



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO®



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA  
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**"ANÁLISIS DE LA DISPERSIÓN DE MONÓXIDO DE CARBONO PRODUCIDO POR EL  
FUNCIONAMIENTO DE LOS ASADEROS EN BOCA DEL RÍO, MÉXICO"**

## **TESIS**

QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN  
CIENCIAS EN INGENIERIA AMBIENTAL

PRESENTA

**ING. ARLETH CASTRO GARCÍA**

DIRECTOR DE TESIS:

DR. ARTURO GARCÍA SALDAÑA

CODIRECTOR DE TESIS

DRA. FABIOLA LANGO REYNOSO

ASESORES

DRA. MAGNOLIA GRICEL SALCEDO GARDUÑO

DR. PEDRO CÉSAR REYNA GONZÁLEZ

JUNIO 2022

BOCA DEL RÍO, VERACRUZ, MÉXICO



Instituto Tecnológico de Boca del Río  
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Boca del Río, Ver **23/MAYO/2022**

**ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN**

**ARLETH CASTRO GARCÍA**  
PASANTE DEL PROGRAMA MAESTRÍA EN  
CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL  
PRESENTE

De acuerdo con el fallo emitido por los integrantes del Comité Revisor de la **TESIS PARA OBTENCIÓN DE GRADO**, desarrollada por usted cuyo título es:

**“ANÁLISIS DE LA DISPERSIÓN DE MONÓXIDO DE CARBONO PRODUCIDO POR EL FUNCIONAMIENTO DE LOS ASADEROS EN BOCA DEL RÍO, MÉXICO”**

Esta División de Estudios de Posgrado e Investigación le concede **AUTORIZACIÓN** para que proceda a su impresión.

**ATENTAMENTE**

*Excelencia en Educación Tecnológica@  
Por nuestros mares responderemos*

**DR. JUAN DAVID GARAY MARIN**  
JEFE DE LA DIVISION DE ESTUDIOS DE  
POSGRADO E INVESTIGACIÓN



c.c.p. Coordinación del Programa MCIAMB  
c.c.p. Expediente



Km. 12 Carretera Veracruz-Córdoba, Boca del Río, Ver. C.P. 94290.  
Tel. (229) 690 5010 dir01\_bdelrio@tecnm.mx | tecnm.mx | bdelrio.tecnm.mx



**2022 Flores**  
Año de Maqón  
PRECURSOR DE LA REVOLUCIÓN MEXICANA



### ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

Número Registro: A-01101-220620

En la ciudad de Boca del Río, Ver., siendo las 15:00 horas del día 23 del mes de mayo de 2022 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Consejo del Posgrado de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental del ITBOCA, para examinar la Tesis de Grado titulada:

#### **ANÁLISIS DE LA DISPERSIÓN DE MONÓXIDO DE CARBONO PRODUCIDO POR EL FUNCIONAMIENTO DE LOS ASADEROS EN BOCA DEL RÍO, MÉXICO**

Que presenta el (la) alumno(a):

**ARLETH CASTRO GARCÍA**

Aspirante al Grado de:

**Maestro en Ciencias en Ingeniería Ambiental**

Después de escuchar las opiniones sobre el documento escrito e intercambiar puntos de vista, los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACIÓN**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes para su defensa ante el jurado correspondiente.

#### LA COMISIÓN REVISORA:

**DR. ARTURO GARCÍA SALDAÑA**  
Director

**DRA. FABIOLA LANGO REYNOSO**  
Co-Director

**DRA. MAGNOLIA G. SALCEDO GARDUÑO**  
Asesor

**DR. PEDRO CÉSAR REYNA GONZÁLEZ**  
Asesor



## RESUMEN

El 60 % del monóxido de carbono (CO) proviene de la combustión de biomasa, tabaco y combustibles fósiles. El CO es un importante contaminante atmosférico que tiene como principal consecuencia el deterioro de la calidad de vida en los seres humanos producto de su interacción con éste. Existen micro fuentes de este contaminante que no se encuentra contemplada en los inventarios municipales, tal es el caso de las parrillas comerciales o asaderos. Se monitoreó la concentración de CO aplicando la metodología del Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA), el método de muestreo utilizado fue automático. Se tomaron 48 puntos de muestreo mediante la técnica de muestreo no probabilística a juicio o por asignación, con una escala de representatividad micro. Se obtuvieron 24 datos/ hora/ punto de muestreo, de los que se utilizaron seis datos con un intervalo de 10 minutos entre cada punto. Se realizaron dos repeticiones, una entre semana y una en fin de semana, es decir, se consideraron 288 datos por cada tratamiento. Dentro de los resultados más relevantes, se observó una distribución no normal para la concentración entre semana y fin de semana con un nivel de significancia de 0.05. Se realizó una prueba no paramétrica U de Mann-Whitney donde se encontró una diferencia entre medianas de -4.79422 con un 95 % de confianza y un valor p ajustado menor de 0, por tanto, existió diferencia estadísticamente significativa entre la concentración de CO monitoreada entre semana y en fin de semana. El incremento de la contaminación de CO en fin de semana se puede atribuir a el aporte de los asaderos. El objetivo de este trabajo fue analizar la dispersión de CO producida por los asaderos de Boca del Río, México.

**PALABRAS CLAVE:** Contaminación del aire; monitoreo; monóxido de carbono; sensores.

## **ABSTRACT**

60 % of carbon monoxide (CO) comes from the combustion of biomass, tobacco, and fossil fuels. CO is an important atmospheric pollutant that has as its main consequence the deterioration of the quality of life in human beings because of their interaction with it. There are micro sources of this pollutant that is not contemplated in municipal inventories, such is the case of commercial grills or grills. The CO concentration was monitored applying the methodology of the National Air Quality Information System (SINAICA), the sampling method used was automatic. 48 sampling points were taken using the non-probabilistic sampling technique on trial or by assignment, with a micro representativeness scale. 24 data/hour/sampling point were obtained, of which six data were used with an interval of 10 minutes between each point. Two repetitions were performed, one during the week and one on weekends, that is, 288 data were considered for each treatment. Among the most relevant results, a non-normal distribution was observed for weekday and weekend concentration with a significance level of 0.05. A non-parametric Mann-Whitney U test was performed where a difference between medians of -4.79422 was found with 95% confidence and an adjusted p-value of less than 0, therefore, there was a statistically significant difference between the CO concentration monitored during the week and at the weekend. The increase in CO pollution on weekends can be attributed to the contribution of the grills. The objective of this work was to analyze the dispersion of CO produced by the roasteries of Boca del Río, Mexico.

**KEYWORDS:** Air pollution; monitoring; carbon monoxide; sensors.

## **DEDICATORIAS**

Este trabajo lo dedico a Dios por la sabiduría, fortaleza, y por guardarme siempre en el hueco de su mano;

A mi esposo Carlos Humberto P.R. por apoyarme siempre. Por animarme, por tu amor y comprensión, porque cuando fue necesario estuviste para ayudarme siempre un extra. Gracias, amor;

A mis hijos Carlos H. y H. Camila porque son mi vida, mi fuente de inspiración para exigirme a dar siempre más y ser mejor. Los amo, espero que cuando crezcan estén orgullosos de mamá; Gracias por brindarme sonrisas y abrazos ilimitados en los días difíciles.

A mi mamá Liliana por tu amor sin condición y tu apoyo en todo momento;

A mi mami Ramona y a mis tíos por todo el cariño y aliento;

Y finalmente a ti papi, que sé que te alegrarías conmigo por este logro. Un abrazo hasta el cielo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico brindado mediante la Beca Nacional con número 759775 que permite el desarrollo académico, científico y tecnológico del país.

Al Tecnológico Nacional de México Campus Boca del Río por la aceptación y preparación dentro de su programa de posgrados y por el soporte a este trabajo de investigación.

Mi más sincero agradecimiento a mi Comité conformado por mi Director de Tesis el Dr. Arturo García Saldaña, mi Codirectora la Dra. Fabiola Lango Reynoso y mis asesores el Dr. Pedro César Reyna González y la Dra. Magnolia Gricel Salcedo Garduño por el apoyo brindado y todas las observaciones realizadas para mejorar y enriquecer este proyecto.

Gracias al M.C. José Alfredo Inclán Barragán y M.C. Carlos Daniel Amaya Fernández por facilitarme los dispositivos de monitoreo para poder realizar este trabajo.

Gracias a mis compañeros de generación que, aunque el tiempo de convivencia fue corto, la unión y el apoyo como generación fue gratificante.

# CONTENIDO

## ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. MARCO EPISTÉMICO.....	3
3. MARCO TEÓRICO .....	4
3.1 Teorías científicas .....	4
3.1.1 Teoría Cinético Molecular .....	4
3.1.2 Leyes de los gases .....	4
3.1.2 Química del Monóxido de Carbono (CO).....	6
3.2 La atmósfera terrestre .....	6
3.2.1 Cambio climático.....	7
3.2.2 Efecto invernadero.....	7
3.2.3 Gases de efecto invernadero.....	8
3.2.4 Contaminación atmosférica .....	8
3.2.5 Principales contaminantes atmosféricos.....	8
3.3 Fuentes naturales y antropogénicas .....	9
3.3.1 Fuentes emisoras de CO .....	10
3.3.2 Actividades antropogénicas como fuentes de CO .....	10
3.4 Efectos negativos del CO .....	11
3.4.1 Efectos a la salud.....	12
3.4.2 Efectos ambientales del CO .....	14
3.5 Biomasa.....	14
3.5.1 El uso de leña en países en desarrollo.....	15
3.5.2 Emisiones generadas por el consumo de leña y carbón en la preparación de comida rápida .....	16
3.6 Principios básicos de la combustión.....	16
3.6.1 Combustión completa .....	17
3.6.2 Combustión incompleta .....	17
3.7 Límite máximo permisible de CO en México y el mundo .....	17
3.7.1 Norma Oficial Mexicana NOM-021-SSA1-2021, Salud ambiental.....	17
3.7.2 Límite Máximo Permisible (LMP) de CO en el mundo.....	18
3.8 Métodos de medición de la calidad del aire .....	19
3.8.1 Método automático .....	19
3.8.2 Ventajas y desventajas de los distintos métodos de medición .....	20
3.9 Monitoreo de la calidad del aire.....	20
3.9.1 Sistemas de medición de calidad del aire.....	21



3.9.2 Escalas de representatividad .....	22
3.10 Selección de zonas para la medición de la calidad del aire .....	23
3.10.1 Determinación de la distribución de concentraciones de contaminante .....	23
3.10.2 Medición simplificada .....	24
3.10.3 Simulación .....	24
3.10.4 Muestreo a juicio .....	25
3.11 Sensores .....	25
3.11.1 Sensores electroquímicos.....	25
3.11.2 Sensor MQ-7.....	26
3.11.5 Especificaciones técnicas del sensor MQ-7 .....	27
3.12 Sistemas de Información Geográfica .....	27
3.13 Acuerdos internacionales sobre contaminación atmosférica .....	28
3.13.1 Declaración de Estocolmo .....	29
3.13.2 Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo.....	29
3.13.3 Convenio de Viena para la protección de la Capa de Ozono .....	30
3.13.4 Protocolo de Montreal.....	30
3.13.5 Respuesta internacional ante el Cambio Climático. Protocolo de Kioto .....	30
3.13.6 Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático .....	31
4. MARCO REFERENCIAL.....	32
4.1 Antecedentes.....	32
4.2 Frontera del conocimiento .....	34
4.3 Vacío del conocimiento .....	35
5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	35
5.1 Situación problemática .....	35
5.2 Planteamiento del problema de investigación .....	37
5.3 Pregunta de investigación .....	38
5.4 Justificación .....	38
6. HIPÓTESIS .....	38
7. OBJETIVOS .....	38
7.1 Objetivo general .....	38
7.2. Objetivos particulares .....	39
8. MATERIALES Y MÉTODOS.....	39
8.1 Lugar de estudio.....	39
8.2 Identificación de los asaderos ambulantes y establecidos.....	40
8.3 Determinación de las emisiones de CO en asaderos.....	45
8.4 Relación entre la dispersión de CO y el funcionamiento de los asaderos .....	45
8.5 Diseño experimental.....	45

8.6 Captura de los datos .....	46
8.7 Análisis estadístico de los datos.....	47
8.8 Dispersión de CO mediante SIG .....	47
9. RESULTADOS .....	48
9.1. Prueba de Kolmogorov-Smirnov .....	49
9.2 Gráfica de cajas.....	51
9.3 Prueba U de Mann-Whitney .....	52
9.4 Dispersión de CO .....	53
10. DISCUSIÓN .....	56
11. CONCLUSIONES .....	58
12. RECOMENDACIONES .....	59
13. BIBLIOGRAFÍA .....	59
14. APÉNDICES .....	65
A. Tabla de coordenadas geográficas de asaderos localizados .....	65
B. Tabla de selección de datos de concentración entre semana y fin de semana de asaderos establecidos.....	67
C. Tabla de selección de datos de concentración entre semana y fin de semana de asaderos ambulantes.....	73
D. Tabla de concentración media en cada asadero entre semana .....	75
E. Tabla de concentración media en cada asadero en fin de semana.....	77

## Índice de cuadros

Cuadro 1. Principales contaminantes atmosféricos de origen antropogénico (Aránguez et al., 1999).....	9
Cuadro 2. Efectos a la salud por CO. Adaptación de ATSDR (2009).....	12
Cuadro 3. Efectos clínicos de la intoxicación por Monóxido de Carbono (CO) (Sibón Olano et al., 2007). ....	13
Cuadro 4. Efectos del CO a distintas concentraciones (Núñez Naranjo, 2015). ....	13
Cuadro 5. NAAQO para CO en Canadá (Braqdley, 2004).....	19
Cuadro 6. Ventajas y desventajas de los métodos de medición de la calidad del aire (SINAICA-SEMARNAP-INECC, 2010). ....	20
Cuadro 7. Normas para métodos de medición de distintos contaminantes (DOF, 2012).....	21
Cuadro 8. Descripción de las escalas espaciales empleadas para la medición de la calidad del aire (SINAICA, 2010). ....	22
Cuadro 9. Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov.....	49
Cuadro 10. Estimación de la diferencia de emisiones de CO comparando los mismos puntos de muestreo entre semana y fin de semana.....	52
Cuadro 11. Valor p ajustado y no ajustado para empates. ....	53
Cuadro 12. Comparativa de concentraciones de CO medias monitoreadas y límites máximos permisibles de la normativa nacional e internacional.....	57

## Índice de figuras

Figura 1. Fuentes emisoras de CO. Adaptación Huamán (2015). .....	10
Figura 2. Sensor MQ-7 para medición de CO (Nova Becerra, 2018). .....	26
Figura 3. Situación problemática del CO producido por asaderos en Boca del Río, México.....	37
Figura 4. Mapa de macrolocalización del municipio de Boca del Río, Veracruz, México (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2015). .....	40
Figura 5. Asaderos ubicados en Map Marker 2.19 .....	42
Figura 6. Localización de los asaderos en Boca del Río, Ver., México. ....	44
Figura 7. Dispositivo de medición de CO, diseñado en el Instituto Tecnológico de Boca del Río. ....	45
Figura 8. Selección de datos muestreados en una hora.....	46
Figura 9. Distribución de frecuencia de la concentración de CO de los asaderos que trabajan entre semana en el municipio de Boca del Río. Ver. ....	48
Figura 10. Distribución de frecuencia de la concentración de los asaderos que trabajan en fin de semana, en el municipio de Boca del Río, Ver. ....	49
Figura 11. Gráfica de normalidad de la concentración de CO en asaderos que trabajan entre semana, en el municipio de Boca del Río, Ver. ....	50
Figura 12. Gráfica de normalidad de la concentración de CO en asaderos que trabajan en fin de semana, en el municipio de Boca del Río, Ver. ....	50
Figura 13. Gráfica de cajas de concentración de CO en los asaderos que trabajan en fin de semana y entre semana, en el municipio de Boca del Río, Ver. ....	52
Figura 14. Concentración y dispersión de CO de asaderos que trabajan entre semana en el municipio de Boca del Río; Ver. ....	54
Figura 15. Concentración y dispersión de CO de asaderos que trabajan en fin de semana en el municipio de Boca del Río, Ver. ....	55

## 1. INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire es un problema internacional que no distingue entre países desarrollados, en desarrollo o subdesarrollados, en donde cada año miles de personas padecen enfermedades asociadas a los diversos contaminantes atmosféricos. Algunos de los contaminantes de origen antropogénico que destacan son: las partículas en suspensión, dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), compuestos orgánicos volátiles (COVs), plomo (Pb) y ozono (O<sub>3</sub>) (Ballester, 2005). Otro de los gases generados por las actividades antropogénicas es el CO; se estima que el 60 % de CO proviene de la combustión de biomasa, tabaco y combustibles fósiles (Bolaños Morera y Chacón Araya, 2017).

Téllez y Rodríguez (2006) mencionaron que el CO es un gas incoloro e inodoro que se forma por la combustión incompleta de material orgánico, en presencia deficitaria de oxígeno. Es considerado uno de los mayores contaminantes de la atmósfera terrestre, y uno de los mayores problemas ambientales de América Latina.

El CO es un importante contaminante atmosférico que tienen como principal consecuencia el deterioro de la calidad de vida en los seres humanos. Además es considerado un precursor de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) y O<sub>3</sub> al permanecer por aproximadamente dos meses en el ambiente y reaccionar con otras sustancias para formar estos gases de efecto invernadero (ATSDR, 2009). El CO es el gas tóxico y mortal más común. Los niveles de CO en el ambiente se presentan por una mala combustión en cocinas que utilizan leña, hornos, calentadores, chimeneas, automóviles y calderas (Vega et al., 2017). Sin embargo, pese al impacto que tiene el CO en la calidad de vida de los seres humanos por sus efectos nocivos conocidos, la normatividad actual se encuentra muy limitada en la regulación de las emisiones para las diversas fuentes existentes. En México, la DOF (2021) establece que el valor permisible de CO no debería rebasar las 9 ppm en 8 horas móviles y las 26 ppm en una hora (DOF, 2021)

Por otra parte, aunque las fuentes emisoras de este contaminante atmosférico son varias, únicamente la NORMA Oficial Mexicana NOM-042-SEMARNAT-2003, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos totales o no metano, monóxido óxidos de nitrógeno y partículas provenientes del escape de los vehículos automotores nuevos cuyo peso bruto vehicular no exceda los 3,857 kilogramos, que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y diesel, así como de las emisiones de hidrocarburos evaporativos provenientes del

sistema de combustible de dichos vehículos los límites máximos permisibles de CO proveniente del escape de los automóviles, establece la regulación para estas fuentes en específico. Los vehículos automotores son considerados la principal fuente emisora de este contaminante. Sin embargo, existen otras fuentes conocidas como micro fijas, que no se encuentran reguladas en los municipios y que podrían representar un daño importante para las personas y el ambiente. Tal es el caso de las parrillas o asaderos comerciales que utilizan la biomasa como combustible principal.

Es importante resaltar que, los asaderos son importantes fuentes de contaminantes debido a la gran variedad de compuestos orgánicos e inorgánicos que producen, cuya presencia en la atmósfera afecta la salud de las personas y el planeta. El uso de leña y carbón como combustible y las variables de cocción, es decir, la temperatura, el tiempo y el equipo utilizado influye en la cantidad de emisiones. Se debe tener en cuenta que las micro fuentes individualmente son insignificantes, sin embargo, en conjunto, sus emisiones llegan a representar importantes daños ambientales (Lango-Reynoso et al., 2018).

Debido a la necesidad económica que tiene la población y la constante demanda de comida rápida, es cada vez más frecuente encontrar establecimientos dedicados a esto. En dichos establecimientos se utiliza la quema de leña o carbón como combustible principal para el proceso de cocción de los alimentos. El aumento significativo de estos negocios podría impactar considerablemente en la calidad del aire a nivel municipal, estatal y nacional (Lango-Reynoso et al., 2018).

Se han realizado estimaciones de las emisiones de CO<sub>2</sub> en asaderos establecidos en Boca del Río, México (Lango-Reynoso et al., 2018). Sin embargo, las emisiones de CO provenientes de asaderos son datos hasta el momento desconocidos. Conocer la tendencia y/o dispersión de este contaminante podrá servir como precedente para establecer acciones que permitan regular los asaderos ambulantes como fuentes de emisión y así mitigar los efectos de estos contaminantes sobre el ambiente y la salud humana.

Se puede inferir que la dispersión de CO en Boca del Río, México es proporcional al funcionamiento y operación de los asaderos, así como la eficacia de los equipos usados en el proceso de cocción. Por tanto, se incluyen los asaderos establecidos y ambulantes. De esta forma se pudo determinar la magnitud de afectación como micro fuente y su contribución a la contaminación atmosférica, acidificación de los mares y el impacto a la salud que representan.

Como mencionaron Lango-Reynoso et al. (2018), el uso de tecnología en los asaderos es de vital importancia porque permite optimizar el proceso de cocción a fin de reducir el consumo de biomasa y a su vez el incremento de las emisiones. Por ello, el objetivo de este trabajo es analizar la dispersión de CO producido por el funcionamiento de los asaderos.

## **2. MARCO EPISTÉMICO**

En este capítulo se presenta una postura epistémica para el trabajo de investigación titulado "Análisis de la dispersión de monóxido de carbono producido por los asaderos en Boca del Río, México".

En algunas áreas de México es común el uso de leña y carbón como combustible para satisfacer ciertas necesidades humanas, pero también genera contaminantes a la atmósfera como lo es el CO.

Desde el punto de vista ontológico y, con base en lo anterior, surge esta investigación que monitoreó las emisiones de CO en las parrillas o asaderos establecidos y ambulantes, sin embargo, en donde se localizan estos lugares, podemos observar que, no son exclusivamente fuentes fijas de este contaminante. Cerca de estos lugares se localizaron negocios de alimentos que utilizan otro tipo de combustibles para la cocción de los diversos platillos que preparan. Además, se encuentran ubicados en lugares muy transitados por lo que, el flujo vehicular es constante, fuentes móviles a considerar en estas emisiones.

