadmio, cobre, cromo y níquel.

- Y finalmente se emitieron 24,777.9 gigagramos de CO_2 equivalentes donde: el 92.5% corresponde al CO_2, el 6.6% al CH_4 y el 0.9% al N_2O. Con respecto al combustible el 73.5% lo emiten los que queman leña, el 26.4% los que utilizan carbón y 0.1% los de gas LP.

De los combustibles:

- Es importante mencionar que para alcanzar una reducción de contaminantes para esta actividad, sería conveniente considerar utilizar combustibles más limpios que sustituyan a la leña y al carbón, como se observó en este documento el combustible más limpio y que genera en menor aporte las emisiones sería el gas lp.

- En el aspecto tecnológico, las estufas han experimentado un desarrollo veloz, lo que permite que en la actualidad exista una gran variedad de estufas eficientes, limpias y seguras a base de leña y otros biocombustibles, por lo que se deben establecer programas dirigidos a Innovación Tecnológica enfocados a cubrir las necesidades de las familias rurales que aún no han sido resueltas con la introducción de estufas de leña (para la calefacción, cocción y calentamiento de agua, entre otros).

De las tecnologías para la quema de combustibles en las casas habitación:

- Para evitar que los contaminantes sean concentrados dentro de una casa habitación, es conveniente conducirlos de manera adecuada hacia el exterior para evitar que los contaminantes generados sobre todo en los casos que se quema leña y carbón queden en el interior de la vivienda.
- Se deben considerar los programas de modernización del consumo de leña en hogares en las zonas más pobres de los países en desarrollo deben ser, por consiguiente, parte de los planes de desarrollo estatales y municipales.
- Aunque el gas LP ha resultado ser uno de los combustibles más limpios, no hay que descartar las emisiones que se tienen por fugas en las instalaciones, ya que éstas pueden generar muchas más emisiones que las generadas por la quema del propio combustible.

4.2 Recomendaciones

- En el caso de que se queme leña, asegúrese de que esté bien seca. Así la leña arde mejor, emite más calor y se reduce la cantidad de humo y de contaminantes que libera.
- Contar con buena ventilación al quemar leña o carbón para evitar que el humo permanezca dentro de la vivienda.
- Procurar no quemar madera tratada, es decir la que proviene de muebles, puertas, ventanas etc., debido a que algunos contienen sustancias como: pinturas, pegamentos o plásticos, entre otros, que al quemarse liberan una gran cantidad de sustancias tóxicas.
- En caso de utilizar gas LP revise periódicamente sus instalaciones para evitar fugas que provocan mayor cantidad de contaminantes a las generadas por la quema del propio combustible.

5. Bibliografía

1. Centro Mario Molina Chile, 2009. Estudio: Análisis de las concentraciones de MP10 y MP2.5 asociadas a las emisiones de quema de leña residencial en la Región Metropolitana de Santiago,

2. CONACYT, 2014. Foro Nacional de Estufas en México, Morelia Michoacán. http://www.patsari.org/

3. CONUEE, 2009. Metodologías para la Cuantificación de Emisiones de Gases Efecto Invernadero y de Consumos Energéticos evitados por el aprovechamiento Sustentable de la Energía.

4. GIRA (Grupo Interdisciplinario de Tecnología RuralApropiada, A.C., 2003. El uso de biomasa como fuente de energía en los hogares efectos en el ambiente y la salud, y posibles soluciones, Morelia, Michoacán.

5. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Siglas en inglés: IPCC). Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Versión en Español. Programa del IPCC sobre inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. 2000.

http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/spanish/gpgaum_es.h

6. INECC y Ecología de León Guanajuato, 2011. Determinación de emisiones de gases efecto invernadero en base a factores de emisión y monitoreos de eficiencia energética en la comunidad ladrillera El Refugio, León Guanajuato. Programa de eficiencia energética en ladrilleras artesanales de América Latina para mitigar el cambio climático – EELA.