Por ello, surge en primer lugar el aspecto gnoseológico para abordar el tema y aquí debemos responder a la pregunta ¿cómo conocemos? Y aquí entra en juego el empirismo y el racionalismo, pues será necesaria la observación y la razón, mediante recorridos en Boca del Río, se identificarán los asaderos ambulantes y establecidos en el municipio.

Posteriormente, fue necesario identificar la realidad desde el punto de vista ontológico. Para ello fue primordial, identificar el objeto de estudio y su realidad, que, en esta investigación fue el CO, por lo cual fue necesario conocer la composición y formación química y propiedades fisicoquímicas de este y sus fuentes puntuales de emisión.

En tercer lugar, se presenta la investigación desde la parte epistemológica, donde se incluye el empirismo y el racionalismo, pues fue necesaria la experiencia y observación para posteriormente

formar conocimiento que, además, se analizó para formar juicios lógicos donde la razón jugará un papel fundamental.

Por lo anterior, se realizó una investigación de campo, que fue fundamental el involucrarse directamente con el área geográfica de estudio para poder monitorear el CO producido por los asaderos comerciales.

Finalmente, se adoptó el modelo teórico pragmático. La postura pragmática pertenece a la Línea Galileana. Bajo esta postura es necesaria en su totalidad la práctica, es decir, es experimental. Dicha postura, menciona que obtiene las teorías de la práctica para posteriormente aplicarlas a nuevas prácticas. Así bien, este proyecto que, con base en lo que ya se conoce de las fuentes contaminantes y las propiedades químicas del mismo, se llevó a cabo el análisis de la dispersión del CO proveniente de los asaderos.

### **3. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 Teorías científicas**

##### *3.1.1 Teoría Cinético Molecular*

La Teoría cinético molecular ayuda a entender el comportamiento de la materia a nivel molecular cuando está sujeta a ganancia o pérdida de calor, al medir el calor y sus efectos (por ejemplo, la dilatación de los cuerpos, los cambios de fase, las escalas de temperatura).

La Teoría Cinético Molecular está basada en los siguientes supuestos:

- a) La materia está compuesta por partículas muy pequeñas en continuo movimiento, entre ellas hay espacio vacío.
- b) La energía cinética de las partículas aumenta al aumentar la temperatura.

Las partículas se mueven en todas las direcciones. En el caso de un gas chocan continuamente entre ellas y con las paredes del recipiente que lo contiene. La cantidad de choques que por unidad de tiempo se producen sobre las paredes del recipiente está relacionado con la presión (a mayor número de choques, más presión se ejerce sobre las paredes del recipiente) (Kuhn et al., 2012).

##### *3.1.2 Leyes de los gases*



Los gases ideales son unas sustancias hipotéticas que constituyen en una herramienta clave para el estudio de distintos procesos y ciclos termodinámicos. Se emplea igualmente el modelo de los gases ideales en la elaboración de los balances de masa y energía involucrados en las operaciones físicas y en los procesos químicos que tienen lugar en las industrias del mismo nombre. Sin embargo, el manejo puramente mecánico que se hace de la Ecuación 1 mejor conocida con el nombre de ecuación de estado de los gases ideales.

$$PV=nRT$$

Ecuación 1

En Termodinámica, se sabe que la ecuación de estado más antigua de los gases ideales fue la obtenida en 1662 por los investigadores Robert Boyle y Edme Mariotte, quienes condujeron procesos de compresión isotérmica de una masa fija de un gas.

Dicha ecuación, conocida como la Ley de Boyle-Mariotte, es la siguiente:

$$(P_{abs})(V) = K_T$$

Ecuación 2

donde:

$K_T$  es una constante que depende de la temperatura de trabajo

$P_{abs}$  es la presión absoluta.

V corresponde al volumen.

Igualmente, los investigadores Jacques Alex Caesar Charles en 1787 y Joseph Louis Gay-Lussac en 1802 condujeron procesos de calentamiento isobárico de una masa fija de un gas, y a partir de los resultados reportados por éstos fue obtenida posteriormente la siguiente ecuación conocida como la Ley de Charles:

$$V/T_{abs}=K_P$$

Ecuación 3

Donde:

$K_P$  es una constante que depende de la presión de trabajo.

$T_{abs}$  es la temperatura absoluta.

V corresponde al volumen.

Otro investigador, Benoit-Paul Emile Clapeyron recogió hacia el año 1834 los resultados anteriores los cuales dieron lugar a la que hoy se conoce como la ecuación de estado de los gases ideales (Ecuación 1) (Ríos y Iza, 2007).

### *3.1.2 Química del Monóxido de Carbono (CO)*

En términos generales, el CO es un gas compuesto por un átomo de carbono y un átomo de oxígeno. El concepto que proponen Aránguez et al. (1999) sobre el CO es frecuentemente el más aceptado dentro de la química. Ellos señalaron que este contaminante es un gas inodoro, incoloro e insípido y es menos denso que el aire. Por otra parte, Téllez y Rodríguez (2006) mencionaron que, este gas se forma por la combustión incompleta de material orgánico y en condiciones donde la presencia del oxígeno es escasa. El CO es considerado como un gas de efecto invernadero (GEI) indirecto pues propicia la formación de algunos gases de efecto invernadero directos (Ballesteros y Aristizabal, 2007).

La Agencia para el Registro de Substancias Tóxicas y Enfermedades (ATSDR) señaló que es posible encontrar este gas en ambientes interiores y exteriores. Su presencia en interiores depende de equipos como estufas de leña, calentadores de gas, calderas, además, el humo del tabaco también contribuye al aporte de CO en interiores (ATSDR, 2009).

Por otra parte, los niveles de CO en ambientes exteriores se atribuyen mayormente a la combustión incompleta en vehículos automotores, incendios, la quema de leña y carbón vegetal y la industria (Campo et al., 2018; Sadatshojaie y Rahimpour, 2020; Sibón Olano et al., 2007).

## **3.2 La atmósfera terrestre**

La atmósfera terrestre es una delgada capa de gases que rodea a nuestro planeta, es muy importante dado que en ella residen los gases que son fundamentales para el desarrollo de la mayor parte de la vida en el planeta, además de que la atmósfera representa un medio importante en el que reside una buena parte de la vida de la Tierra.

La composición química de la atmósfera (que gases la forman y en que proporciones) incluye mayoritariamente a solo dos gases, nitrógeno ( $N_2$ ), en un 79 % y oxígeno ( $O_2$ ) en un 20 %. El 1 % restante está formado por diversos gases entre los que los más abundantes son el Argón (Ar) en un 0.9 % y el dióxido de carbono ( $CO_2$ ) en aproximadamente un 0.03 % (Caballero et al., 2007).

### *3.2.1 Cambio climático*

El Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático ( IPCC por sus siglas en inglés) define el cambio climático como cualquier cambio del clima en el transcurso del tiempo ya sea de forma natural o como resultado de actividades humanas; mientras tanto la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, complementa que el cambio del clima se atribuye directa o indirectamente a las actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera mundial sumado a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables (Aguirre et al., 2010).

Los informes del IPCC resaltan que las causas del cambio climático son de origen natural y antropogénicas. Hay una cadena de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), las concentraciones atmosféricas, el forzamiento radiactivo, las respuestas climáticas y los efectos del clima. Entre 1970 y 2004, el aumento más importante de las emisiones de GEI proviene de los sectores de suministro de energía, transporte e industria, mientras que la vivienda y el comercio, la silvicultura (incluida la deforestación) y la agricultura han crecido más (Díaz Cordero, 2012).

### *3.2.2 Efecto invernadero*

Es un fenómeno natural de la atmósfera que, entre otras cosas, sirve para mantener constante la temperatura media de la superficie terrestre y que esta sea unos 30 grados superior a la que tendríamos si la atmósfera no absorbiera (Ataz y de Mera Morales, 2004).

La atmósfera se encuentra constituida por diferentes tipos de gases y aerosoles comportándose de manera diferente, de tal modo que la energía tiene bajo poder de absorción o es transparente en la parte visible del espectro teniendo un significativo poder de absorción de radiación ultravioleta o radiación de onda corta procedente del sol (Garduño, 1998).

La atmósfera posee una buena capacidad para absorber la radiación infrarroja o de onda larga procedente de la Tierra. La absorción de radiación infrarroja procedente de la Tierra es importante en el balance energético de la atmósfera. Esta absorción por los gases de traza calienta la atmósfera, estimulándolos a emitir radiación de onda más larga. Parte de esta radiación es liberada al espacio y otra parte es irradiada nuevamente a la superficie de la Tierra (Piña, 2008).

Las dos terceras partes de la energía radiante atmosférica son devueltas a la superficie, suministrando una fuente de energía adicional a la radiación solar directa, dando como resultado que la Tierra almacene más energía cerca de la superficie (Ballesteros y Aristizabal, 2007).

### *3.2.3 Gases de efecto invernadero*

Los GEI son los componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes. Esta propiedad produce el efecto invernadero. En la atmósfera de la Tierra, los principales GEI son el vapor de agua (H<sub>2</sub>O), el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), el metano (CH<sub>4</sub>) y el ozono (O<sub>3</sub>) (Ballesteros y Aristizabal, 2007).

Conforme al Inventario nacional de gases de efecto invernadero (De Jong et al., 1990), las emisiones de GEI pasaron de 561 035 a 748 252 miles de tCO<sub>2eq</sub>. Esto representa un incremento de 33.4 % en dos décadas. En lo que toca a las emisiones provenientes de la categoría energía, también expresadas en CO<sub>2</sub> equivalente, registraron un aumento de 57.8 % en el mismo periodo, pasando de 319 174 Gg a 503 818 Gg, con una tasa de crecimiento medio anual de 2.3 %, lo cual indica que las emisiones de GEI en esta categoría crecen más aceleradamente.

### *3.2.4 Contaminación atmosférica*

El término contaminación atmosférica tiene diferentes definiciones, aunque todas referidas a la presencia de sustancias nocivas en la atmósfera en concentraciones que podrían llegar a provocar daño, ya sea a la salud de la población o a diferentes ecosistemas. Los distintos contaminantes atmosféricos se pueden clasificar en contaminantes primarios, que son aquellos emitidos directamente a la atmósfera, por ejemplo, el CO; o contaminantes secundarios, los cuales se forman en la atmósfera a partir de reacciones químicas de sus precursores, como por ejemplo el ozono (O<sub>3</sub>), formado por reacciones de contaminantes primarios: compuestos orgánicos volátiles (COVs) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) (Ubilla y Yohannessen, 2017).

### *3.2.5 Principales contaminantes atmosféricos*

El dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y las partículas derivadas de la oxidación de combustibles fósiles son los principales contaminantes atmosféricos urbanos del mundo. Además del SO<sub>2</sub> y las partículas, otros contaminantes presentes en la atmósfera terrestre son el CO, el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y O<sub>3</sub>.

En el Cuadro 1 se muestran los principales contaminantes atmosféricos de origen antropogénico presentes y los procesos y principales actividades que los causan.

Cuadro 1. Principales contaminantes atmosféricos de origen antropogénico (Aránguez et al., 1999).

<b>Contaminante</b>	<b>Procesos</b>	<b>Actividades</b>
Humos negros	Combustión de carbón y petróleo, combustiones incompletas	Calefacciones, centrales térmicas, tráfico, incineración de residuos
SO <sub>2</sub>	Combustión de materiales que contienen azufre, actividades industriales	Calefacciones, tráfico, industrias
NO <sub>2</sub>	Procesos de combustión (oxidación del N atmosférico), fabricación de ácido nítrico, explosivos	Tráfico, industrias, calefacciones, interiores mal ventilados
CO	Combustiones incompletas, disociación de CO <sub>2</sub> a altas temperaturas, producción de CO a partir de CO <sub>2</sub>	Tráfico, calefacciones, industrias, interiores mal ventilados
O <sub>3</sub>	NO <sub>x</sub> y COVs + luz solar	Las que generan NO <sub>x</sub> y COVs

### 3.3 Fuentes naturales y antropogénicas

Las emisiones naturales se generan por procesos que ocurren en la naturaleza sin influencia directa del hombre, como las emisiones volcánicas y marinas, los procesos biológicos, los incendios forestales o las tormentas de polvo y arena. Estas emisiones forman parte de los ciclos propios del planeta, ayudan a regular la temperatura a escala global, propician el balance químico de la atmósfera y han determinado en gran medida la evolución de los ecosistemas (Boldo, 2016).

Por otra parte, la contaminación antropogénica, generada por las actividades del hombre, se concentra en áreas específicas, como zonas urbanas o industriales. Entre las fuentes antropogénicas de emisiones a la atmósfera podemos distinguir dos tipos: las móviles y las estacionarias. Las fuentes móviles son las más importantes en las ciudades y su impacto principal es en la emisión de monóxido de carbón (CO), ciertos hidrocarburos y en las partículas suspendidas. Entre las fuentes fijas se pueden mencionar dos tipos de emisiones: por un lado, las derivadas de la combustión (chimeneas), utilizada para la generación de energía y por otro lado las inherentes a cada actividad industrial y de servicios. Para el caso de las chimeneas, las emisiones dependen en buena medida de la calidad de los combustibles, pero también de la eficiencia de los quemadores, del mantenimiento del equipo y de la presencia de equipo de tratamiento (filtros, precipitadores, lavadores, etcétera) (Moiseev y López, 2004).

### 3.3.1 Fuentes emisoras de CO

Anteriormente se mencionó que las fuentes emisoras de CO de origen antropogénico se encuentran no solo en el exterior sino también en el interior. En la Figura 1 se exponen aquellas fuentes de generación de este contaminante.

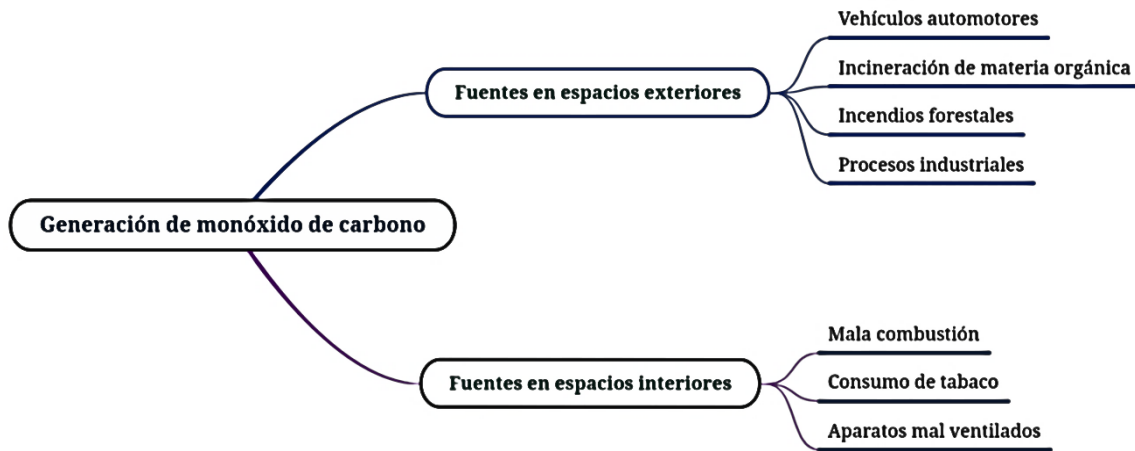


Figura 1. Fuentes emisoras de CO. Adaptación Huamán (2015).

### 3.3.2 Actividades antropogénicas como fuentes de CO

Los elevados niveles de CO generados por combustión, en espacios interiores, suele proceder de aparatos de combustión mal ventilados o con un mantenimiento deficiente y consumo de tabaco, 80 cm<sup>3</sup> por unidad de tabaco. Así mismo, las fuentes principales en el interior son el humo proveniente de una mala combustión de cocinas y hornos de gas, electrodomésticos de gas, calefactores de gas o queroseno, estufas de carbón o de madera y combustión de tabaco, así como la infiltración de aire procedente del exterior.

Las principales fuentes productoras de este contaminante, en espacios exteriores, son los vehículos automotores que utilizan como combustible gasolina o diesel; los procesos industriales, los incendios forestales y urbanos y la incineración de materia orgánica, los vehículos automotores y los procesos industriales son responsables de aproximadamente 80 % de las emisiones de carbono a la atmósfera (Huamán, 2015).

Se prevé que las emisiones crezcan por el aumento en la demanda de energía, particularmente en las llamadas economías emergentes. En el caso de México, también se prevé un aumento en la demanda de energía y, por ende, en las emisiones. Sin embargo, el consumo de energía adopta diversas modalidades, depende de múltiples factores y, en última instancia, tiene que ver

con las necesidades de las personas: preparación de alimentos, iluminación, refrigeración, transporte, entretenimiento, producción de bienes de consumo cotidiano o duradero, entre otros. En ese sentido, la emisión de GEI se vincula también con la condición social de las personas, su organización familiar y comunitaria, sus gustos y preferencias, las características de su hábitat, la cultura ambiental, las dimensiones de la localidad en que viven, entre otros aspectos (Cruz Islas, 2016).

Huamán (2015) indicó que los altos niveles de CO generados por la combustión, y que están presentes en espacios interiores, se deben frecuentemente al humo producido por equipos, donde existe una mala combustión. Además, otra de las fuentes interiores importantes es el consumo de tabaco y la utilización de aparatos mal ventilados o equipos viejos.

Cabe mencionar que la formación del CO está estrechamente relacionada con el mantenimiento, uso y tipo de equipo, la tecnología de operación del equipo y la edad del mismo, donde, equipos viejos y pequeños posible tendrán una combustión menos controlada y propiciarán la emisión de CO (Ballesteros y Aristizabal, 2007).

Por otra parte, las emisiones de CO localizadas en espacios exteriores provienen de fuentes de generación donde destacan principalmente los vehículos automotores que utilizan gasolina o diesel y, la industria que incluyen compuestos de carbono en sus procesos. Estos dos son responsables de un 80 % de las emisiones de CO (Téllez y Rodríguez, 2006). Como destacó Huamán (2015), otras fuentes en espacios exteriores pueden ser también los incendios forestales e incineración de la materia orgánica.

### **3.4 Efectos negativos del CO**

El CO es un gas producido por la combustión incompleta de la materia orgánica, se une a la hemoglobina, dificultando el transporte de oxígeno a los tejidos y a la citocromo-oxidasa, generando disfunción multiorgánica, en particular en el sistema nervioso central (SNC).

Las alteraciones neurosicológicas por CO se han relacionado con presencia de cefalea persistente, fatiga, reducción de la percepción visual, la destreza manual, disminución de memoria, de la concentración, atención y las capacidades para conducir, trastornos de sueño con predominio de insomnio, irritabilidad y con menos frecuencia deterioro demencial y la aparición de un cuadro neurológico similar al Parkinson (Castañeda et al., 2008).

En la intoxicación por CO las complicaciones cardiovasculares más habituales suelen ser cambios electrocardiográficos, disfunción ventricular transitoria, necrosis miocárdica, disfunción del miocardio e infarto.

### 3.4.1 Efectos a la salud

Como se ha mencionado anteriormente, el incremento de la concentración de CO es alarmante, pues disminuye la calidad del aire, lo que representa graves daños a la salud. Por ello, monitorear sus niveles de concentración y dispersión en el planeta es de suma importancia a nivel global.

La Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR)) (2009), resaltó que la principal causa de muerte por intoxicación en Estados Unidos fue por CO . Por otra parte, Martínez-Arrieta (2005) indicó que, de acuerdo a un estudio epidemiológico el CO, junto con otros vapores, gases y humos, provocaron el 84 % de las intoxicaciones letales en niños menores de 10 años.

El riesgo de exposición al CO se debe a que es capaz de producir hipoxia e isquemia, esta se da cuando ocurre una pérdida parcial o completa del aporte de oxígeno al sistema nervioso central (Kwak et al., 2020; Ramos et al., 2010).

Cuadro 2. Efectos a la salud por CO. Adaptación de ATSDR (2009).

Contaminante	Efectos a la salud
monóxido de carbono (CO)	Cefalea, náuseas, vómito, mareo, visión borrosa, confusión, dolores en el pecho, debilidad, insuficiencia cardíaca, dificultad para respirar, convulsiones y coma.

Algunos autores señalaron que el mecanismo de toxicidad del CO se da debido a que la hemoglobina es entre 200 a 300 veces más afin con el CO que con el oxígeno, desplazándolo y formando carboxihemoglobina (COHb). Aun cuando esto depende del tiempo de exposición, la concentración ambiental y la ventilación; estar expuesto a una concentración de 0.1 % de CO durante una hora puede llevar a niveles del 80 % de carboxihemoglobina (Aránguez et al., 1999; Beltran et al., 2010; Bolaños Morera y Chacón Araya, 2017; Lee et al., 2020; Vargas y Machado, 2014). Por su parte, Sibón Olano et al. (2007) indicaron que niveles superiores al 60 % de COHb en el cuerpo pueden tener como desenlace la muerte (Cuadro 3).



Cuadro 3. Efectos clínicos de la intoxicación por Monóxido de Carbono (CO) (Sibón Olano et al., 2007).

<b>COHb (%)</b>	<b>Signos y síntomas</b>
<10	Asintomático
10-20	Cefalea, vasodilatación
20-30	Cefalea, disnea, angor de esfuerzo
30-40	Cefalea intensa, náuseas, vómitos, alteraciones de la visión, debilidad, torpor mental
40-50	Síncope, taquicardia, taquipnea
50-60	Coma, convulsiones, respiración irregular
>60	Paro cardiorrespiratorio, muerte

Según el grado de intoxicación, el cuadro clínico es variable, desde síntomas inespecíficos leves, hasta la muerte por afectación grave del sistema nervioso central (SNC) y/o cardiovascular. La clínica aguda depende del órgano diana afectado por la hipoxia en cada caso. La afectación del SNC produce cefalea, síncope y lipotimias, disminución variable del nivel de conciencia desde la obnubilación hasta el coma, convulsiones, ataxia, alteraciones del comportamiento, mareos y sensación de inestabilidad y pérdida generalizada de fuerza. La afectación del sistema cardiovascular produce palpitaciones, opresión torácica, alteraciones del ritmo cardiaco y alteración isquémica cardiaca en cualquier forma de presentación, sobre todo en pacientes con coronariopatía previa. Puede aparecer parada cardiorrespiratoria por hipoxia grave cardiaca o causada por alteración del tronco cerebral (Oliu et al., 2010).

Por otra parte, los efectos del CO son variables dependiendo la concentración y el tiempo al que se esté expuesto (Cuadro 4).

Cuadro 4. Efectos del CO a distintas concentraciones (Núñez Naranjo, 2015).

<b>Concentración de CO (ppm)</b>	<b>Efectos a la salud</b>
0-200	Ligero dolor de cabeza en algunos casos.
8.7	No se excede el nivel carboxihemoglobina del 2.5 %, aun cuando un sujeto normal realice ejercicio ligero o moderado durante 8 horas.
26	No se excede el nivel carboxihemoglobina del 2.5 %, aun cuando un sujeto normal realice ejercicio ligero o moderado durante una hora.
30	La exposición diaria a esta concentración es equivalente a fumar 20 cigarrillos al día.
35	Las personas que tienen enfermedades cardíacas no deben exponerse a niveles superiores a esta concentración.

52	No se excede el nivel carboxihemoglobina del 2.5 %, aun cuando un sujeto normal realice ejercicio ligero o moderado durante 30 minutos.
87	No se excede el nivel carboxihemoglobina del 2.5 %, aun cuando un sujeto normal realice ejercicio ligero o moderado durante 15 minutos.
100	Se informó del primer indicio de angina en sujetos que hacían ejercicio con cardiopatía coronaria expuestos a esta concentración.
200-400	Después de 5-6 horas se puede observar un leve dolor de cabeza, náuseas, vértigo y síntomas mentales.
400-700	Después de 4-5 horas se puede observar un fuerte dolor de cabeza, incoordinación muscular, debilidad, vómitos y colapso.
700-1100	Después de 3-5 horas se puede observar un fuerte dolor de cabeza, debilidad, vómitos y colapso.
1100-1600	Después de 1.5-3 horas se puede observar coma. (la respiración es aún bastante buena a no ser que el envenenamiento se haya prolongado).
1600-2000	Después de 1-1.5 horas hay posibilidad de muerte.
5000-10000	Después de 2-15 minutos se puede producir la muerte.

### 3.4.2 Efectos ambientales del CO

En cuanto a su impacto en el medio ambiente, se trata de una sustancia extremadamente inflamable que reacciona vigorosamente con oxígeno, acetileno, cloro, flúor y óxidos nitrosos, pudiendo provocar humos tóxicos e incendios si existen focos de calentamiento (Prada Montalvan, 2019).

A pesar de que con el CO su efecto grave más importante es su peligrosidad para la salud, este se considera un GEI indirecto. Se le denomina así porque puede reaccionar en la atmósfera con otros compuestos o radicales para formar algunos GEI directos tales como el CO<sub>2</sub>, el metano (CH<sub>4</sub>) y el ozono troposférico (O<sub>3</sub>) (Martínez-Prado, 2016).

Cuando el CO es liberado al ambiente, pasa al aire y permanece en la atmósfera por un promedio de aproximadamente dos meses. Eventualmente, el CO reacciona con otros compuestos en la atmósfera y se convierte en CO<sub>2</sub>. Los microorganismos que se encuentran en el suelo y el agua también pueden convertir al CO en CO<sub>2</sub> (Cali Galarza, 2020).

### 3.5 Biomasa

La biomasa es una excelente alternativa energética por dos razones: la primera, es que a partir de ella se pueden obtener una gran diversidad de productos; la segunda, se adapta perfectamente a todos los campos de utilización actual de los combustibles tradicionales. Así, mediante procesos específicos, se puede obtener toda una serie de combustibles sólidos, líquidos

o gaseosos que pueden ser aplicados para cubrir las necesidades energéticas de confort, transporte, cocinado, industria y electricidad, o servir de materia prima para la industria (Fernández, 2005).

Dentro del grupo de los biocombustibles sólidos, los más importantes son los de tipo primario, constituidos por materias lignocelulósicas procedentes del sector agrícola o forestal y de las industrias de transformación que producen residuos de dicha naturaleza. La paja y los restos de poda de vid, olivo y frutales, la leña, las cortezas y los restos de podas y aclareos de las masas forestales son materia típica para elaboración de biocombustibles sólidos de origen agrario. También las cáscaras de frutos secos y huesos de aceituna y otros frutos, los orujillos procedentes de la extracción del aceite de orujo en las almazaras y los restos de las industrias del corcho, la madera y el mueble, constituyen una buena materia prima para la fabricación de biocombustibles sólidos. Otro grupo de biocombustibles sólidos lo constituye el carbón vegetal, que resulta de un tratamiento térmico con bajo contenido en oxígeno de la biomasa leñosa, Sin embargo, al ser el resultado de una alteración termoquímica de la biomasa primaria, debe ser considerado de naturaleza secundaria. Aunque una parte importante de la biomasa se utiliza directamente, como por ejemplo la leña en hogares y chimeneas, la utilización energética moderna de los biocombustibles sólidos requiere un acondicionamiento especial (Fernández, 2003).

### *3.5.1 El uso de leña en países en desarrollo*

Una gran parte de la población mundial utiliza leña para cocinar y calentar el hogar, sobre todo en los países en desarrollo. Se calcula que la energía de la biomasa combustible tradicional asciende a casi la décima parte del total actual de la demanda humana de energía y los combustibles leñosos constituyen probablemente unos dos tercios del consumo en los hogares.

En los hogares pobres de los países en desarrollo, la leña, el carbón vegetal y otros combustibles sólidos (principalmente residuos agrícolas y carbón) se queman a menudo en fogones abiertos o estufas de mal funcionamiento. La combustión incompleta libera pequeñas partículas de otros componentes cuya nocividad para la salud humana en el ambiente del hogar se ha demostrado (Smith, 2006).

Oyarzún (2010) indicó que, la combustión de biomasa es demasiado incompleta, generando una gran cantidad de compuestos orgánicos parcialmente oxidados. Las partículas generadas son

ultrafinas ( $< 0,1 \mu\text{m}$ ), lo que les permite traspasar fácilmente la barrera mucociliar, depositarse en bronquiolos y alvéolos y pasar directamente a la sangre.

### *3.5.2 Emisiones generadas por el consumo de leña y carbón en la preparación de comida rápida*

Algunos estudios sobre el uso de leña y carbón en la cocción de alimentos cuantifican las emisiones generadas en función del alimento (contenido de grasas) y condimentos utilizados para su preparación. Otros evalúan la eficiencia energética de estufas domésticas y su relación con las emisiones de GEI y otros contaminantes. Además, se ha buscado determinar los factores de emisión para gases y partículas como resultado del uso de diferentes tipos de biomasa como combustible (Díaz et al., 2021).

Debido a la dinámica de la sociedad, con jornadas laborales cada vez más exigentes, demandantes y absorbentes, los alimentos preparados son una forma de satisfacer las necesidades alimentarias de la población, por lo que la comida rápida es una de las principales opciones de alimentación de las personas. La producción de alimentos preparados es comúnmente practicada en México, en donde se emplean usualmente asadores de uso comercial que utilizan como combustible leña o carbón. En consecuencia, los contaminantes generados pueden ser diversos, sin embargo, es común encontrar  $\text{CO}_2$ , CO, metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), compuestos orgánicos totales diferentes al metano (TNMOC por sus siglas en inglés), hidrocarburos totales diferentes al metano (TNMHC por sus siglas en inglés), partículas suspendidas totales (PST),  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$ , entre otros que afectan la calidad del aire y la salud de la población (Díaz et al., 2021).

## **3.6 Principios básicos de la combustión**

La combustión es una reacción de disociación de un material combustible en presencia de  $\text{O}_2$ , es decir, se genera un rompimiento de los enlaces atómicos del carbono y el hidrógeno del combustible, que son los elementos típicos que componen la mayoría de los combustibles. Una vez libres, estos reaccionan con el  $\text{O}_2$  del aire formando  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . Por esta razón, a la combustión se le denomina reacción de oxidación, la cual se efectúa por medio de reacciones en cadena, rápidas y muy complejas. La predominancia y el tipo de reacciones dependen en alguna medida de la clase de combustible de que se trate, pero, como la composición química de los combustibles fundamentalmente es igual, el proceso de combustión es controlado más por

factores diferentes como la concentración de la mezcla, la temperatura inicial y la forma en que se mezcle el gas (Cemargo, 2005).

La reacción de combustión tiene lugar en tres fases:

1. Fase de pre-reacción, en la que el combustible se descompone dando lugar a la formación de radicales inestables y muy activos.
2. Fase de oxidación, en la que se combinan los radicales con el oxígeno de modo exotérmico y se propaga la llama.
3. Fase de terminación, en la que se forman los compuestos estables finales o gases de combustión.

Además, para que se inicie la combustión, el combustible ha de encontrarse en estado gaseoso. Es por ello que los combustibles sólidos y líquidos deben calentarse primero hasta la temperatura de gasificación, a la cual desprenden vapores, y seguir calentándose hasta la temperatura de ignición, a la cual se inflaman espontáneamente (Barrera Puigdollers et al., 2018).

### *3.6.1 Combustión completa*

Esta se produce si se oxida todo el combustible y en los gases de combustión sólo aparece  $N_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$  y  $SO_2$ . Es la combustión que se lleva a cabo con una cantidad de aire igual o superior a la estrictamente necesaria según la estequiometría de la reacción (Barrera Puigdollers et al., 2018).

### *3.6.2 Combustión incompleta*

Los componentes del combustible no se oxidan totalmente por lo que aparecen los denominados inquemados, los más importantes son  $CO$  y  $H_2$ ; otros posibles inquemados son carbono, restos de combustible, entre otros (San José, 2001).

## **3.7 Límite máximo permisible de CO en México y el mundo**

El Límite Máximo Permisible (LMP) es la medida de la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente (Aguirre Sigueñas et al., 2021).

### *3.7.1 Norma Oficial Mexicana NOM-021-SSA1-2021, Salud ambiental*

En México la NORMA Oficial Mexicana NOM-021-SSA1-2021, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al monóxido de carbono (CO). Valores normados para la concentración de monóxido de carbono (CO) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población, establece el valor permisible para la concentración de CO en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población.

Los valores criterio de calidad del aire, establecen límites sobre concentraciones de diversos contaminantes, con base en la protección de la salud de la población, iniciando con la más susceptible, y son parámetros de vigilancia de la calidad del aire ambiente. Establecen la referencia para la formulación de programas de control y evaluación de estos. La concentración de CO, como contaminante atmosférico, no debe rebasar el valor permisible de 9 ppm en promedio móvil de ocho horas y de 26 ppm en una hora, como protección a la salud de la población susceptible (DOF, 2021).

### *3.7.2 Límite Máximo Permisible (LMP) de CO en el mundo*

Un determinado número de contaminantes, denominados contaminantes criterio, tienen efectos documentados sobre las personas, plantas o materiales a determinadas concentraciones. En algunos países se tienen los valores límites para proteger la salud pública y el medioambiente. En Alemania el límite máximo permisible para CO es de 26 ppm en un tiempo de exposición de 30 minutos (Ataz y de Mera Morales, 2004).

El límite de exposición permisible actual de la Administración de Seguridad y Salud Ocupacionales (OSHA, por sus siglas en inglés) para el CO es de 50 ppm como un promedio ponderado de tiempo de 8 horas (TWA, por sus siglas en inglés). El límite de exposición recomendada del Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacionales (NIOSH, por sus siglas en inglés) para el CO es de 35 ppm como un TWA de 8 horas y un límite máximo de 200 ppm. La concentración inmediatamente peligrosa para la vida y la salud (IDLH, por sus siglas en inglés) que recomienda NIOSH para el CO es de 1200 ppm. IDLH es la concentración que podría provocar la muerte o efectos irreversibles sobre la salud, o que podría impedir que una persona se salga del ambiente contaminado en 30 minutos. La American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) ha adoptado un valor límite umbral (TVL por sus siglas en inglés) para el CO de 25 ppm como un TWA de 8 horas (Earnest et al., 1997).

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) ha establecido una norma federal para la calidad de aire ambiental (al aire libre) con respecto al CO de 9 ppm para una exposición de 8 horas y de 25 ppm para una exposición a corto plazo (1 hora) (Jafaru, 2015).

En los años 1970 el gobierno de Canadá estableció los Objetivos Nacionales de Calidad del Aire Ambiente (NAAQO por sus siglas en inglés) para los cinco contaminantes comunes o de criterio: SO<sub>2</sub>, partículas suspendidas totales (PST), CO, NO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>. En 1997, los ministros federales de medio ambiente y de salud establecieron el marco actual de un NAAQO único. Se trata de una meta nacional sobre calidad del aire con el fin de proteger la salud pública, el medio ambiente y las características estéticas del medio ambiente (Braqdley, 2004). Para CO se establecieron los niveles indicados en el Cuadro 5.

Cuadro 5. NAAQO para CO en Canadá (Braqdley, 2004)

Tiempo (horas)	promedio	Nivel deseable (ppm)	máximo	Nivel aceptable (ppm)	máximo	Nivel tolerable (ppm)	máximo
8		5		13		17	
1		13		31		-	

Por otra parte, la normativa de la calidad del aire en Japón señala que el promedio de los valores por hora en 8 horas consecutivas no debe exceder las 20 ppm de CO y el promedio de los valores por hora en 24 horas consecutivas no debe exceder de 10 ppm (Hashimoto, 1989).

### 3.8 Métodos de medición de la calidad del aire

La medición de contaminantes atmosféricos se puede lograr a través de diversos métodos que se agrupan de acuerdo con sus principios de medición en:

1. Muestreo pasivo;
2. Muestreo con Bioindicadores;
3. Muestreo activo;
4. Método automático;
5. Método óptico de percepción remota (Campa y Hernandez, 2019).

#### 3.8.1 Método automático

Para este trabajo de investigación se utilizó el método automático. Estos métodos son los mejores en términos de la alta resolución de sus mediciones, permitiendo llevar a cabo mediciones de forma continua para concentraciones horarias y menores. El espectro de contaminantes que se

pueden determinar van desde los contaminantes criterio (PM<sub>10</sub>-PM<sub>2.5</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>) hasta tóxicos en el aire como mercurio y algunos COVs (SINAICA-SEMARNAP-INECC, 2010).

### 3.8.2 Ventajas y desventajas de los distintos métodos de medición

En el Cuadro 6 se mencionan las ventajas y las desventajas de los métodos de medición de la calidad del aire presentados en los manuales del SINAICA.

Cuadro 6. Ventajas y desventajas de los métodos de medición de la calidad del aire (SINAICA-SEMARNAP-INECC, 2010).

<b>Método</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Muestreo pasivo	Simplicidad en la operación y bajo costo.	No desarrollados para todos los contaminantes, valores promedios, no tienen gran exactitud y en general requieren de análisis de laboratorio.
Muestreo con bioindicadores	Muy bajo costo, útiles para identificar la presencia y efectos de algunos contaminantes.	Problemas con la estandarización de las metodologías y procedimientos; algunos requieren análisis de laboratorio.
Muestreo activo	Fácil de operar, muy confiables y costo relativamente bajo.	No se aprecian los valores mínimos y máximos durante el día, sólo promedios generalmente de 24 horas; requieren de análisis de laboratorio.
Muestreo automático	Valores en tiempo real, alta resolución; concentraciones máximas y mínimas; permite por la detección de valores máximos en tiempo real.	Costo elevado de adquisición y operación; requieren personal capacitado para su manejo; requieren mantenimiento y calibración constantes.
Muestreo de percepción remota	Valores en tiempo real, alta resolución; útiles para mediciones de emisiones de fuentes específicas, de multicomponentes y para mediciones verticales en la atmósfera.	Costo de adquisición muy elevado; requieren personal altamente capacitado para su operación y calibración; no son siempre comparables con los analizadores automáticos convencionales.

### 3.9 Monitoreo de la calidad del aire

El monitoreo sirve de herramienta para la identificación y evaluación de problemas de la calidad del aire. El monitoreo, junto con los modelos de predicción y los inventarios de emisiones, son



parte integral de la gestión de la calidad del aire. Ésta se encuentra directamente vinculada con el cumplimiento de objetivos económicos, de evaluación y de regulación (WHO, 2000).

En el desarrollo de un plan efectivo de gestión de la calidad del aire es necesario contar con información confiable relacionada con los niveles de contaminación en el aire a través del monitoreo. El propósito más importante del monitoreo de la calidad del aire es generar y proporcionar la información necesaria a científicos, legisladores y planificadores para que ellos tomen las decisiones adecuadas a favor de la gestión y mejora del medio ambiente. El monitoreo juega un papel regulador en este proceso proporcionando la base científica para el desarrollo de las políticas y estrategias, en el establecimiento de objetivos durante la evaluación del cumplimiento de las metas y en la ejecución de las acciones (SINAICA-SEMARNAP-INECC, 2010).

### 3.9.1 Sistemas de medición de calidad del aire

Un Sistema de medición de la calidad del aire está destinado a medir, registrar y procesar información sobre calidad del aire. Está formado por estaciones de muestreo, de monitoreo y de estaciones meteorológicas, sistemas de transmisión de datos, centro de control, oficinas, laboratorios y talleres (Rico, 2018).

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) desarrolló las NOMs (Cuadro 7) que están enfocadas a los métodos de medición para determinar la concentración de contaminantes criterio en el aire ambiente y los procedimientos de calibración de los equipos de medición (SINAICA-SEMARNAP-INECC, 2010).

Cuadro 7. Normas para métodos de medición de distintos contaminantes (DOF, 2012).

Contaminante	NOM	Método de referencia
SO <sub>2</sub>	NOM-038-SEMARNAT-1993	Fluorescencia pulsante
CO	NOM-034-SEMARNAT-1993	Absorción infrarroja
NO <sub>2</sub>	NOM-037-SEMARNAT-1993	Quemiluminiscencia en fase gaseosa
O <sub>3</sub>	NOM-036-SEMARNAT-1993	Quemiluminiscencia
Partículas suspendidas totales (PST)	NOM-035-SEMARNAT-1993	Muestreador de alto volumen y determinación gravimétrica
Plomo (Pb)	No hay	Muestreador de alto volumen y espectrofotometría de absorción atómica
Partículas suspendidas finas PM <sub>10</sub> y 2.5	No hay	No hay un método de referencia

### 3.9.2 Escalas de representatividad

La representatividad es un indicador a través del cual se refleja alguna característica de una población, las variaciones de un parámetro en un punto de muestreo o las condiciones de un proceso. La escala de representatividad depende de la topografía del territorio, de su entorno, natural o urbano, de la meteorología, de las fuentes de contaminación y del tipo de contaminante o parámetro meteorológico que midan (Góngora, 2020).

Entre más pequeña sea la escala de representatividad, más limitados y específicos son los objetivos de medición (Cuadro 8). Así, para medir el impacto de una fuente puntual es necesario utilizar escalas pequeñas, mientras que para estimar los impactos sobre la salud pública es necesario tener estaciones con una escala de representatividad a nivel vecindario/ municipal o urbana. Igualmente ocurre con los contaminantes atmosféricos, el CO, que es poco reactivo y se dispersa fácilmente puede medirse con niveles aceptables de representatividad en estaciones que van de la escala micro a urbana (SINAICA, 2010).

Cuadro 8. Descripción de las escalas espaciales empleadas para la medición de la calidad del aire (SINAICA, 2010).

<b>Escala</b>	<b>Distancia</b>	<b>Característica</b>
Micro	10 a 100 m	Los equipos de medición se encuentran cerca de las fuentes de emisión de bajo nivel. Estos sitios no son tomados en consideración generalmente para la evaluación del cumplimiento de normas y estándares. Las mediciones se pueden emplear para el estudio de emisiones y zonas de influencia.
Media	100 a 500 m	Las mediciones de este tipo son apropiadas para la evaluación de efectos de corto plazo en la salud pública. Las diferencias entre las mediciones a esta escala se deben a la presencia de áreas industriales grandes con procesos diversos o cerca de grandes zonas de construcción.
Vecindario o local	500 m a 4 km	Las mediciones de esta categoría representan las condiciones en una subregión urbana razonablemente

Urbana	4 a 100 km	homogénea con dimensiones de varios kilómetros. Estas mediciones se emplean para caracterizar las concentraciones de un contaminante en un área completamente metropolitana o rural. La medición refleja la mezcla de contaminantes de diferentes fuentes dentro de un complejo urbano. Estas mediciones no están dominadas por algún vecindario o fuente en particular.
Regional	100 a 1000 km	Las mediciones caracterizan las condiciones de un área con dimensiones de varios cientos de kilómetros. Su empleo requiere una gran homogeneidad de las concentraciones de los contaminantes en el área.
Nacional	>1000 km	Son estaciones capaces de describir las concentraciones contaminantes o características de un territorio común muy amplio.
Global	-	Son estaciones donde se miden parámetros de interés global como pueden ser GEI o los contaminantes tóxicos y persistentes.

### 3.10 Selección de zonas para la medición de la calidad del aire

Existen diferentes metodologías de selección de los sitios en donde se deben de instalar las estaciones de medición, que van desde la elaboración de una cuadrícula del área de estudio, hasta el uso de complejos modelos estadísticos que nos proporcionan el número y distribución óptima de las estaciones, pero que dependen estrechamente de la cantidad de información con la que se alimenta el modelo (Martínez y Romieu, 1997).