7. INEGI, 2014. Anuario Estadístico y geográfico de México, 2014. Temporalidad 2013.

8. IPCC, 1996. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Reference Manual (Volume 3).

9. Kirk R. Smith, 2006. El uso doméstico de leña en los países en desarrollo y sus repercusiones en la salud, Universidad de California, Estados Unidos,

10. OMS, 2015. Contaminación del aire en interiores y salud. Consulta vía internet.

http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs292/es/

11. PNUMA, 2005. Emisiones de Dioxinas y Furanos por quema de Biomasa.

12. SENER, 2014. Balance Nacional de Energía, 2013, México.

13. SMAGEM, 2005. Inventario de emisiones a la Atmósfera de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, Toluca, Estado de México.

14. U.S.EPA, 1993. Emission Factor, Documentation for AP-42, Section 2.1, Refuse Combustion.

15. U.S.EPA, 1996. Emisision Factor, External Combustion Sources for AP-42, Section 1.6, Wood Residue Combustion in Boilers.

16. U.S.EPA, 1996. Emisision Factor, External Combustion Sources for AP-42, Section 1.9, Residential Fireplaces.

.

Anexos

Anexo - 1. Tablas de conversiones y factores de emisión

El combustible reportado por los habitantes de las casas censadas fue en unidades de kilogramos, sin embargo para poder realizar el cálculo de las emisiones correspondientes fue necesario convertir las unidades proporcionadas.

Tabla 7. Poderes caloríficos de los combustibles.

Combustible	Poder calorífico[5]	Unidad
Carbón	19,432	MJ/ton
Leña	14,486	MJ/ton
Gas LP	4,124	MJ/bl

Tabla 8. Tabla de conversiones y densidad del gas LP.

Unidad de medida [3]	Cantidad	Unidad
1 m^3 =	6.2898	barriles
1 J =	10^{12}	TJ
Densidad del gas LP[6] =	540	Kg/m^3

Factores de emisión

Para el caso de los factores de emisión, estos se seleccionaron de acuerdo al dato de actividad que en nuestro caso resultó ser el consumo de combustible utilizado en las casas habitación como son: carbón, leña y gas LP.

Para el caso de los contaminantes criterio: PM_{10}, $PM_{2.5}$, CO, SOx, NOx, COV y NH_3 se obtuvieron del AP-42 (Compilación de los factores de emisión de contaminantes del aire), el carbono negro (BC por sus siglas en inglés de black carbón), los tóxicos y los metales fueron obtenidos de la Agencia de Protección al Ambiente (EPA por sus siglas en inglés).

[5] Fuente: SENER, 2014. Balance Nacional de Energía 2013.
[6] Fuente: PEMEX, Gas y Petroquímica Básica, 2007. Hojas de seguridad de sustancias químicas, Gas Licuado de Petróleo.

Y para los gases de efecto invernadero (GEI): CO_2, CH_4 y N_2O se utilizó información del IPCC (Panel Intergubernamental de expertos sobre Cambio Climático).

Tabla 9. Factores de emisión para contaminantes, criterio, carbono negro, tóxicos y metales.

Contaminante	Carbón kg/ton	Leña kg/ton	Gas LP (kg/m³)	
			Butano	Propano
CRITERIO[7]				
PM_{10}	2.6	15.3	0.096	0.084
$PM_{2.5}$	1.35	1.84	0.096	0.084
CO	4.5	115.4	1.008	0.9
NOx	1.5	1.4	1.8	1.56
SOx	3.9	0.2	0.001944	0.00216
COV	0.5	41.5	0.132	0.12
NH_3	0.2825	---	---	---
BC (relación $BC/PM_{2.5}$)	0.24	0.06	0.01	
TÓXICOS [7]				
Benceno	0.969	---	---	
Tolueno	0.365	---	---	
o-Xileno	0.101	---	---	
Acetileno	0.562	2.85E-07	---	
Etileno	2.245	---	---	
Furanos	0.171	---	---	
Otros	---	---	---	
METALES [7]				
Cadmio	1.10E-05	---	---	
Cromo	5.00E-07	---	---	
Cobre	---	0.000142	---	
Manganeso	8.50E-05	---	---	
Níquel	7.00E-06	---	---	

[7] Fuente: **EPA. AP-42,** 5a edición, Recopilación de Factores de Emisión de Contaminantes del Aire, Volumen I, Capítulo 1: Fuentes de combustión externa, enero 1995. **1.5 Combustión de Gas Licuado de Petróleo. Tabla 1-5-1** Factores de emisión por la combustión de GLP. **1.10 Residencial estufas que utilizan madera.** Factores de emisión por la combustión de madera residencial **tabla 1-10-1** por la combustión de madera residencial, **tabla 1-10-2 y 1-10-3** compuestos orgánicos y **tabla 1-10-4** para metales. **WebFire (Factor Information Retrieval),** Software que contiene los factores de emisión de contaminantes del aire criterio y peligrosos. **BC (black carbon), EPA, Marzo 2012.** Report Congress on Black Carbon 2010. Estima emisiones de BC a partir de la razón de $BC/PM_{2.5}$.

Tabla 10. Factores de emisión para gases de efecto invernadero.[8]

Contaminante	Carbón Gg/TJ	Leña kg/TJ	Gas LP (kg/TJ)
CO_2	0.098	0.107	0.062
CH_4	300	300	10
N_2O	1.4	4.0	0.6

[8] Fuente**: IPCC.** Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Reference Manual, Volume 3, Chapter 1, Energy. **Tabla 1-1** Cálculo del factor de emisión por pasos para el CO2, **tabla 1-7** Factores de emisión de CH4 por default (sin control) y **tabla 1-8** Factores de emisión de N2O por default (sin control) en kg/TJ.

Anexo - 2. Emisión de Contaminantes por tipo de combustible y por localidad en el municipio de Metepec

Tabla 11. Emisiones de contaminantes criterio.

Comunidad	Emisiones en toneladas anuales						
	PM10	PM2.5	CO	NOx	SOx	COV	NH_3
San Bartolome	1.861	0.967	3.222	1.074	2.792	0.358	0.202
San Miguel Totocuitlapilco	0.369	0.192	0.639	0.213	0.554	0.071	0.040
San Lucas Tunco	0.278	0.144	0.481	0.160	0.417	0.053	0.030
San Sebastian	0.095	0.050	0.165	0.055	0.143	0.018	0.010
San Gaspar Tlahuelilpan	0.392	0.204	0.678	0.226	0.588	0.075	0.043
La Magdalena Ocototlan	0.117	0.061	0.202	0.067	0.175	0.022	0.013
Carbón	**3.113**	**1.616**	**5.388**	**1.796**	**4.669**	**0.599**	**0.338**
San Bartolome	18.032	2.164	136.009	1.650	0.236	48.911	-
San Miguel Totocuitlapilco	4.085	0.490	30.812	0.374	0.053	11.080	-
San Lucas Tunco	3.524	0.423	26.578	0.322	0.046	9.558	-
San Sebastian	1.452	0.174	10.951	0.133	0.019	3.938	-
San Gaspar Tlahuelilpan	4.627	0.555	34.897	0.423	0.060	12.550	-
La Magdalena Ocototlan	3.046	0.366	22.977	0.279	0.040	8.263	-
Leña	**34.766**	**4.172**	**262.224**	**3.181**	**0.454**	**94.301**	**-**
San Bartolome	0.381	0.381	4.045	7.101	0.009	0.535	-
San Miguel Totocuitlapilco	0.280	0.280	2.972	5.218	0.007	0.393	-
San Lucas Tunco	0.082	0.082	0.871	1.528	0.002	0.115	-
San Sebastian	0.058	0.058	0.616	1.081	0.001	0.081	-
San Gaspar Tlahuelilpan	0.135	0.135	1.429	2.509	0.003	0.189	-
La Magdalena Ocototlan	0.080	0.080	0.855	1.501	0.002	0.113	-
Gas LP	**1.016**	**1.016**	**10.787**	**18.939**	**0.024**	**1.427**	**-**
TOTAL	**38.895**	**6.804**	**278.399**	**23.916**	**5.148**	**96.327**	**0.338**

Fuente: Elaboración propia, utilizando metodología EPA.