#### 3.10.1 Determinación de la distribución de concentraciones de contaminante

Conocer la distribución de concentraciones de contaminantes es sumamente importante para establecer una zona de estudio. A continuación, se enlistan y describen algunas metodologías para realizar esta actividad.

- Medición simplificada.
- Simulación.
- Muestreo a juicio.
- Muestreo aleatorio simple.
- Muestreo sistemático.
- Muestreo estratificado.
- Traslapo de información (SINAICA, 2010).

### *3.10.2 Medición simplificada*

La medición simplificada se basa en el uso de muestreadores pasivos. Éstos son dispositivos portátiles y de bajo costo, que son muy adecuados para determinar concentraciones de línea base, así como para evaluar exposiciones personales y ambientales en tiempos que van de un día a dos semanas, o inclusive hasta un año, en función del proyecto y los objetivos de medición de que se trate (SINAICA, 2010).

La medición simplificada se basa en una estrategia de saturación utilizando los muestreadores pasivos, los cuales colectan un contaminante específico por medio de su adsorción y/o absorción en un sustrato químico seleccionado, el cual es analizado posteriormente para conocer su concentración (Garcés, 2015).

Este método se sugiere para estimar o comprobar la distribución de la concentración de un contaminante, para verificar la precisión del modelo de simulación y para su uso en zonas donde las condiciones ambientales a lo largo del año no presenten grandes variaciones y su topografía sea relativamente llana. Los contaminantes estimados con esta técnica son: NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, VOCs y O<sub>3</sub> (SINAICA, 2010).

### *3.10.3 Simulación*

Para estimar la distribución de las concentraciones de los contaminantes con este método, es necesario contar como mínimo, con el inventario de emisiones y con la información meteorológica del lugar (dirección y velocidad del viento, así como los parámetros relacionados con la estabilidad atmosférica) (Moreno, 2021).

Esta metodología consiste en dividir la zona de estudio en cuadrículas de igual tamaño. Los datos meteorológicos y los de las fuentes de emisión son procesados y acondicionados al formato de entrada requerido por el modelo. Estas funciones son desempeñadas por el procesador meteorológico y el procesador de fuentes de emisión (SINAICA, 2010).

#### *3.10.4 Muestreo a juicio*

En el muestreo a juicio, un experto conocedor del sitio o del proceso designa dónde y cuándo se deben tomar las muestras. Este tipo de muestreo deberá considerarse cuando los objetivos del estudio no sean de naturaleza estadística, por ejemplo, cuando el objetivo sea estudiar contaminantes de fuentes de emisión específicas, cuando el estudio se enfoque a recolectar muestras de alguna localidad previamente seleccionada o cuando se conozcan las fuentes de emisión y los sitios receptores, ajustados por medio de modelos de dispersión. Este método también se conoce como método orientado a fuentes. Generalmente este muestreo se aplica en la recolección de muestras individuales. Cuando se utiliza en muestreos de saturación puede llevar a conclusiones erróneas (SINAICA, 2010).

### **3.11 Sensores**

Un sensor es un dispositivo analítico capaz de detectar determinadas especies químicas de manera continua y reversible, el cual consta de un transductor acoplado a una fase de reconocimiento o químicamente selectiva. En la zona de reconocimiento del sensor, la información química se transforma en una forma de energía medible por el transductor. Este dispositivo es capaz de transformar la energía que lleva la información química de la muestra en una señal analítica utilizable. Considerando el origen de la información química que se genera en el sensor y las características del transductor que lo conforma, es posible establecer una clasificación de los sensores químicos en electroquímicos, piezoeléctricos y ópticos (Escalona et al., 2012).

#### *3.11.1 Sensores electroquímicos*

Los sensores electroquímicos se clasifican en potenciométricos, voltimétricos y conductimétricos. El mecanismo de funcionamiento depende principalmente del principio físico que lo gobierna de acuerdo con su clasificación, presentándose algunas semejanzas en lo que respecta a la señal medida (Escalona et al., 2012).

Los sensores potenciométricos obtienen su información útil de una relación explícita entre el potencial de un electrodo indicador o contador y la concentración de la especie de interés (que puede ser vapor o líquido) (Escalona et al., 2012).

Los sensores voltimétricos se basan en la medición de la relación corriente-voltaje, donde se aplica un potencial al sensor y se mide una corriente proporcional a la especie electroactiva de interés; un caso especial de este tipo de sensor es el amperométrico, en el cual el voltaje aplicado se mantiene constante. Este tipo de sensores funciona al reaccionar con el compuesto que se desea determinar (en este caso gas) produciendo una señal eléctrica proporcional a la concentración de gas (Escalona et al., 2012).

Finalmente, los sensores conductimétricos están relacionados con la medición de la conductividad a una serie de frecuencias. Dependen de los cambios de la conductividad eléctrica de una capa o la mayor parte de un material, ocasionados por la presencia del compuesto de interés (Hernández y Ramírez, 2021).

### 3.11.2 Sensor MQ-7

Es un sensor para la detección de CO para medir la concentración de este gas en el aire. El MQ-7 puede medir concentraciones de CO entre 20 a 2000 partes por millón (ppm). La presentación del sensor es en un módulo que contiene toda la electrónica necesaria para el funcionamiento del sensor. Posee una alta sensibilidad y rápido tiempo de respuesta, es muy fácil además realizar la interfaz del sensor con un microcontrolador, es posible usar un pin de entrada analógico para medir la concentración del gas. Las conexiones que requiere el sensor son muy básicas solo requiere alimentación de 5V para el elemento calefactor (Toledo y Garcia, 2020).



Figura 2. Sensor MQ-7 para medición de CO (Nova Becerra, 2018).

### 3.11.5 Especificaciones técnicas del sensor MQ-7

De acuerdo con Nova Becerra (2018) las especificaciones técnicas del sensor MQ-7 son las siguientes:

- Voltaje de Operación: 5V DC
- Voltaje de Calentamiento: 5V (alto) y 1.4V (bajo)
- Resistencia de carga: regulable
- Resistencia de calentamiento: 33 Ohm
- Tiempo de Calentamiento: 60s (alto) 90s (bajo)
- Consumo de Resistencia: aprox. 350mW
- Concentración de Oxígeno: 21%

### 3.12 Sistemas de Información Geográfica

El término SIG, que en la actualidad está ampliamente difundido tanto en la geografía como en otras ciencias, en especial en aquellas vinculadas con la planificación territorial y la resolución de problemas socioeconómicos y ambientales, es de compleja definición habida cuenta de sus capacidades técnicas y analíticas y su carácter multipropósito (Lara et al., 2006).

Un SIG se define como un sistema de información diseñada para trabajar con datos referenciados mediante coordenadas espaciales o geográficas, es decir, es tanto un sistema de base de datos con capacidades específicas como un conjunto de operaciones para trabajar con estos datos. Actualmente un SIG debe fundamentarse sobre todo concepto de sistema como elemento integrador que engloba a un conjunto de componentes interrelacionados (Martínez, 2019).

Los SIG produjeron una revolución tecnológica, pero principalmente producen, en la actualidad, una notable revolución intelectual. Esta revolución intelectual se centra en el espacio geográfico, ya que toda aplicación realizada mediante el uso de los SIG se basa en cinco conceptos fundamentales de neta naturaleza espacial: localización, distribución, asociación, interacción y evolución espacial. Estos conceptos brindan un hilo conductor para el desarrollo y la aparición de nuevos campos de conocimiento que se perfilan en lo que podría denominarse una nueva geografía aplicada (Buzai, 2012).

Los usos más característicos asociados a un SIG son aquellos que sacan partido de la forma en que este maneja las distintas capas de información, catalogando a los SIG como herramientas que van a permitir una mejor formulación de las cuestiones geográficas, y que del mismo modo

van a ayudar en la búsqueda de respuestas a estas. Los SIG tienen un uso principal asociado al análisis espacial y este tipo de análisis se desglosa en los siguientes tipos:

- Consulta espacial
- Análisis topológico
- Medición
- Combinación
- Transformaciones
- Análisis de superficies
- Estadística descriptiva
- Inferencia
- Toma de decisiones y optimización
- Modelización (Ariza y Ramos, 2021).

### **3.13 Acuerdos internacionales sobre contaminación atmosférica**

La preocupación social e institucional por los problemas ambientales ha aumentado desde los años 60 del pasado siglo XX. Los problemas de contaminación, sus implicaciones en la salud humana, la extinción de especies de plantas y animales, y la degradación del medio ambiente han puesto al desnudo las estrechas y complicadas relaciones entre el ser humano y la naturaleza. Motivadas y obligadas por el deterioro ambiental y las afectaciones en la salud de las personas, las instituciones trataron de enfrentar y dar respuesta a dichos problemas, sin embargo, su principal dificultad fue comprender totalmente el medio ambiente, esta falta de comprensión también afecta la gestión ambiental del cambio climático, la cual debe superar, la dificultad de validar la propuesta teórica que explica el aumento precipitado de la temperatura promedio en el planeta por causas humanas; la complejidad en la estimación de las consecuencias del cambio climático y la falta de recursos económicos para poner en práctica una política ambiental eficaz que permita hacer frente a este problema de alcance mundial (Magaña et al., 2004).

Dos de las Cumbres Internacionales más significativas desde el punto de vista de la conservación del ambiente han marcado hitos importantes y representan un punto de partida para el análisis de políticas, instituciones, leyes y el estado de los recursos naturales y el ambiente. Se trata de la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente Humano celebrada en Estocolmo en 1972 y la Conferencia de las Naciones Unidas Sobre Medio Ambiente y Desarrollo, efectuada en Río de Janeiro en 1992. Ambas Cumbres, las cuales presentan diferencias relevantes, reunieron



un impresionante número de jefes de Estado y Dignatarios y concluyeron con acuerdos, declaraciones y planes de acción dirigidos a la protección del medio y a afianzar el concepto de desarrollo sostenible (Medaglia, 2003).

### *3.13.1 Declaración de Estocolmo*

La valoración de la naturaleza inició cuando se percibieron afectaciones a la salud generadas por el deterioro ambiental, de la preocupación por el deterioro ambiental emanó “La declaración de Estocolmo” considerada como la primera ley internacional en materia ambiental, redactada por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el medio ambiente en 1972, en este documento se exhorta a los países a seguir recomendaciones y principios con el objetivo principal de conservar y mejorar el ambiente; también se definen acciones comunes que sirven como marco de referencia a fin de lograr un desarrollo económico y social que proteja el medio ambiente; sus postulados promueven el uso de las capacidades del hombre para mejorar el medio ambiente, utilizar y transformar los recursos naturales prudentemente, aceptar la responsabilidad de hacer uso de esos recursos y sus consecuencias (Cruz et al., 2013).

La Conferencia de Estocolmo tuvo dos importantes resultados: la Declaración de Estocolmo sobre Medio Ambiente Humano, un conjunto de principios y postulados no vinculantes, pero los cuales causaron un impacto importante en cuanto a su efecto concientizador y propulsor de modificaciones e instituciones en América Latina y Caribe; y el Plan de Acción para el Ambiente Humano, 109 recomendaciones específicas sobre puntos concretos de acción. Ambas fueron adoptadas por la Asamblea General de Naciones Unidas por medio de la Resolución 2994 del 15 de diciembre de 1972 (Medaglia, 2003).

### *3.13.2 Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*

En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, celebrada en Río de Janeiro en 1992, la comunidad internacional abordó el reto de articular un modelo de desarrollo global que, sin restar independencia a las decisiones nacionales, fuera capaz de trazar parámetros comunes para asegurar, juntamente con el desarrollo económico, el bienestar social y ambiental de la humanidad. Durante ese foro, se planteó el desarrollo sustentable como la única estrategia a seguir para asegurar un desarrollo ambientalmente adecuado y de largo plazo (ONU, 1992).

En la Conferencia de Río de 1992, para solucionar los problemas derivados de los excesos del modelo de consumo y de producción, se confió en que la ciencia y las nuevas tecnologías podrían

aportar desde la eficiencia energética un remedio a la sobreexplotación: se confiaba en que con menos recursos se produjeran más bienes y con un menor coste energético. Esta esperanza, sin embargo, se vio traicionada por la demanda insaciable de más y nuevos productos de consumo y energía (ONU, 1992).

### *3.13.3 Convenio de Viena para la protección de la Capa de Ozono*

Celebrado en 1985, y contando en un inicio con tan sólo las ratificaciones de 20 países del total de los miembros que conforman la Organización de las Naciones Unidas. Éste es un importante precedente dentro del Derecho Ambiental ya que se trata del primer convenio internacional encaminado a hacer frente a un problema ambiental que afectaba a todo el mundo; es importante señalar que este Convenio fue creado por solicitud del Consejo de Administración de la Organización de las Naciones Unidas, el cual se encargó de conformar un grupo de trabajo cuyo deber era preparar un convenio marco para proteger la capa de ozono, dicho grupo de trabajo fue establecido en 1981, es decir cuatro años antes de que se realicen los primeros estudios científicos que demostraran la afectación de la capa de ozono. El Convenio de Viena establece ciertos deberes para las naciones, entre ellos está el de realizar investigaciones, evaluaciones y observaciones de carácter científico, por un lado, sobre el impacto de las actividades humanas en la capa de ozono y por otro lado sobre los efectos que causa esta afectación de la capa de ozono; otro de los deberes es el de informar sobre los resultados obtenidos en estos estudios. Los Estados miembros además se comprometen, a través de este instrumento, a cooperar en el ámbito jurídico con la adopción de medidas legislativas (Paredes, 2013).

### *3.13.4 Protocolo de Montreal*

El 16 de septiembre de 1987, veinticuatro países firman el Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono, es el resultado de grandes esfuerzos de parte de las naciones por crear un tratado con obligaciones vinculantes, y entra en vigor el 1º de enero de 1989. El Protocolo de Montreal, al 15 de abril de 2010, tiene 196 partes. Es a través de este cuerpo legal mediante el cual se hace operativo el Convenio de Viena. El objetivo del Protocolo es establecer los mecanismos que los signatarios del Convenio de Viena debían implementar, para limitar la producción y el Consumo de las Sustancias que Agotan la Capa de Ozono, con mayor importancia, desde el punto de vista comercial y ambiental (Espinoza, 2011).

### *3.13.5 Respuesta internacional ante el Cambio Climático. Protocolo de Kioto*

La respuesta internacional ante el reto del cambio climático se ha materializado en dos instrumentos jurídicos: la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

adoptada en 1992 y que entró en vigor en 1994; y el Protocolo de Kioto que desarrolla y dota de contenido concreto las prescripciones genéricas de la Convención. El Protocolo de Kioto, adoptado en 1997, establece, por primera vez, objetivos de reducción de emisiones netas de gases de efecto invernadero para los principales países desarrollados y con economías en transición (Salvia, 2005).

En virtud del artículo 3.1 del Protocolo, los países desarrollados y los países en proceso de transición a una economía de mercado, esto es, las partes incluidas en el Anexo I de la Convención asumen el compromiso de reducir, individual o conjuntamente, durante el quinquenio 2008-2012, al menos, un 5% de sus emisiones antropogénicas de los seis gases objeto de control. Los seis gases de efecto invernadero que regula el Protocolo de Kioto, recogidos en su Anexo A, son los siguientes: CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, los hidrofluorocarbonos (HFC), los perfluorocarbonos (PFC) y el hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>). El año de referencia es 1990 excepto para los gases fluorados (HFC, PFC y SF<sub>6</sub>) para los que se permite utilizar 1995 como año base. Para lograr este objetivo, y de acuerdo con el principio de responsabilidades comunes y diferenciadas, a cada país desarrollado se le asigna una cuota de reducción. De este modo se asignaron a Estados Unidos -7 %, a Japón - 6% y a la Unión Europea -8% (Salvia, 2005).

### *3.13.6 Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático o Panel Intergubernamental del Cambio Climático, conocido por el acrónimo en inglés IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), se estableció en el año 1988 por la Organización Meteorológica Mundial (WMO, World Meteorological Organization) y el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (UNEP, United Nations Environment Programme). En 1990, el IPCC concluyó después de su primera reunión que de seguir con el ritmo actual de emisiones de gases de efecto invernadero, cabría esperar un aumento de 0.3 °C por decenio durante el próximo siglo (mayor que el producido durante los últimos 10000 años) (Mercado, 2012).

El IPCC analiza la información científica, técnica y socioeconómica relevante para la comprensión de los elementos científicos relativos al cambio climático de origen antropogénico, así como sus posibles repercusiones, riesgos y sus posibilidades de atenuación y de adaptación al mismo. El IPCC no realiza investigaciones ni controla datos relativos al clima u otros parámetros pertinentes, sino que basa su evaluación principalmente en la literatura científica y técnica revisada por homólogos y publicada. Una de las principales funciones del IPCC es publicar informes en los temas relevantes para aplicar medidas en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el

Cambio Climático (UNFCCC). El UNFCCC es un tratado internacional que reconoce las posibilidades de daño en el cambio climático; las medidas del UNFCCC conducen, eventualmente, al Protocolo de Kioto. El IPCC basa sus valoraciones principalmente en publicaciones con revisión por pares (Mercado, 2012).

## **4. MARCO REFERENCIAL**

### **4.1 Antecedentes**

A continuación, se plantean algunos de los métodos de monitoreo utilizados por diversos autores para medir y monitorear contaminantes atmosféricos.

Cabe mencionar que Caicedo et al. (2013) implementaron un instrumento de medición de CO en Colombia, para que el usuario pueda ser advertido de la pureza o impureza del aire en el entorno en el que se encuentra. Dicho instrumento permite visualizar el porcentaje de CO presente en el aire, además de un semáforo donde el verde indica que el aire es limpio, amarillo aire impuro y rojo peligro de intoxicación, y finalmente una alarma que indica que el aire no es apto para el ser humano.

Además, Mendoza (2019) realizó la medición de amoníaco, sulfuro de hidrógeno y CO producidos por cerdos en una granja en el estado de Querétaro, México. Para ello, instaló un medidor de gases que permitió medir tres gases simultáneos con resolución de 1 ppm para cada gas, durante un periodo de tiempo de 10 minutos para cada medición. El CO fue el gas con mayor concentración con 82.5 ppm.

Otro aporte fue el realizado por Chingal y Narváz (2015). Ellos desarrollaron un prototipo para la medición y registro en tiempo real de la concentración de gases contaminantes y niveles de ruido en la población de Colombia. Utilizaron un método de muestreo automático. Para ello, se caracterizaron los gases, se utilizó la plataforma Arduino y una serie de sensores analógicos para cada tipo de contaminante. El software procesa y almacena la información obtenida del hardware a través del internet. Además, el sistema utilizado geolocalizaba los puntos de medición a través de GPS. Este monitoreo permitió observar que la emisión de CO<sub>2</sub> se incrementaba con la afluencia de personas, mientras que la concentración de CO se veía incrementada por el aumento del tránsito vehicular en el área.

Además Vega et al. (2017) diseñaron un sistema de monitoreo remoto de CO. El objetivo del trabajo fue realizar un sistema inalámbrico que reportaba, a un servidor ubicado en la internet, los niveles de concentración de CO de diez sensores ubicados en distintas áreas de un hospital. El sistema detectaba concentraciones entre las 10 a 100 ppm. Utilizaron sensores de tipo electrolítico sólido pues detectan la presencia de CO.

Por otra parte Wonohardjo y Kusuma (2019) crearon un dispositivo capaz de detectar niveles de contaminación por CO usando sensores móviles. Implementaron un sistema integrado de monitoreo y mapeo de contaminación que consta de un sensor, GPS (Sistema de Posicionamiento Global, por sus siglas en inglés), GSM (Sistema Global Para las Comunicaciones Móviles, por sus siglas en inglés), un módulo de visualización, placa Arduino y servidor web. El sistema propuesto podía mostrar los niveles de contaminación en tiempo real. Además, utilizaron dos métodos de muestreo, uno basado en la distancia y el otro en el tiempo, concluyeron que primero es mejor pues posee una distancia de muestreo más regular.

Algunos autores han realizado además estimaciones de las emisiones contaminantes, tal es el caso de Rodríguez et al. (2007) que estimaron a nivel nacional las emisiones de contaminantes durante la temporada de incendios en México, dentro de los cuales se encuentran el CO<sub>2</sub> y CO. Para ello, muestrearon 84 incendios forestales, en todos los estados del país y la Ciudad de México. Para realizar esta estimación utilizaron un modelo que relacionaba la superficie afectada con la carga de combustible o biomasa, el factor de consumo del combustible o la biomasa y un factor de emisión del contaminante. Encontraron que el 98 % de los contaminantes estimados corresponden a compuestos de carbono en el que destaca el CO<sub>2</sub>. Además, se observó que los estados con mayor número de emisiones eran los que tenían más superficie afectada: Chiapas, Oaxaca, Baja California, Campeche y Guerrero, con un 67.7 % de las emisiones estimadas a nivel nacional en 2003. Es importante mencionar que, los autores señalaron que, México estaría aportando 7.6 % de las estimaciones a nivel mundial más conservadoras de CO<sub>2</sub>. Mientras que, en el caso del CO la cifra sería de 1.9 %.

Por otra parte, Lango-Reynoso et al. (2018) identificaron los diferentes tipos de establecimientos urbanos que utilizan biomasa forestal como combustible en la cocción de alimentos cárnicos comerciales como micro fuente de emisiones de GEI a nivel municipal. Estimaron las emisiones anuales de CO<sub>2</sub> producidas en las parrillas de Boca del Río, México, mediante la determinación teórica de un factor de emisión.