Tabla 12. Emisiones de carbono negro, tóxicos y metales.

Comunidad	Emisiones en toneladas anuales		
	BC	TÓXICOS	METALES
San Bartolome	0.232	0.154	NS
San Miguel Totocuitlapilco	0.046	0.031	NS
San Lucas Tunco	0.035	0.023	NS
San Sebastian	0.012	0.008	NS
San Gaspar Tlahuelilpan	0.049	0.032	NS
La Magdalena Ocototlan	0.015	0.010	NS
Carbón	**0.388**	**0.258**	**NS**
San Bartolome	0.130	9.482	NS
San Miguel Totocuitlapilco	0.029	2.148	NS
San Lucas Tunco	0.025	1.853	NS
San Sebastian	0.010	0.763	NS
San Gaspar Tlahuelilpan	0.033	2.433	NS
La Magdalena Ocototlan	0.022	1.602	NS
Leña	**0.250**	**18.281**	**NS**
San Bartolome	0.004	-	-
San Miguel Totocuitlapilco	0.003	-	-
San Lucas Tunco	0.001	-	-
San Sebastian	0.001	-	-
San Gaspar Tlahuelilpan	0.001	-	-
La Magdalena Ocototlan	0.001	-	-
Gas LP	**0.010**	**-**	**-**
TOTAL	**0.648**	**18.539**	**0.0002**

Fuente: Elaboración propia, utilizando metodología EPA.

NS: Valor No Significativo

Tabla 13. Emisiones de carbono negro, tóxicos y metales.

Comunidad	Emisiones en toneladas anuales			
	CO_2	CH_4	N_2O	Total
San Bartolome	3,620.511	276.328	15.371	3,912.210
San Miguel Totocuitlapilco	718.473	54.836	3.050	776.359
San Lucas Tunco	540.816	41.277	2.296	584.388
San Sebastian	185.502	14.158	0.788	200.447
San Gaspar Tlahuelilpan	762.310	58.182	3.236	823.728
La Magdalena Ocototlan	227.032	17.328	0.964	245.323
Carbón	**6,054.643**	**462.108**	**25.706**	**6,542.456**
San Bartolome	8,741.403	610.202	96.981	9,448.586
San Miguel Totocuitlapilco	1,980.284	138.236	21.970	2,140.490
San Lucas Tunco	1,708.215	119.244	18.952	1,846.410
San Sebastian	703.860	49.134	7.809	760.803
San Gaspar Tlahuelilpan	2,242.878	156.566	24.884	2,424.328
La Magdalena Ocototlan	1,476.753	103.086	16.384	1,596.223
Leña	**16,853.392**	**1,176.467**	**186.980**	**18,216.839**
San Bartolome	6.945	0.028	0.020	6.993
San Miguel Totocuitlapilco	5.103	0.020	0.015	5.138
San Lucas Tunco	1.495	0.006	0.004	1.505
San Sebastian	1.057	0.004	0.003	1.064
San Gaspar Tlahuelilpan	2.454	0.010	0.007	2.471
La Magdalena Ocototlan	1.468	0.006	0.004	1.478
Gas LP	**18.522**	**0.074**	**0.053**	**18.649**
TOTAL	**22,926.557**	**1,638.650**	**212.738**	**24,777.945**

Fuente: Elaboración propia, utilizando metodología IPCC.