Finalmente González y Bohórquez (2016), consideraron el inventario de establecimiento de la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá, el cual luego de un proceso de depuración de información se redujo a 843 establecimientos distribuidos en la ciudad. Los contaminantes considerados para estas fuentes fueron PM menor a 10 micrómetros ( $PM_{10}$ ),  $NO_x$ ,  $SO_2$ , CO y COVs. Las emisiones se calcularon a partir de factores de emisión establecidos por la EPA para la combustión de leña, y para la combustión de carbón vegetal se consultó el estudio de Lee (1999). Para aquellas fuentes que usaban carbón y leña simultáneamente se promediaron los factores de emisión de estos combustibles. Se consideró como factor de actividad el consumo de combustible, y en los casos que se usa carbón también se incluyó como actividad el consumo de carne. Para la distribución temporal de las emisiones se tuvo en cuenta el horario laboral de cada establecimiento, de tal modo que las emisiones fueran ubicadas en los días y horas en que se realiza la preparación de alimentos, y se compararan las emisiones generadas entre semana con las generadas el fin de semana. En cuanto a la distribución temporal, los establecimientos fueron ubicados espacialmente de acuerdo con su dirección, y sus respectivas emisiones fueron localizadas en cada punto dentro de los mapas junto con el fin de identificar visualmente las localidades más afectadas de la ciudad.

Al distribuir las fuentes de emisión del inventario por tipo de comercio identificaron que 434 fuentes (51 %) son restaurantes, 369 (44 %) son asaderos y en menor cantidad se encontraron las ventas ambulantes con 40 establecimientos (5 %); y por tipo de combustible se observó que el carbón es el principal combustible usado en 635 fuentes (75 %), 106 (13 %) usaron leña y 102 (12 %) usaron carbón y leña simultáneamente. Como resultado se obtuvo que el contaminante más emitido por fuentes comerciales y que supera en gran proporción a los demás contaminantes es el CO con 2276.26 t/año, y el contaminante menos emitido corresponde a los  $NO_x$  con 60.44 t/año (González y Bohórquez, 2016).

#### **4.2 Frontera del conocimiento**

En los últimos años se ha determinado que la contaminación atmosférica representó para México un costo ambiental de 619 114 millones de pesos en el 2017, equivalente a 2.8 % del Producto Interno Bruto; lo que pone de manifiesto la necesidad de acciones que permitan conocer los niveles de contaminación, a fin de establecer medidas de mitigación (Salcido et al., 2019).

Los asaderos establecidos y ambulantes, como fuentes micro fijas no se encuentran reguladas y se cree que en conjunto representan una aportación importante de CO. En primera instancia, es

necesario desarrollar algunas propuestas que permitan conocer los niveles de contaminación para posteriormente buscar las regulaciones de estos sitios.

En la Universidad Autónoma de Azcapotzalco, de la Ciudad de México, Vega et al. (2017) diseñaron un sistema inalámbrico que reporte a un servidor ubicado en la Internet los niveles de concentración de CO de diez sensores dispuestos en áreas de un hospital, mencionan que esto puede ser replicado en otro ambiente donde se desee conocer la concentración de CO.

Por otra parte, en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo en Ecuador, Bayas et al. (2019), realizaron un prototipo que tuvo como objetivo recolectar los datos sobre los niveles de CO de una zona determinada en Quevedo, lo hicieron utilizando el servicio de transmisión de datos a través de redes celulares.

#### **4.3 Vacío del conocimiento**

A pesar de que se tienen estos y otros avances en cuanto al análisis de las concentraciones de CO, se tiene muy poca información acerca de la concentración de estos gases en los asaderos ambulantes y establecidos no solo a nivel regional sino también estatal y nacional. No se tienen datos acerca de los valores de las emisiones en estos establecimientos de manera individual y conjunta. Además, se carece de un marco legal municipal, estatal y nacional que incluya las regulaciones pertinentes para el control ambiental de este contaminante.

En general, existe, a nivel regional, poca información acerca de investigaciones acerca del CO, el cual, es necesario controlar y monitorear considerando el daño que representa a la salud.

## **5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **5.1 Situación problemática**

Como se mencionó en la parte introductoria, el CO es un GEI indirecto y tóxico que dentro de su peligrosidad está el producir hipoxia en la sangre. Está directamente asociado a aquellos procesos donde utilizan combustión en sus procesos de producción.

Existen diversas fuentes emisoras de CO de origen antropogénico, dentro de las cuales se dividen en móviles y fijas. Las fuentes móviles son automóviles, motocicletas, camiones, etcétera. Por otra parte, las fuentes fijas, donde destacan la industria y todos aquellos establecimientos que

utilizan combustibles en sus diversos procesos de producción, dentro de lo anterior, destacan los restaurantes que, bien podrían dividirse en aquellos que utilizan gas como combustible y los que utilizan la biomasa.

Los restaurantes que utilizan biomasa como combustible en sus procesos de producción, se distinguen de otros; pues, no están incluidos en los inventarios municipales. Por tanto, la regulación de sus emisiones es deficiente y el nivel de tecnología que utilicen en los procesos de producción depende directamente del nivel socioeconómico.

Estas micro fuentes son insignificantes individualmente, sin embargo, en conjunto causan importantes efectos ambientales, por lo que su evaluación es relevante en relación con el establecimiento de una línea de base para su inclusión en inventarios municipales y el diseño de estrategias específicas de mitigación regulatoria, que sustentan los registros de emisiones y normas reguladoras estatales y nacionales.

Con el crecimiento poblacional, y aunado a la búsqueda constante para satisfacer diversas necesidades que el ser humano requiere, el aumento de la concentración de CO es cada vez mayor, provocando así daños a la salud, contaminación atmosférica y la acidificación del mar.

En algunas áreas urbanas de México, el uso de leña y carbón como combustible para parrillas de carne en establecimientos comerciales ha proliferado debido a factores económicos y culturales. Aunque esta actividad satisface las diversas necesidades humanas, también genera desechos que impactan el medio ambiente a escalas locales y globales (Lango-Reynoso et al., 2018).

La presencia de estos y otros contaminantes más conocidos como gases de efecto invernadero han contribuido al Cambio Climático.

A continuación, la Figura 3 muestra un resumen de la situación problemática anteriormente descrita.



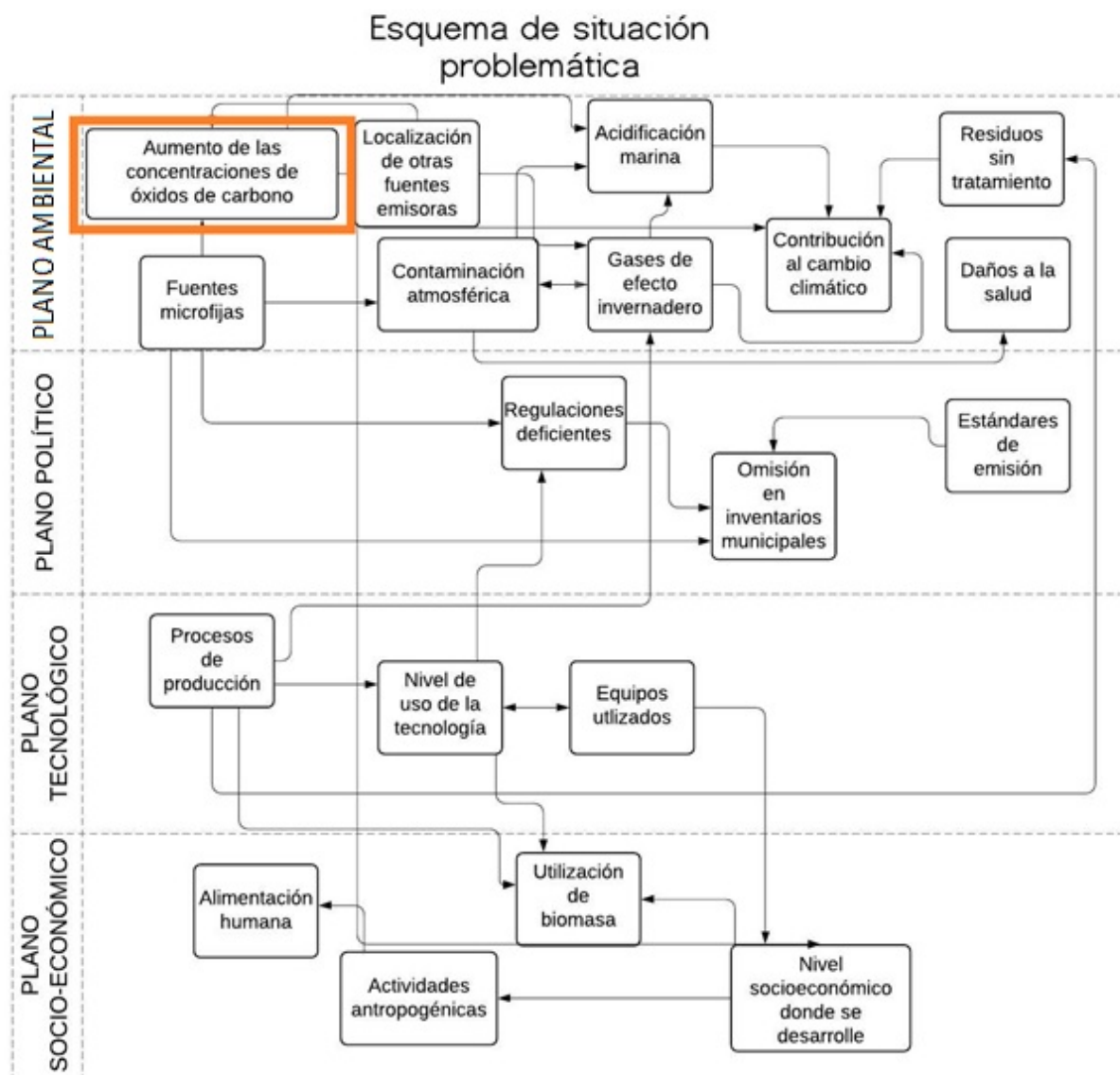


Figura 3. Situación problemática del CO producido por asaderos en Boca del Río, México.

## 5.2 Planteamiento del problema de investigación

Las fuentes emisoras de CO son los asaderos, estas fuentes se distinguen de otras porque sus emisiones no están reguladas por los inventarios nacionales, estatales o municipales. Por ello, el aumento de la concentración de CO no está monitoreado por ningún organismo ambiental que pueda determinar en conjunto el impacto que tienen en el medio ambiente. Además, no existe información a nivel regional de las emisiones de CO que estas micro fuentes aportan en el municipio de Boca del Río.

Se consideró que estas micro fuentes no representan un daño significativo individualmente, sin embargo, el número de emisiones de CO podría verse afectado por todos los asaderos localizados en el municipio y por la tecnología de operación de los equipos. Se requiere conocer si el aporte de CO de los asaderos es significativo y la forma en cómo se dispersa.

Con lo anterior, surge la siguiente pregunta de investigación:

### **5.3 Pregunta de investigación**

¿Cómo es la producción y dispersión de monóxido de carbono producido por los asaderos en Boca del Río, México?

### **5.4 Justificación**

La realización de este proyecto permitió conocer la dispersión de CO que aportan los asaderos de la zona de Boca del Río y que contribuye directamente a la contaminación atmosférica, Cambio Climático y acidificación de los mares y su relación con la producción de los establecimientos a fin de determinar si representan un peligro potencial para el municipio. Este trabajo dio continuidad al de Lango-Reynoso et al. (2018), quienes realizaron estimaciones de las emisiones de CO<sub>2</sub> en 30 parrillas comerciales en la zona de Boca del Río. Conocer la tendencia y/o dispersión de este contaminante podrá servir como precedente para establecer acciones que permitan regular los asaderos como fuentes de emisión y así mitigar los efectos que este contaminante representa para el ambiente y la salud humana (Salcido et al., 2019).

## **6. HIPÓTESIS**

La producción y dispersión de monóxido de carbono (CO) en Boca del Río está relacionada con el número de asaderos funcionando en la zona de estudio.

## **7. OBJETIVOS**

### **7.1 Objetivo general**

Analizar la producción y dispersión de CO producida por el funcionamiento de los asaderos en el municipio de Boca del Río, México.

## **7.2. Objetivos particulares**

- Identificar los asaderos ambulantes y establecidos en el municipio de Boca del Río, Ver.
- Determinar las emisiones de CO en asaderos.
- Establecer la relación que existe entre la producción de CO y el funcionamiento de los asaderos.
- Analizar la dispersión de CO utilizando un SIG.

## **8. MATERIALES Y MÉTODOS**

Este trabajo de investigación se realizó en cuatro etapas que son la identificación de los asaderos ambulantes y establecidos, la determinación de las emisiones de CO en asaderos y la relación que existe entre las emisiones de CO y el funcionamiento de los asaderos. Es importante mencionar que, las emisiones de estos establecimientos no se encuentran regulados por ningún organismo ambiental que pudiese determinar el impacto que tienen en el ambiente.

### **8.1 Lugar de estudio**

El presente proyecto se llevó a cabo en el municipio de Boca del Río, Veracruz, México. Se localiza en la zona centro costera del estado, en las coordenadas 19° 07' latitud norte y 96° 06' longitud oeste, a una altura de 10 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte y noroeste con el municipio de Veracruz, al este con el Golfo de México, al sureste con el municipio de Alvarado, al sur con el de Medellín. Tiene una superficie de 37.24 Km<sup>2</sup>, cifra que representa un 0.06% del total del estado. Su clima es cálido-regular con una temperatura promedio de 25 °C; su precipitación pluvial media anual es de 1 694 mm (CEIEG, 2016).

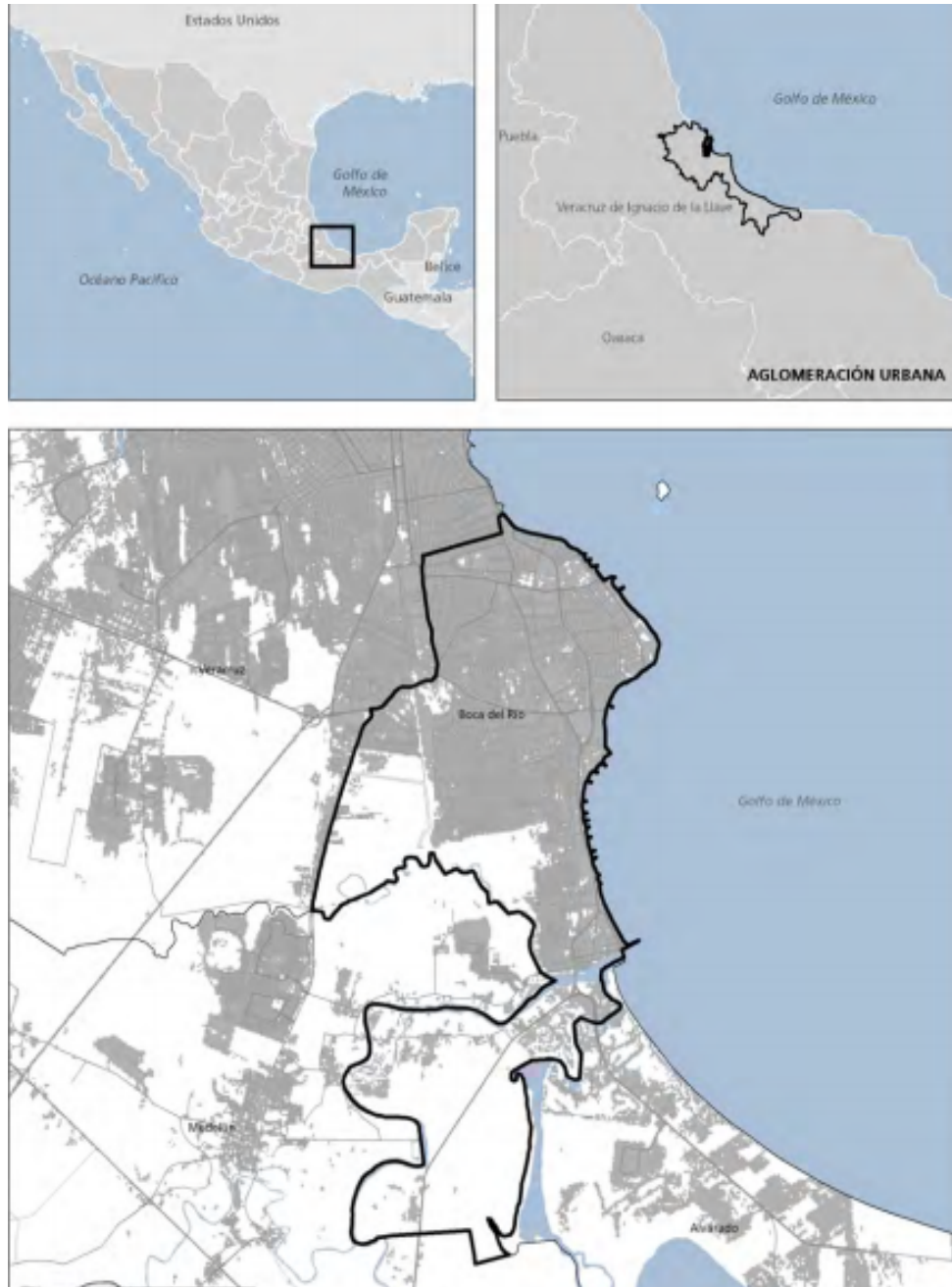


Figura 4. Mapa de macrolocalización del municipio de Boca del Río, Veracruz, México (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2015).

## 8.2 Identificación de los asaderos ambulantes y establecidos

Para la identificación de los asaderos ambulantes y establecidos se llevaron a cabo recorridos en automóvil a una velocidad moderada y a pie en el municipio de Boca del Río, Ver. en los meses de noviembre 2020 a enero 2021.

Durante los recorridos, se obtuvieron las coordenadas geográficas de cada asadero con la aplicación para dispositivos móviles Map Marker versión 2.19. En esta aplicación se crearon dos carpetas, una que correspondía a los asaderos establecidos y otra para asaderos ambulantes (Figura 5).



Figura 5. Asaderos ubicados en Map Marker 2.19

Terminado el recorrido, se exportaron las coordenadas de cada asadero en un archivo de Microsoft® Excel (ver Apéndice A). Finalmente se utilizó la plataforma QGis® para importar la base de datos de Excel y geolocalizar los asaderos en un mapa de Boca del Río. Se localizaron 48 asaderos en el municipio; donde 41 corresponden a asaderos establecidos y siete a asaderos ambulantes (Figura 6).

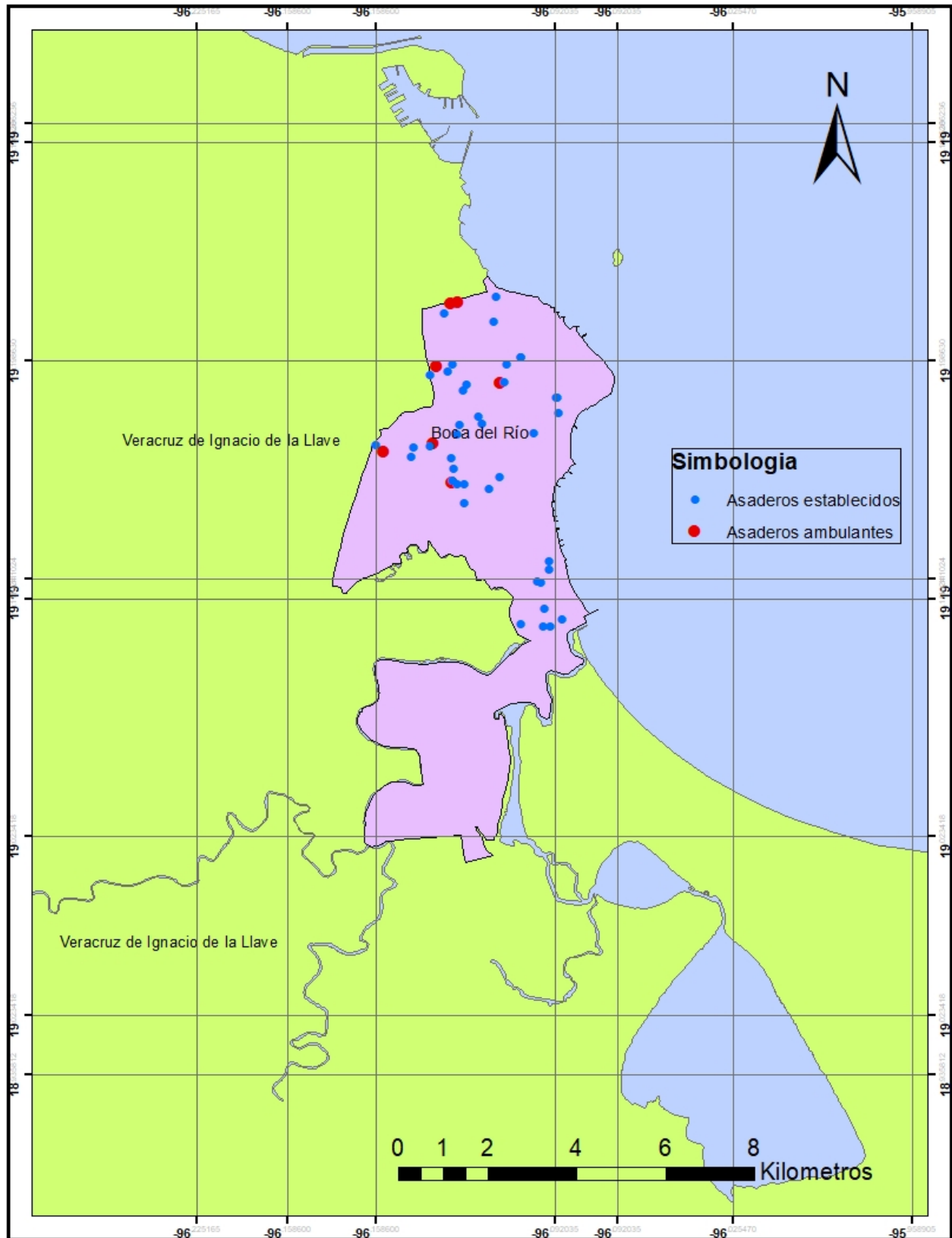


Figura 6. Localización de los asaderos en Boca del Río, Ver., México.



### **8.3 Determinación de las emisiones de CO en asaderos**

Para determinar las emisiones de este contaminante se consideraron los manuales del Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA). Se utilizó el método automático con un dispositivo de monitoreo de CO, diseñado en el Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA), a una altura de dos metros (Figura 7). Este método permite la obtención de las emisiones del contaminante de manera continua en determinado tiempo. Este dispositivo utiliza un sensor MQ-7, fue construido por los M.C. Inclán Barragán, Toledo Barrios y Amaya Fernández en el ITBOCA. Se conecta a una computadora a través de un cable Ethernet, los datos obtenidos se almacenan, de manera automática, cada 2.5 minutos en un archivo de Excel.

### **8.4 Relación entre la dispersión de CO y el funcionamiento de los asaderos**

Para determinar si existe una relación entre la dispersión de CO con el funcionamiento de los asaderos y la eficiencia de los equipos implementados se llevó a cabo el análisis estadístico de los datos utilizando el software Minitab® versión 18.

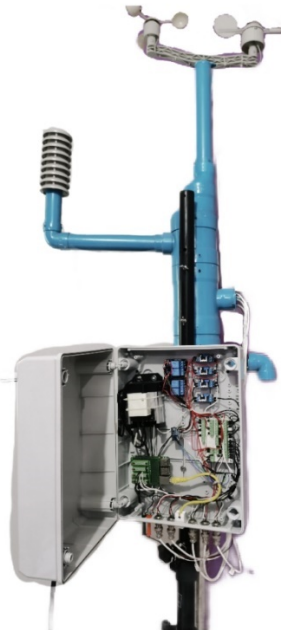


Figura 7. Dispositivo de medición de CO, diseñado en el Instituto Tecnológico de Boca del Río.

### **8.5 Diseño experimental**

La escala de representatividad es micro, de acuerdo con el SINAICA (2010), pues entre más pequeña sea la distancia de la fuente puntual de contaminación al equipo de monitoreo, más

específico y limitado será el objetivo de la medición. Por lo que el dispositivo de medición se colocó a una distancia de entre 10 a 100 m de los asaderos.

Se utilizó como técnica de muestreo, el muestreo no probabilístico a juicio o por asignación, debido a que previamente se localizaron los asaderos ambulantes y establecidos en el municipio que correspondían a 48 sitios donde se realizó la medición.

Para la obtención de datos, se consideró lo especificado por el SINAICA (2010), donde, menciona que se deben obtener al menos tres datos por cada hora en cada punto de muestreo. Tomando en cuenta que el equipo realiza una medición cada 2.5 minutos, se obtuvieron 24 datos / hora por cada punto de muestreo de los cuales se utilizaron seis mediciones con un intervalo de diez minutos entre cada uno (Figura 8). Se realizaron dos repeticiones una entre semana y otra en fin de semana. Es decir, se obtuvieron 288 datos / repetición considerando los 48 asaderos localizados (ver Apéndices B y C).



Figura 8. Selección de datos muestreados en una hora.

### 8.6 Captura de los datos

Los datos de las emisiones atmosféricas del contaminante fueron obtenidos según la metodología para la medición de la calidad del aire basada en los manuales del Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA). Se realizó mediante un dispositivo de monitoreo de calidad del aire utilizando el sensor MQ-7, este equipo trabaja con el método automático, el cual contempla la toma de datos de forma continua determinando la contaminación de CO en la atmósfera. Se realizó el muestreo en fin de semana y entre semana. Los datos fueron almacenados en una memoria SD para posteriormente importarlos como una hoja de Microsoft® Excel y realizar su análisis con el software Minitab® versión 18.

## 8.7 Análisis estadístico de los datos

Para el análisis estadístico se realizaron las siguientes pruebas estadísticas:

- Una prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov con un nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ . (si el valor p es menor o igual que  $\alpha$  se rechaza la hipótesis nula por lo que los datos no siguen una distribución normal, pero si el valor p es mayor que  $\alpha$  los datos presentan una distribución normal, es decir, se acepta la hipótesis nula).
- Gráfica de cajas para conocer la distribución de la muestra, la variabilidad de los datos y la identificación de posibles valores atípicos.
- Si la distribución de los datos fuese normal, se utiliza una prueba t student para 2 muestras independientes con 95 % como intervalo de confianza para comparar la concentración de CO en días donde aumentó el número de asaderos (fin de semana) respecto a días donde disminuyó (entre semana), por el contrario, si no existe una distribución normal, se utiliza una prueba no paramétrica U de Mann-Whitney para dos muestras independientes con 95 % como nivel de confianza.

## 8.8 Dispersión de CO mediante SIG

Finalmente, se llevó a cabo con el software libre QGis® el análisis de la dispersión del contaminante en el municipio de Boca del Río donde se obtuvieron los mapas de las Figuras 14 y 15. Para ello, se obtuvo la concentración media de los puntos seleccionados durante una hora en cada asadero tanto entre semana como en fin de semana y se generaron dos tablas de datos que incluía las coordenadas geográficas de cada punto y la concentración media (ver Apéndices D y E).

Posteriormente, se exportó una capa vectorial del municipio de Boca del Río para después ubicar los asaderos y su concentración media. Por último, con los valores conocidos de la concentración media en cada asadero tanto en fin de semana como entre semana, se realizó una interpolación IDW (Ponderación de Distancia Inversa) y se estimaron los valores de concentración de CO en aquellos puntos donde no había asaderos y se obtuvo la dispersión de CO en todo el municipio de Boca del Río. Se identificó con color verde los valores mínimos y con rojo los valores máximos y en la transición de un color a otro se identificaron los valores medios.

## 9. RESULTADOS

En la Figura 9 se muestra la distribución de frecuencia de la concentración entre semana, se obtuvieron valores entre el rango de 1.25 a 11.75 ppm. La clase con mayor frecuencia fue de 3.25 a 3.75 ppm con 95 datos. Por otra parte, en la Figura 10 se muestra la distribución de frecuencia de la concentración en fin de semana, se obtuvieron valores de 4.5 a 19.5 ppm. La clase con mayor frecuencia fue de 7.5 a 8.5 ppm con 80 datos.

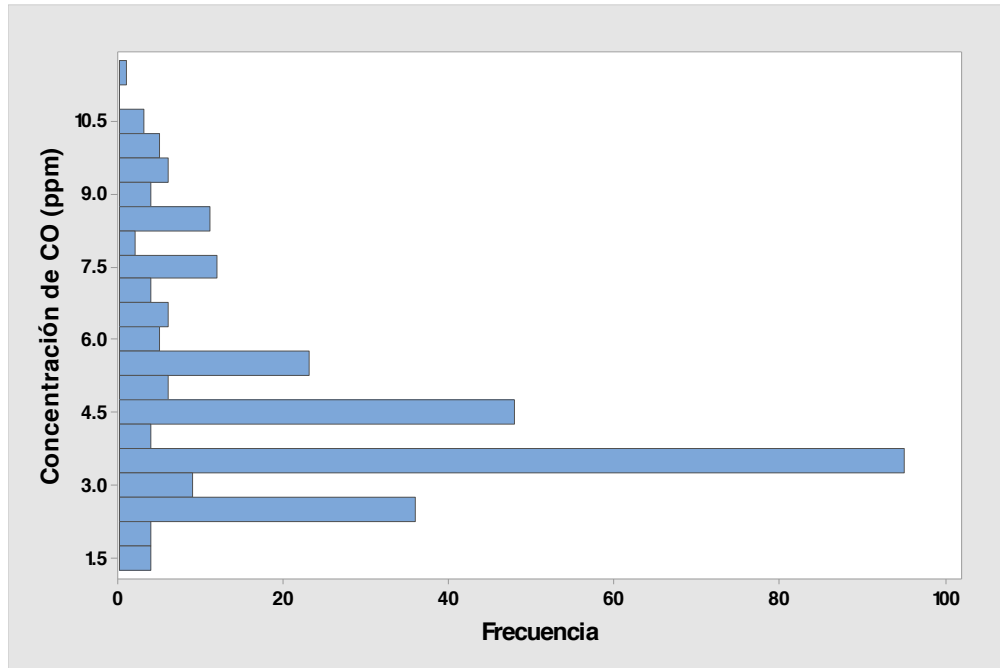


Figura 9. Distribución de frecuencia de la concentración de CO de los asaderos que trabajan entre semana en el municipio de Boca del Río. Ver.

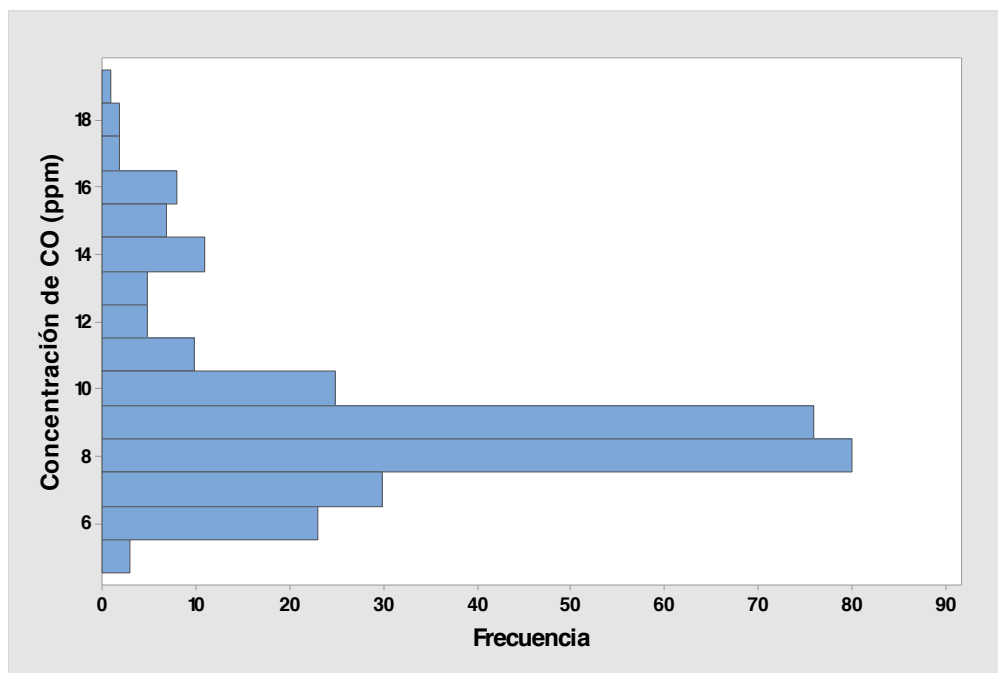


Figura 10. Distribución de frecuencia de la concentración de los asaderos que trabajan en fin de semana, en el municipio de Boca del Río, Ver.

### 9.1. Prueba de Kolmogorov-Smirnov

Se realizó la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov para la concentración de CO entre semana y en fin de semana con un  $\alpha = 0.05$ . En la Figura 11 se observa que el conjunto de datos no sigue una distribución normal. Se verificó lo anterior pues se obtuvo un valor p menor a 0.010, por lo que se rechaza la hipótesis nula, lo que indica que los valores de la concentración de CO entre semana no siguen una distribución normal (Cuadro 9). Por otra parte, en la Figura 12 se observa que los datos obtenidos en fin de semana no siguen una distribución normal. Se obtuvo además un valor p menor a 0.010, al ser un valor inferior al nivel de significancia se rechaza la hipótesis nula, lo que comprueba que la concentración en fin de semana no sigue una distribución normal (Cuadro 9).

Cuadro 9. Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov

	Media	Desv. Est.	N	KS	Valor p
Entre semana	4.497	2.127	288	0.199	<0.010
Fin de semana	9.217	2.562	288	0.203	<0.010

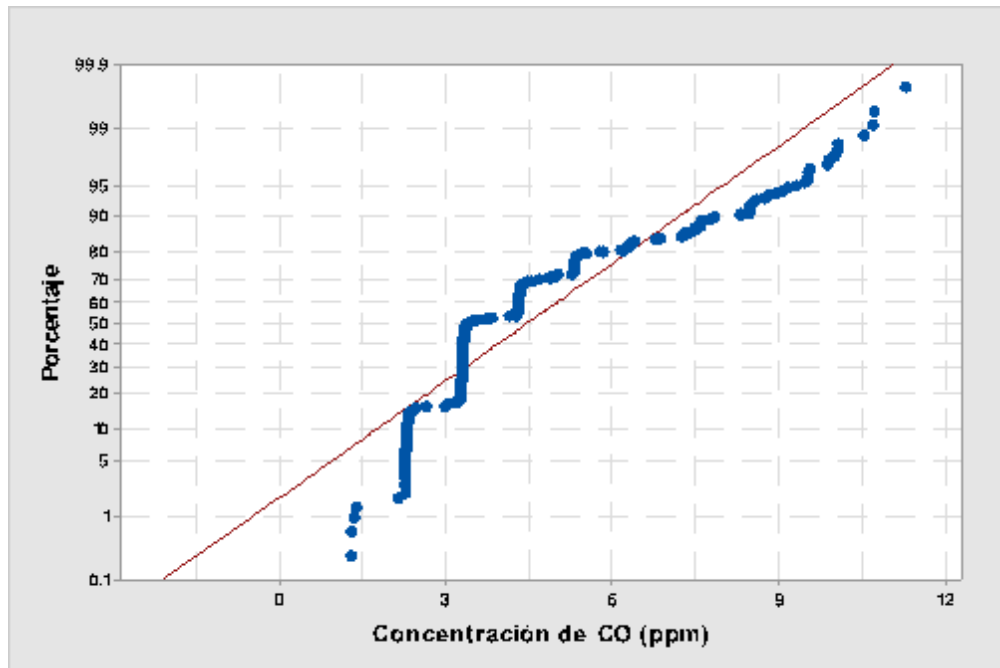


Figura 11. Gráfica de normalidad de la concentración de CO en asaderos que trabajan entre semana, en el municipio de Boca del Río, Ver.

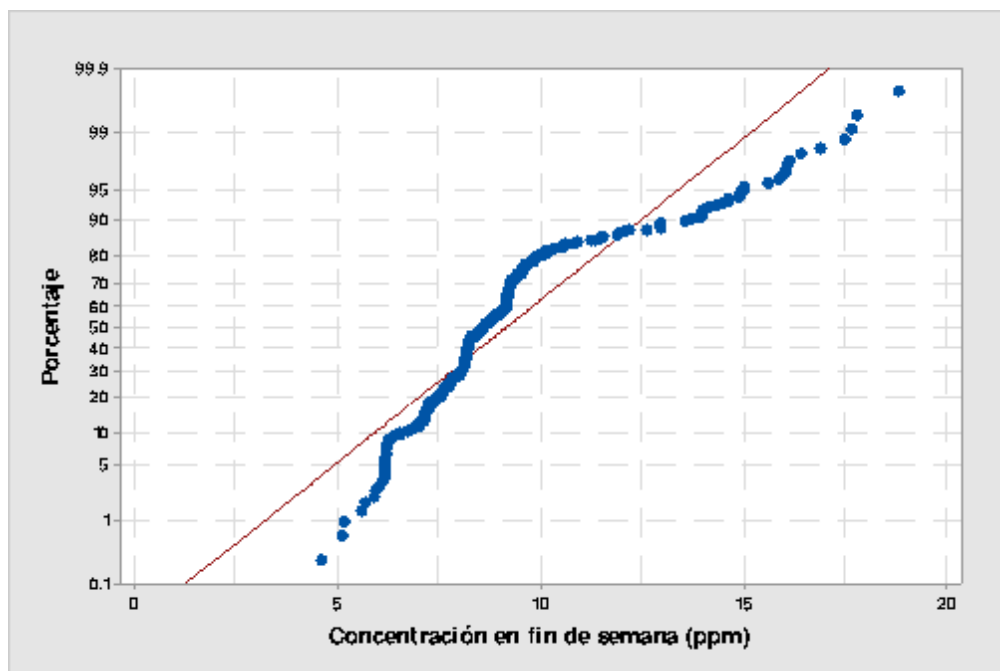


Figura 12. Gráfica de normalidad de la concentración de CO en asaderos que trabajan en fin de semana, en el municipio de Boca del Río, Ver.

## 9.2 Gráfica de cajas

Se obtuvo una gráfica de cajas para cada tratamiento identificado como temporalidad de trabajo y se agruparon por el tipo de asadero. Se encontraron medianas simétricas para los asaderos ambulantes entre semana y en fin de semana, donde además en ambos casos se ubicaron las mayores concentraciones de CO en comparación con los asaderos establecidos. Las mayores concentraciones corresponden a los asaderos ambulantes en fin de semana. En los asaderos ambulantes entre semana el 25 % de los datos ( $Q_1$ ) se encuentra debajo de las 7.57351 ppm, la mediana ( $Q_2$ ) tuvo un valor de 8.5543 ppm y el 75% de los datos ( $Q_3$ ) se encontró debajo de las 9.52868 ppm. También, los asaderos establecidos entre semana tuvieron valores  $Q_1, Q_2$  y  $Q_3$  de 3.26531, 3.30768 y 4.3148 ppm, respectivamente.

Por otra parte, los asaderos ambulantes en fin de semana tuvieron un valor de  $Q_1$  de 12.9626 ppm,  $Q_2$  de 14.3815 ppm y  $Q_3$  de 15.9594 ppm. Finalmente, para los asaderos establecidos en fin de semana los valores  $Q_1, Q_2$  y  $Q_3$  de 7.6003 ppm, 8.25124 ppm y 9.17958 ppm, respectivamente.

No se encontraron valores atípicos en los grupos y tratamientos.

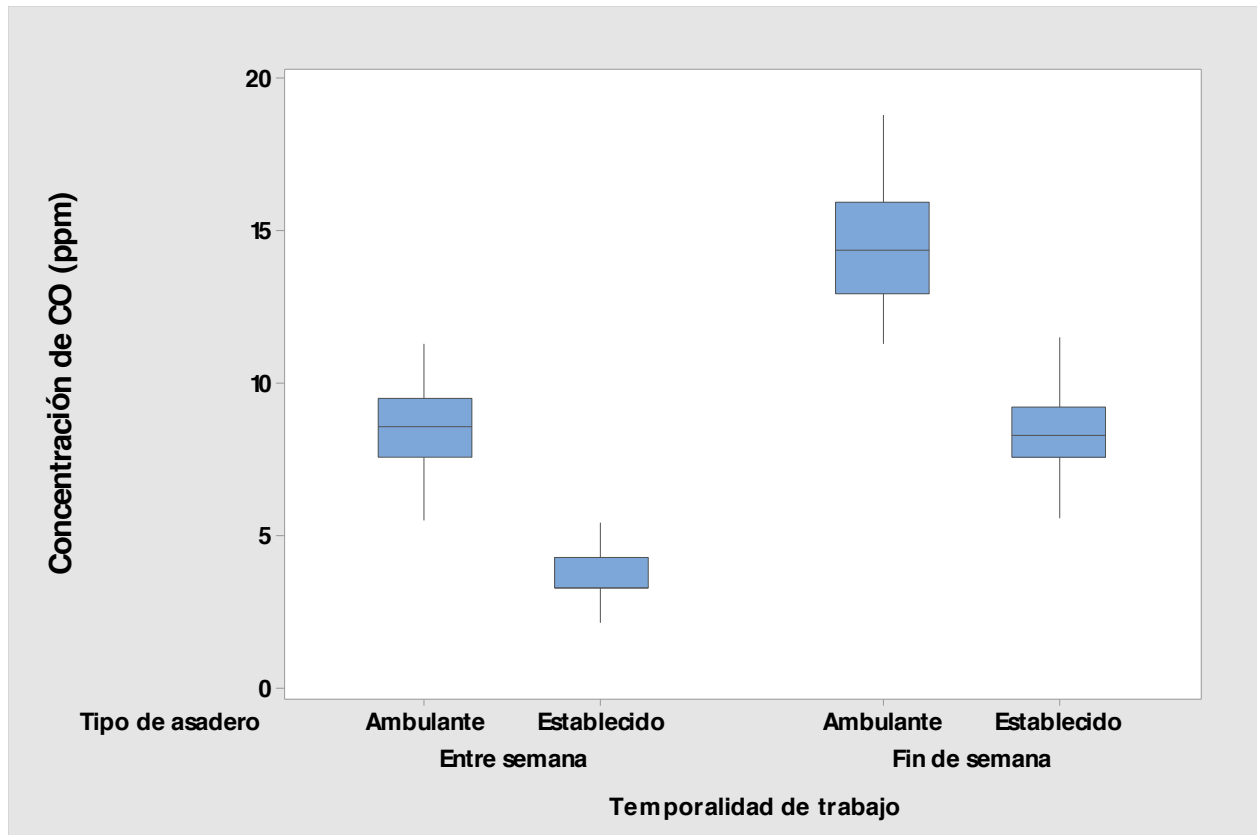


Figura 13. Gráfica de cajas de concentración de CO en los asaderos que trabajan en fin de semana y entre semana, en el municipio de Boca del Río, Ver.

### 9.3 Prueba U de Mann-Whitney

Considerando que los datos de los tratamientos no siguen una distribución normal, se realizó la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney con un intervalo de confianza del 95 % para determinar diferencias entre muestreos de mitad de semana y fin de semana (tratamientos). Se estimó la diferencia entre la mediana de la concentración entre semana y la mediana de la concentración en fin de semana. La diferencia fue de -4.79422, y se presentó un 95 % de confianza de que la diferencia de la mediana de las concentraciones entre semana y en fin de semana se encuentra entre -4.91305 y -4.45358 (Cuadro 10).

Cuadro 10. Estimación de la diferencia de emisiones de CO comparando los mismos puntos de muestreo entre semana y fin de semana.

Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda
-4.79422	(-4.91305, -4.45358)	95.00%



Se consideró un  $\alpha$  de 0.05 para determinar la diferencia existente entre ambos tratamientos. Se obtuvo un valor p ajustado para empates de 0 (Cuadro 11), por lo tanto, se rechazó la hipótesis nula y se aceptó la hipótesis alterna que indica que la diferencia entre la mediana de la concentración entre semana y la mediana de la concentración en fin de semana es estadísticamente significativa.

Cuadro 11. Valor p ajustado y no ajustado para empates.

<b>Método</b>	<b>Valor W</b>	<b>Valor p</b>
No ajustado para empates	48363.50	0.000
Ajustado para empates	48363.50	0.000

Por tanto, existió diferencia estadísticamente significativa entre la concentración de CO monitoreada entre semana y en fin de semana. El incremento de la contaminación de CO en fin de semana se puede atribuir a el aporte de los asaderos, los cuales operan en mínima cantidad a mitad de semana.

#### **9.4 Dispersión de CO**

De acuerdo con la Figura 14 la concentración de CO en la mayor parte del municipio entre semana se encuentra en valores por debajo de las 11 ppm en su mayoría y en sitios cercanos a los asaderos ambulantes el valor máximo llega hasta las 11 ppm.

En la Figura 15 se observa que los valores donde la concentración de CO sobrepasa el límite máximo permisible para ocho horas de la normativa mexicana y la EPA es nuevamente en donde se localizan los asaderos ambulantes, existen lecturas superiores a las mediciones tomadas entre semana en el mismo punto lo que podría atribuirse a mayores volúmenes de ventas en fin de semana. Además los valores superiores de la concentración en fin de semana pertenecen en su mayoría a los asaderos ambulantes que a grandes rasgos de acuerdo con la clasificación que utiliza Lango-Reynoso et al. (2018) para el tipo de equipo, son asadores artesanales. Estos equipos no cumplen con las especificaciones requeridas para optimizar el proceso, por ello generalmente hay un mayor consumo de leña o carbón y a su vez una mayor emisión de CO.

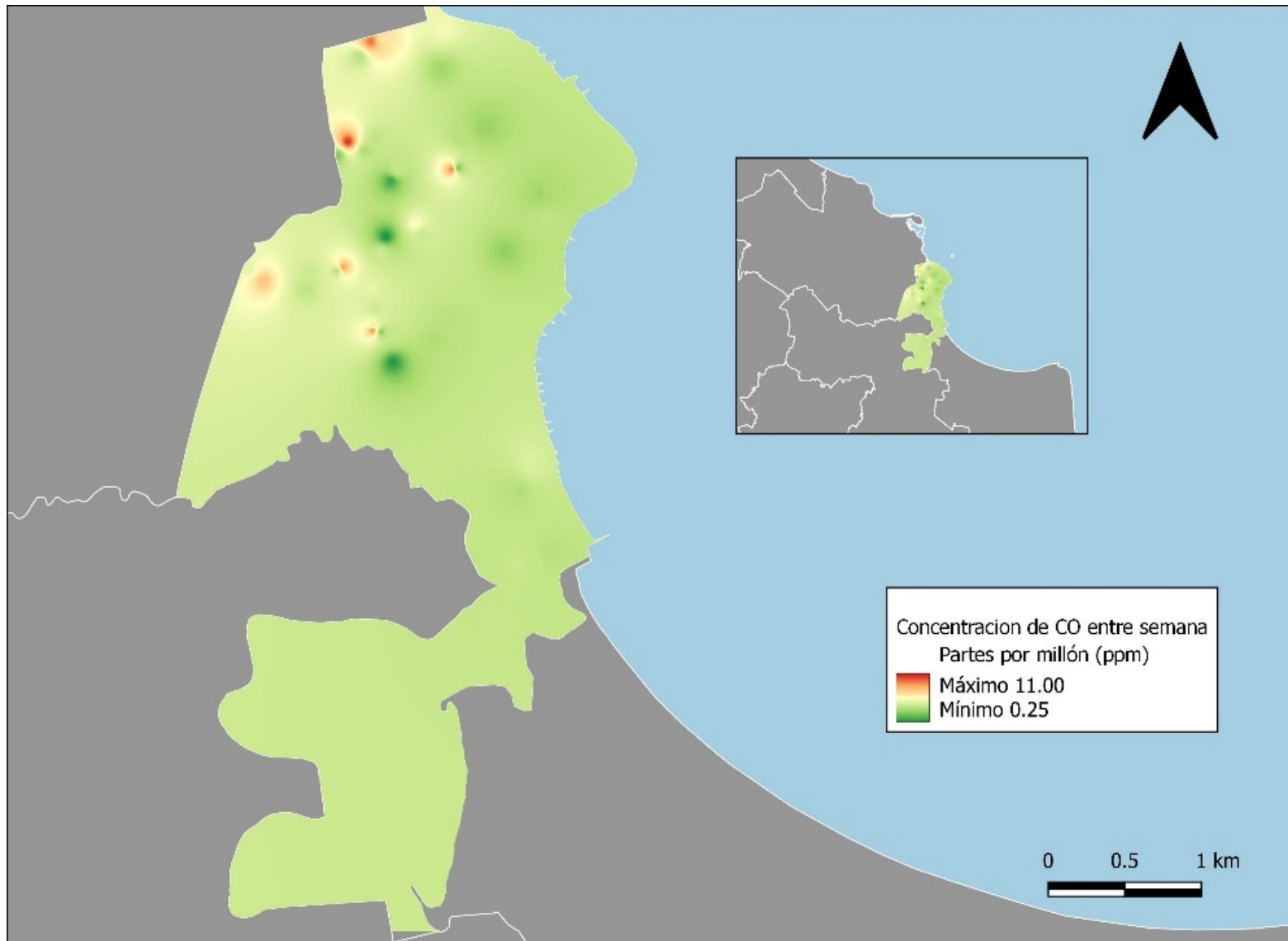


Figura 14. Concentración y dispersión de CO de asaderos que trabajan entre semana en el municipio de Boca del Río; Ver.

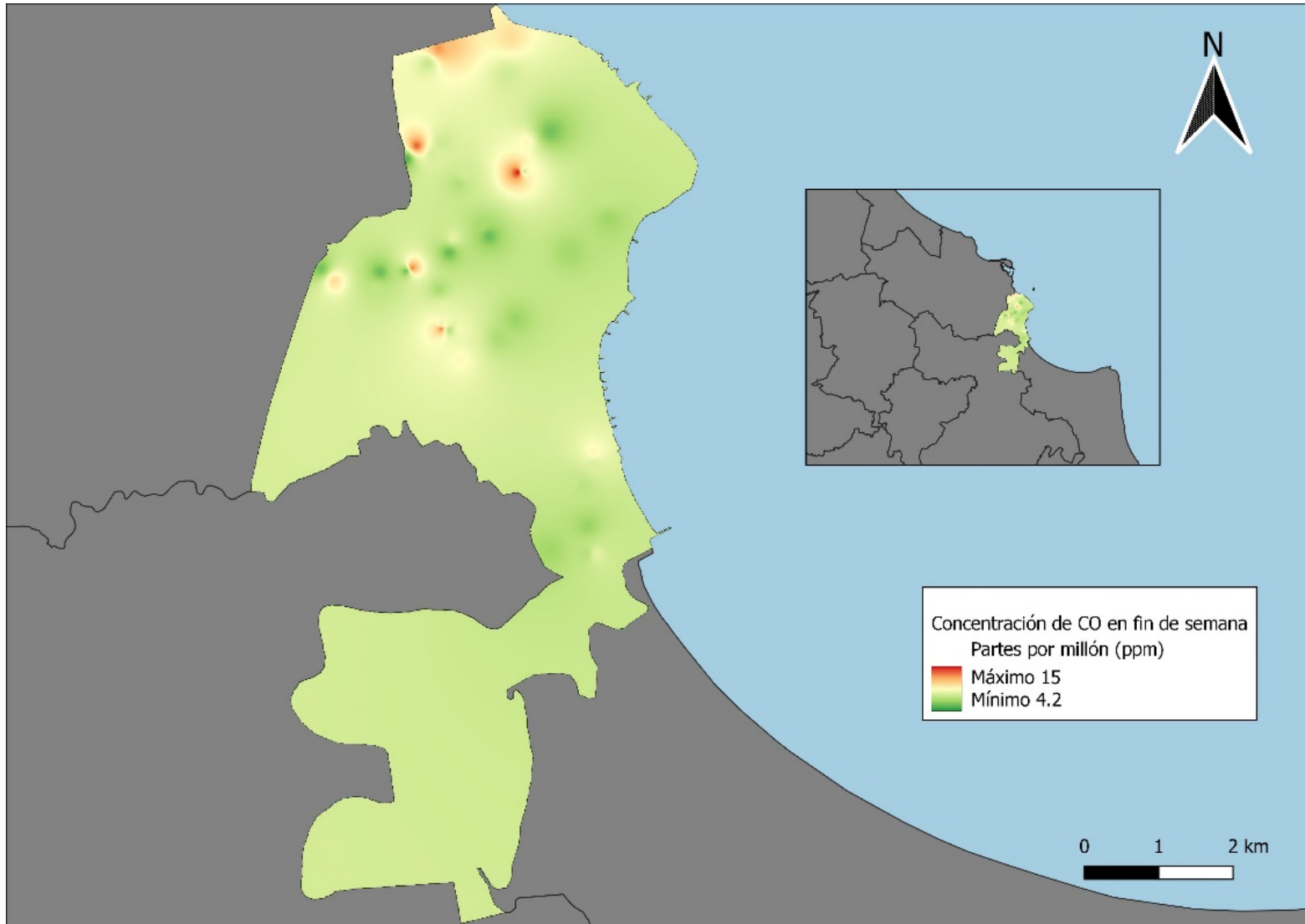


Figura 15. Concentración y dispersión de CO de asaderos que trabajan en fin de semana en el municipio de Boca del Río, Ver.

## 10. DISCUSIÓN

Inicialmente el trabajo de investigación realizado por González y Bohórquez (2016) en la ciudad de Bogotá identificaron 434 restaurantes, 369 asaderos y únicamente 40 establecimientos ambulantes que utilizan leña y carbón en la cocción de alimentos. En este trabajo de investigación de igual forma se localizaron menos asaderos ambulantes respecto a asaderos establecidos. Es importante mencionar que la extensión territorial de Boca del Río es de 42.77 km<sup>2</sup> mientras que la extensión de Bogotá es de 1775 km<sup>2</sup> (Navarrete et al., 2017) por ello, se encontró una mayor cantidad de asaderos en la segunda ciudad.

En el trabajo realizado por González y Bohórquez (2016) se llevó a cabo una comparativa de las emisiones entre semana y en fin de semana, al igual que en este trabajo se hace evidente que en fines de semana existe una mayor generación de emisiones por una mayor demanda de alimentos, ya que las familias salen de sus hogares y comen fuera o bien, compran comida para llevar, lo que se traduce a un mayor consumo de leña y carbón y a su vez más emisiones.

De acuerdo con el trabajo anteriormente mencionado el 76 % de las emisiones de CO corresponden a los restaurantes y asaderos a pesar de representar solo una muestra del total de estos establecimientos existentes en la ciudad de Bogotá. Mientras que, en Boca del Río, Ver. se localizaron 48 asaderos que corresponden al total de estos establecimientos ubicados en el municipio donde se encuentran niveles de contaminación aceptables a pesar de que se encontraron puntos elevados en donde se ubicaron los asaderos ambulantes. Es importante considerar que las condiciones geográficas de ambos sitios y la naturaleza del CO es posible que influya en esta diferencia considerando que, Boca del Río limita con el Golfo de México y los vientos de la costa ayuden a dispersar rápidamente el CO mientras que la ciudad de Bogotá se encuentra en el centro de Colombia.

Lango-Reynoso et al. (2018) realizaron la estimación teórica de CO<sub>2</sub> producido en asaderos en Boca del Río donde localizaron 30 establecimientos dedicados a la preparación de alimentos utilizando leña y carbón, de los cuales 27 se encontraban registrados en el municipio y 3 no pertenecían a este, mientras que, en este trabajo se ubicaron 48 asaderos de los cuales 41 se consideraron asaderos establecidos o registrados y 7 asaderos ambulantes o no registrados.

El aumento acelerado de la emisión de diversos contaminantes ha despertado el interés hacia el monitoreo de las fuentes emisoras de estos. La normativa mexicana se encuentra muy limitada, la NOM-021-SSA1-2021 (DOF, 2021) establece que el valor máximo permisible no debe rebasar las nueve ppm en promedio móvil de ocho horas y de 26 ppm en una hora, como medida de protección a la salud de la población. Sin embargo, no existe una norma que regule la emisión proveniente de asaderos ambulantes y establecidos.

Por su parte, la OSHA establece el límite de exposición permisible de 50 ppm con un promedio ponderado de tiempo de ocho horas. Mientras que el NIOSH establece un límite de exposición permisible de 35 ppm con un promedio ponderado de tiempo de ocho horas (Earnest et al., 1997). Finalmente, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) estableció una norma federal para la calidad de aire ambiental (al aire libre) con respecto al CO de nueve ppm para una exposición de ocho horas y de 25 ppm para una exposición de una hora (Jafaru, 2015).

En el Cuadro 12 se presenta una comparativa de la media de la concentración monitoreada en fin de semana y entre semana respecto a los límites permisibles en la normativa nacional e internacional.

Cuadro 12. Comparativa de concentraciones de CO medias monitoreadas y límites máximos permisibles de la normativa nacional e internacional.

Tiempo		8 horas				1 hora			
Normativa	o	NOM-021-SSA1-2021	OSHA	NIOSH	EPA	EPA	NOM-021-SSA1-2021	Entre semana	Fin de semana
Concentración (ppm)	11	50	35	9	25	26	4.497	9.217	

Con base en lo anterior y tomando las medias de la concentración entre semana y la concentración en fin de semana de 4.497 y 9.217 ppm, respectivamente, en ninguno de los casos se excede el valor establecido por la EPA ni por la normativa nacional para una exposición a corto plazo (1 hora). Es importante mencionar que esta condición se repitió en el muestreo de la concentración de cada asadero. Sin embargo, si los valores de las medias se mantuvieran a lo largo de 8 horas, la concentración en fin de semana se encuentra por encima del valor establecido por la EPA y por la normativa mexicana para 8 horas, lo que representa un riesgo para los

trabajadores de asaderos. Además, que se estaría presentando una mala calidad del aire ambiental.

Como se observó en los mapas de dispersión de CO en fin de semana existen puntos correspondientes a los asaderos ambulantes donde presentan una concentración por encima de las 15 ppm, valor inferior al establecido por la EPA para una exposición de una hora. Si esta concentración se mantuviera a lo largo de 8 horas, se encontraría por encima de lo establecido por la normativa nacional y la EPA, pero se ubicaría muy por debajo de lo que especifica la OSHA y el NIOSH.

Por otra parte, se han hecho investigaciones con un mayor enfoque de los efectos a la salud que tiene el CO en seres vivos porque en una concentración elevada y/o un mayor tiempo de exposición resultaría letal. Sin embargo, también representa un riesgo importante en el ambiente debido a que es considerado un GEI indirecto porque es precursor de los GEI directos. Aunque es un gas que se dispersa con facilidad, posee una vida media en la atmósfera que oscila entre los 2 a 4 meses (Flores Yucra, 2017), lo que propicia su lenta oxidación hasta formar CO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>.

## **11. CONCLUSIONES**

No se rechaza la hipótesis planteada pues se observa un aumento de la concentración de CO en fin de semana respecto a la concentración entre semana propiciado por el funcionamiento de los asaderos.

Se concluye que de los asaderos identificados hay un mayor número de asaderos establecidos que asaderos ambulantes.

Además, se concluyó que la concentración de CO en asaderos establecidos es menor que en asaderos ambulantes.

Por otra parte, se llegó a la conclusión que en fin de semana hay un incremento notable en la concentración de CO porque hay mayor producción y funcionamiento de los asaderos.

Finalmente, se pudo concluir que la concentración de CO en zonas donde existe un mayor número de asaderos presenta niveles más elevados respecto a los sitios más alejados de estos establecimientos.

## 12. RECOMENDACIONES

Es necesario que se utilice una escala espacial reducida, porque entre más pequeña sea la escala espacial para la medición será mejor, considerando la naturaleza del contaminante, debido a que se dispersa fácilmente, reacciona con el O<sub>2</sub> y forma CO<sub>2</sub> tal como se menciona en el Manual 3 del SINAICA (2010) Redes, Estaciones y Equipos de Medición de la Calidad del Aire.

Además, es importante mencionar que el equipo utilizado para la medición de CO tiene como limitante que no es un equipo propiamente diseñado para medir las emisiones de los asaderos, por ello es necesario realizar el muestreo lo más cerca posible a la fuente de emisión. Con ello, se evita la influencia de otras fuentes de CO y se obtiene un valor más confiable del aporte de los asaderos, o bien, se recomienda utilizar un sensor colocado dentro de las chimeneas o asadores si esto es posible.

## 13. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, N., Ojeda, T. y Eguiguren, P. (2010). El cambio climático y la conservación de la biodiversidad en el Ecuador. *Artículos de investigación Acuicultura*, 1(1), 17.
- Aguirre Sigueñas, M. E., Flores Contreras, K., Mio Cortez, E. S., Roca Céspedes, O. A. y Soriano Cántaro, V. G. (2021). Factores que influyen en el establecimiento de límites máximos permisibles para garantizar el cumplimiento de los estándares de calidad ambiental en agua.
- Aránguez, E., Ordóñez, J. M., Serrano, J., Aragonés, N., Fernández-Patier, R., Gandarillas, A. y Galán, I. (1999). Contaminantes atmosféricos y su vigilancia. *Revista española de salud pública*, 73, 123-132. [http://scielo.isciii.es/pdf/resp/v73n2/contam\\_atmos.pdf](http://scielo.isciii.es/pdf/resp/v73n2/contam_atmos.pdf)
- Ariza, A. M. y Ramos, P. C. A. (2021). Usos y potencialidades de los sistemas de información geográficos (SIG) en la educación ambiental.
- Ataz, E. M. y de Mera Morales, Y. D. (2004). *Contaminación atmosférica* (Vol. 45). Univ de Castilla La Mancha.
- ATSDR, A. f. T. S. a. D. R. (2009). *ToxFAQs™ sobre el monóxido de carbono* ( 630-08-0 ). [https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts201.pdf](https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts201.pdf)
- Ballester, F. (2005). Contaminación atmosférica, cambio climático y salud. *Revista española de salud pública*, 79, 159-175.
- Ballesteros, H. B. y Aristizabal, G. L. (2007). Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. *Bogotá DC: nota técnica del IDEAM*. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf> (Bogotá DC: nota técnica del IDEAM)
- Barrera Puigdollers, M. C., Castelló Gómez, M. L., Betoret Valls, N. y Pérez Esteve, E. (2018). Principios Básicos de la Combustión.
- Bayas, B. O., Salazar, L. H. y Zambrano, J. R. (2019). Sistema electrónico para la detección de niveles de monóxido de carbono (CO) en la Av. 7 de Octubre de la ciudad de Quevedo, que facilite la toma de decisiones del departamento de medio ambiente del GAD municipal. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*(E21), 1-8.

- Beltran, P. L., Acuna, D., Ngan, A. M., Kim, E., Ngan, A., Kawakami, K., . . . Lopez, I. A. (2010). Neuroglobin, cytoglobin, and transcriptional profiling of hypoxia-related genes in the rat cerebellum after prenatal chronic very mild carbon monoxide exposure (25 ppm). *Brain research*, 1330, 61-71. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20230802/>
- Bolaños Morera, P. y Chacón Araya, C. (2017). Intoxicación por monóxido de carbono. *Medicina Legal de Costa Rica*, 34(1), 137-146. [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S1409-00152017000100137&script=sci\\_abstract&lng=es](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S1409-00152017000100137&script=sci_abstract&lng=es)
- Boldo, E. (2016). *La contaminación del aire*. Instituto de Salud Carlos III.
- Braquley, M. (2004). Normas, reglamentos, planeación y aplicación de las leyes nacionales, estatales y locales sobre calidad del aire y cambio climático en América del Norte. *Comisión para la Cooperación Ambiental*.
- Buzai, G. D. (2012). Geografía y Sistemas de Información Geográfica Evolución Teórico Metodológica Hacia Campos Emergentes. *Revista Geográfica de América Central*, 2(48E), 15-67.
- Caballero, M., Lozano, S. y Ortega, B. (2007). Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. *Revista Digital Universitaria*, 8(10), 1-12.
- Caicedo, J. A. R., Vergara, N. E. M. y Moreno, C. A. R. (2013). INSTRUMENTO DE MEDICIÓN DE MONÓXIDO DE CARBONO PARA USO RESIDENCIAL. INSTRUMENT FOR MEASURING CARBON MONOXIDE FOR RESIDENTIAL USE. [https://www.academia.edu/24044300/INSTRUMENTO\\_DE\\_MEDICION\\_DE\\_MONOXIDO\\_DE\\_CARBONO\\_PARA\\_USO\\_RESIDENCIAL\\_INSTRUMENT\\_FOR\\_MEASURING\\_CARBON\\_MONOXIDE\\_FOR\\_RESIDENTIAL\\_USE](https://www.academia.edu/24044300/INSTRUMENTO_DE_MEDICION_DE_MONOXIDO_DE_CARBONO_PARA_USO_RESIDENCIAL_INSTRUMENT_FOR_MEASURING_CARBON_MONOXIDE_FOR_RESIDENTIAL_USE)
- Cali Galarza, L. A. (2020). *Análisis Ambiental Mediante el Método de Tubos Pasivos para la Determinación de Concentraciones en el Aire de los Gases Contaminantes en el Norte de la Ciudad de Guayaquil* GUAYAQUIL/UIDE/2020].
- Campa, B. P. C. y Hernandez, I. C. (2019). METODOLOGÍAS PARA EL MUESTREO DE LA CALIDAD DEL AIRE. *Vid supra visión científ ca*, 7.
- Campo, A. M., Fernández, M. E. y Gentili, J. O. (2018). Relación entre CO, NOX, SO2, O3 y factores naturales y antropogénicos en Bahía Blanca, Argentina. *Pesquisas em Geociências*, 45(1), 0661. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.85645> (Pesquisas em Geociências)
- Castañeda, M., Escoda, R., Nogué, S., Alonso, J., Bragulat, E. y Cardellach, F. (2008). Síndrome coronario agudo por intoxicación con monóxido de carbono. *Revista de toxicología*, 25(1-3), 69-72.
- CEIEG. (2016). *Sistema de Información Municipal, Cuadernillos Municipales, Boca del Río*. <http://ceieg.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/21/2016/05/Boca-del-R%C3%ADo.pdf>
- Cemargo, J. V. (2005). Diseño, construcción y puesta a punto de un prototipo de quemador para la combustión continua y eficiente de la cascarilla de arroz. *El hombre y la máquina*(25), 128-135.
- Chingal, B. D. C. y Narváez, F. M. A. (2015). Medición y registro en tiempo real de concentración de gases contaminantes y niveles de ruido en sectores específicos de una población. *Amable Álvarez, Isabel, Méndez Martínez, Jesús, Delgado Pérez, Lenia, Acebo Figueroa, Fernando, de Armas Mestre, Joanna, & Rivero Llop, Marta Lidia.*(2017). *Contaminación ambiental por ruido*. *Revista Médica Electrónica*, 39(3), 640-649. [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/58871062/MODELO\\_TESIS20190411-56113-12zy5e1.pdf?1555046010=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DMEDICION\\_Y\\_REGISTRO\\_EN\\_TIEMPO\\_REAL\\_DE\\_CO.pdf&Expires=1610727710&Signature=K2J8SMVp2YnLYPKDZW9xE9fQA8QZgF6195xosGp1RuULBfoTHiJNZQlbrM0kvc-](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/58871062/MODELO_TESIS20190411-56113-12zy5e1.pdf?1555046010=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DMEDICION_Y_REGISTRO_EN_TIEMPO_REAL_DE_CO.pdf&Expires=1610727710&Signature=K2J8SMVp2YnLYPKDZW9xE9fQA8QZgF6195xosGp1RuULBfoTHiJNZQlbrM0kvc-)



[a1u0dkTjRr3WTFqfuka4Pb2n5idvGg5TU7XfcuNO15M7IKgsuS9yK3t9RNqL105chglawy  
gOIm~WYJp3uioKnGJX749-xPLgciqx4Gqfb5fhOs0IKB3YPWdzUnsG-  
ZSarZFmUhfOs4Vaw~Ub032FKSELD5vmgX8A9s~MpsbPKkKlaSb6m~pgyghiQO6~7bV  
UbbXVZbRSannJb6wfmQTpcfAFAGT8LebXIM4PfHYZijU1y-ynRLI-  
FXorTopQxR58MHjWNf28Mibf-KJTsxKzzg &Key-Pair-  
Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://doi.org/10.1016/j.culcyt.2013.05.001)

- Cruz Islas, I. C. (2016). Emisiones de CO<sub>2</sub> en hogares urbanos. El caso del Distrito Federal. *Estudios demográficos y urbanos*, 31(1), 115-142. (Estudios demográficos y urbanos)
- Cruz, Y. Y. P., Martínez, P. C. C. y Quintanilla, J. C. P. (2013). La gestión ambiental del cambio climático. *CULCyT: Cultura Científica y Tecnológica*, 10(51), 14-41.
- De Jong, B., Olguín, M., Rojas, F., Maldonado, V., Paz, F., Etchevers, J., . . . de la Cruz, V. (1990). Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero 1990 a 2006. *Actualización del inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero, 2006*.
- Díaz Cordero, G. (2012). El cambio climático. *Ciencia y sociedad*.
- Díaz, N. E., Vázquez, M. W., Venegas, S. A., Morales, I. H. y Hernández, J. S. (2021). Emisiones generadas por el consumo de leña y carbón en la preparación de comida rápida. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 8(2).
- DOF, D. O. d. I. F. (2012). NORMA Oficial Mexicana NOM-156-SEMARNAT-2012, Establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire.
- DOF, D. O. d. I. F. (2021). NORMA Oficial Mexicana NOM-021-SSA1-2021, Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al monóxido de carbono (CO). Valores normados para la concentración de monóxido de carbono (CO) en aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.
- Earnest, G. S., Mickelsen, R. L., McCammon, J. B. y O'Brien, D. M. (1997). Carbon monoxide poisonings from small, gasoline-powered, internal combustion engines: just what is a "well-ventilated area"? *American Industrial Hygiene Association Journal*, 58(11), 787-791.
- Escalona, L., Manganiello, L., López-Fonseca, M. y Vega, C. (2012). Los sensores químicos y su utilidad en el control de gases contaminantes. *Revista Ingeniería UC*, 19(1), 74-88.
- Espinoza, I. C. B. (2011). Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de Ozono y ley 20.096: análisis de la incorporación del protocolo en la legislación chilena.
- Fernández, J. (2003). Energía de la biomasa. *Colección "Energías Renovables para todos"*.
- Fernández, J. (2005). Agricultura para la energía y el Medio Ambiente. *Phytoma España: La revista profesional de sanidad vegetal*(169), 20-25.
- Flores Yucra, R. (2017). Determinación del nivel de contaminación de dióxido de carbono por parque automotor en la ciudad de Puno.
- Garcés, D. S. (2015). Análisis del Estado del Medio Ambiente de la cuenca Villa Victoria-San José del Rincón basado en la metodología ECCO:(perspectivas del ambiente y cambio climático).
- Garduño, R. (1998). *El veleidoso clima*. Secretaría de Educación Pública.
- Góngora, T. M. J. (2020). Consideraciones técnicas en el diseño de un sistema de vigilancia de calidad del aire para la Zona Metropolitana de Bucaramanga.
- González, S. M. F. y Bohórquez, D. L. Z. (2016). Estimación de las emisiones atmosféricas provenientes de asaderos, restaurantes, estaciones de servicio y centros de almacenamiento de combustibles de Bogotá. *Construyendo investigación: semilleros generadores de ideas*.
- Hashimoto, M. (1989). History of air pollution control in Japan. In *Studies in Environmental Science* (Vol. 38, pp. 1-93). Elsevier.
- Hernández, C. C. A. y Ramírez, G. K. A. (2021). Análisis de viabilidad técnica y económica para la fabricación de un sistema de censado de emisiones vehiculares.

- Huamán, V. Q. (2015). Descripción de los efectos de los óxidos de carbono (CO<sub>2</sub> y CO) en ambientes interiores y exteriores. *Revista de Investigación Universitaria*, 4(1). <https://doi.org/10.17162/riu.v4i1.605> (Revista de Investigación Universitaria)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, I. (2015). Marco Geoestadístico Nacional v6.2, México
- Jafaru, Y. (2015). Knowledge and Preventive Attitudes of the Harmful Effects of Carbon Monoxide Among Mechanics in Shinkafi Community Zamfara State Nigeria.
- Kuhn, H., Försterling, H.-D. y Waldeck, D. H. (2012). *Principios de fisicoquímica*. Cengage Learning.
- Kwak, K., Kim, M., Choi, W.-J., Ju, Y.-S. y Park, J.-T. (2020). Association Between Carbon Monoxide Intoxication and Incidence of Ischemic Stroke: A Retrospective Nested Case-Control Study in South Korea. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, 30(2), 105496. <https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2020.105496>
- Lango-Reynoso, V., López-Spiegel, J., Lango-Reynoso, F., Castañeda-Chávez, M. D. R. y Montoya-Mendoza, J. (2018). Estimation of CO<sub>2</sub> emissions produced by commercial grills in Veracruz, Mexico. *Sustainability*, 10(2), 464. <https://doi.org/10.3390/su10020464> (Sustainability)
- Lara, E. L., Simeón, C. P. y Navarro, J. G. M. (2006). Los sistemas de información geográfica. *Geoenseñanza*, 11, 16.
- Lee, K. K., Spath, N., Miller, M. R., Mills, N. L. y Shah, A. S. (2020). Short-term exposure to carbon monoxide and myocardial infarction: A systematic review and meta-analysis. *Environment International*, 143, 105901. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105901>
- Magaña, V., Méndez, J., Morales, R., Millán, C., Martínez, J. y Fernández, A. (2004). Cambio climático una visión desde México. *Sección I: Las bases científicas. Sistema de publicaciones del INE*.
- Martínez-Arrieta, M. (2005). Intoxicaciones agudas en el hogar; exposiciones por inhalación. *Información Terapéutica del Sistema Nacional de Salud*, 29(4-2005). [https://www.researchgate.net/publication/277271884\\_Intoxicaciones\\_agudas\\_en\\_el\\_hogar\\_exposiciones\\_por\\_inhalacion](https://www.researchgate.net/publication/277271884_Intoxicaciones_agudas_en_el_hogar_exposiciones_por_inhalacion)
- Martínez-Prado, M. (2016). Estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero para el estado de Durango, México. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 15(2), 575-601. <https://www.redalyc.org/pdf/620/62046829023.pdf>
- Martínez, A. P. y Romieu, I. (1997). Introducción al monitoreo atmosférico. In *Introducción al monitoreo atmosférico* (pp. 262-262).
- Martínez, M. F. (2019). Análisis de la localización de un centro logístico de hipermercados a través de un sistema de información geográfica en la provincia de Sevilla.
- Medaglia, J. A. C. (2003). El impacto de las declaraciones de Río y Estocolmo sobre la legislación y las políticas ambientales en América Latina. *Revista de Ciencias Jurídicas*(100).
- Mendoza, E. C. (2019). Medición de gases en medio ambiente; amoníaco, sulfuro de hidrógeno y monóxido de carbono, en casetas de cerdos las primeras cuatro semanas postdestete. <http://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/1013/1/CN-0018-Erick%20Casta%20c3%b1%20c3%b3n%20Mendoza.pdf>
- Mercado, M. (2012). El análisis del tratamiento informativo del cambio climático. *Medios de comunicación y cambio climático*.
- Moiseev, S. R. y López, I. O. (2004). El desarrollo de bioprocesos para el tratamiento de aire contaminado emitido por fuentes fijas. *Fundamentos y casos exitosos de la biotecnología moderna*, 625.
- Moreno, A. C. A. (2021). Implementación de herramientas avanzadas de sensibilidad en modelos atmosféricos: El adjoint de CMAQ aplicado al caso de Bogotá.
- Navarrete, L. C., Calderón, R. D., Díaz, A. J. L., Herrera, M. y Izquierdo, J. (2017). Modelos geoestadísticos para la predicción de fallos de una zona de la red de abastecimiento de

- agua de Bogotá, integrando algoritmos de Machine Learning (Geostatistical Models for the Prediction of Water Supply Network Failures in Bogotá, Integrating Machine Learning Algorithms). Ibero-American Seminar on Water and Drainage Networks (SEREA 2017),
- Nova Becerra, J. M. (2018). Diseño y desarrollo de una aplicación para monitorear la concentración de co y ch4 en dispositivos móviles android.
- Núñez Naranjo, R. R. (2015). *Determinación de los niveles de carboxihemoglobina y repercusión en la salud de los trabajadores del botadero municipal de la Ciudad de Ambato* Universidad Técnica de Ambato-Facultad de Ciencias de la Salud-Carrera ...].
- Oliu, G., Nogué, S. y Miró, Ò. (2010). Intoxicación por monóxido de carbono: claves fisiopatológicas para un buen tratamiento. *Emergencias*, 22(6), 451-459.
- ONU, O. d. I. N. U. (1992). La declaración del Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. *Río de Janeiro República Federativa del Brasil., aprobada en Estocolmo el, 16.*
- Oyarzún, M. (2010). Contaminación aérea y sus efectos en la salud. *Revista chilena de enfermedades respiratorias*, 26(1), 16-25.
- Paredes, G. A. E. (2013). *Análisis de las normas internacionales que regulan los comportamientos que inciden en la afectación de la capa de ozono y su adaptación en el Ecuador* Pontificia Universidad Católica del Ecuador].
- Piña, N. C. (2008). Efecto del paso de la radiación a través de las cubiertas plásticas de invernadero en la producción de los cultivos.
- Prada Montalvan, F. I. (2019). Creación de tributos verdes para empresas azucareras de la provincia de Chiclayo y su contribución para disuadir la contaminación en el 2015.
- Ramos, A. J., Merelli, A., Avilés, R. X. y Lazarowski, A. (2010). MODELOS EXPERIMENTALES DE HIPOXIA-ISQUEMIA CEREBRAL. *TÓPICOS DE ACTUALIZACIÓN EN NEUROBIOLOGÍA*, 119.  
[https://www.researchgate.net/publication/308687478\\_MODELOS\\_EXPERIMENTALES\\_DE\\_HIPOXIA-ISQUEMIA\\_CEREBRAL](https://www.researchgate.net/publication/308687478_MODELOS_EXPERIMENTALES_DE_HIPOXIA-ISQUEMIA_CEREBRAL)
- Rico, S. K. G. (2018). Sensores de bajo costo para el monitoreo de la calidad del aire en la ciudad de Hermosillo, Sonora.
- Ríos, L. G. y Iza, Y. M. (2007). GASES IDEALES: DIAGRAMAS TERMODINAMICOS. *Scientia et technica*, 1(35). (Scientia et technica)
- Rodríguez, T. D., Tchikoué, M. H. y Santillán, P. J. (2007). Emisiones contaminantes durante la temporada 2003 de incendios en México. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 13(1), 33-39. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rcscfa/v13n1/2007-4018-rcscfa-13-01-33.pdf> (Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente)
- Sadatshojaie, A. y Rahimpour, M. R. (2020). CO2 emission and air pollution (volatile organic compounds, etc.)–related problems causing climate change. In *Current Trends and Future Developments on (Bio-) Membranes* (pp. 1-30). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816778-6.00001-1>
- Salcido, A., Murillo, A. T. C., Adolfo, G., Flores, T., Flores, N. H., Carreón, S., . . . Salcido, A. I. (2019). Calidad del aire y monitoreo atmosférico. *Revista Digital Universitaria*, 20(3). 10.22201/codeic.16076079e.2019.v20n3.a3 (Revista Digital Universitaria)
- Salvia, J. M. (2005). El protocolo de Kyoto. *Revista de Treball, Economia i Societat*, 35, 19-39.
- San José, R. G. (2001). Combustion y Combustibles. *Trabajo de grado de Maestría*.
- Sibón Olano, A., Martínez-García, P., Rojas, V. y Romero Palanco, J. (2007). Intoxicación por monóxido de carbono. *Cuadernos de Medicina Forense*(47), 65-69.  
<http://scielo.isciii.es/pdf/cmfn47/imagenes.pdf>
- SINAICA-SEMARNAP-INECC. (2010). Manual 1 Principios de Medición de la Calidad del Aire. *Instituto Nacional de Ecología*. <https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/guias/1-%20Principios%20de%20Medici%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20del%20Aire.pdf>

- SINAICA. (2010). Manual 3 Redes, estaciones y equipos de medición de la calidad del aire <https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/guias/3%20-%20Redes,%20Estaciones%20y%20Equipos%20de%20Medici%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20del%20Aire.pdf>
- Smith, K. R. (2006). El uso doméstico de leña en los países en desarrollo y sus repercusiones en la salud. *Unasylva*, 57(224), 41-44.
- Téllez, J. y Rodríguez, A. (2006). Contaminación por monóxido de carbono: un problema de salud ambiental. *Revista de salud pública*, 8, 108-117. <https://doi.org/10.1590/S0124-00642006000100010>
- Toledo, B. C. A. y García, S. A. (2020). MONITOREO DE MONÓXIDO DE CARBONO PROVENIENTE DEL PROCESAMIENTO DE CAÑA DE AZÚCAR EN ZONA ALEDAÑA AL INGENIO EL MODELO, MÉXICO.
- Ubilla, C. y Yohannessen, K. (2017). Contaminación atmosférica efectos en la salud respiratoria en el niño. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 28(1), 111-118.
- Vargas, L. E. y Machado, J. (2014). Toxicidad por monóxido de carbono. *Toxicología*, XVII, 83, 582. [https://doi.org/http://www.geocities.ws/lucho16/documents/Monoxido\\_Carbono\\_L\\_Vargas.pdf](https://doi.org/http://www.geocities.ws/lucho16/documents/Monoxido_Carbono_L_Vargas.pdf)
- Vega, L. J. I., Lagos, A. M. A. y Salgado, G. G. (2017). Monitoreo de concentración de monóxido de carbono usando tecnología Long-Range. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*(18), 73-83. <https://doi.org/10.17163/ings.n18.2017.09>
- WHO, W. H. O. (2000). *Air quality guidelines for Europe*. World Health Organization. Regional Office for Europe.
- Wonohardjo, E. P. y Kusuma, G. P. (2019). Air Pollution Mapping using Mobile Sensor Based on Internet of Things. *Procedia Computer Science*, 157, 638-645. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.08.224>

## 14. APÉNDICES

### A. Tabla de coordenadas geográficas de asaderos localizados

Asadero	Longitud	Latitud	Colonia
Establecido	19.1015186	-96.1055328	Boca del Rio Centro
Establecido	19.1016235	-96.1069511	Río Jamapa
Establecido	19.102022	-96.111483	Ricardo Flores Magón
Establecido	19.1028493	-96.1032275	Pescadores
Establecido	19.1051357	-96.106711	Ricardo Flores Magón
Establecido	19.1102388	-96.1074016	La Tampiquera
Establecido	19.110636	-96.1082328	La Tampiquera
Establecido	19.1130282	-96.1058829	El Morro
Establecido	19.1145507	-96.1058862	El Morro
Establecido	19.1263539	-96.1229078	Carranza 3a sección
Establecido	19.1291047	-96.1179367	Manantial
Establecido	19.1301146	-96.1243889	Fernando Gutiérrez Barrios
Establecido	19.1301253	-96.123041	Fernando Gutiérrez Barrios
Ambulante	19.1303166	-96.1254073	Venustiano Carranza 2a Sección
Establecido	19.1308773	-96.1253808	Fernando Gutiérrez Barrios
Establecido	19.1315687	-96.1159036	Villa Rica
Establecido	19.133144	-96.1251237	Fernando Gutiérrez Barrios
Establecido	19.135346	-96.1256407	Fernando Gutiérrez Barrios
Establecido	19.1354537	-96.1336836	Las Vegas II
Ambulante	19.1364534	-96.1390474	Las Vegas II
Establecido	19.1375164	-96.1331914	Las Vegas II
Establecido	19.137704	-96.1298872	Venustiano Carranza 1a Sección
Establecido	19.1379963	-96.140762	Las vegas II
Ambulante	19.1381147	-96.1290793	Venustiano Carranza 1a Sección
Establecido	19.1400466	-96.1243841	Adolfo López Mateos
Establecido	19.1402119	-96.1089771	Las Américas
Establecido	19.1397194	-96.1064562	Las Américas
Establecido	19.1419242	-96.1238342	1o de Mayo Sur
Establecido	19.1421779	-96.1193177	1o de Mayo Norte
Establecido	19.1435142	-96.1200798	1o de Mayo Norte
Establecido	19.1443308	-96.1039212	Fracc. Costa de Oro
Establecido	19.1473353	-96.1044026	Fracc. Costa de Oro
Establecido	19.147467	-96.1040958	Fracc. Costa de Oro
Establecido	19.1488034	-96.1231859	Manlio Fabio Altamirano
Establecido	19.1501213	-96.1224837	Casas Tamsa
Ambulante	19.1502843	-96.1156126	Casas Tamsa
Establecido	19.1504338	-96.1148709	Casas Tamsa
Establecido	19.152024	-96.1298256	Vista Alegre
Establecido	19.1526327	-96.1263976	Revolución

---

Ambulante	19.1536995	-96.1285033	Rigo
Establecido	19.1540668	-96.125229	Revolución
Establecido	19.1541863	-96.1144867	Jardines de Virginia
Establecido	19.1554851	-96.1114451	Jardines del Virginia
Establecido	19.1626586	-96.116941	Virginia
Establecido	19.1642296	-96.1270767	Virginia
Ambulante	19.1661513	-96.1256544	Virginia
Ambulante	19.1664899	-96.1242593	Virginia
Establecido	19.1675818	-96.1165168	Costa Verde

---

**B. Tabla de selección de datos de concentración entre semana y fin de semana de asaderos establecidos.**

<b>Concentración entre semana (ppm)</b>	<b>Concentración en fin de semana (ppm)</b>
4.292864091	7.766548428
5.258969235	7.567797465
3.241148951	5.508506133
3.278313024	6.193173967
6.235779313	5.753126137
7.232229205	5.819995419
3.229142311	5.58342631
4.246571987	9.161771609
5.275920506	12.0615591
3.291883558	6.87230226
2.280714867	11.55222728
4.266913892	6.0123715
7.254806736	8.09770521
5.294829647	8.45713682
4.276398264	6.88162423
3.270689763	4.61084905
1.361986632	4.30587874
3.35982491	4.83369578
6.395146108	5.87509293
4.455914199	8.79733222
7.430866796	8.40539246
5.433222571	8.07343965
3.134528353	7.48829083
3.131730345	7.66241619
6.135278564	5.02161844
4.14076884	4.63590241
2.14076884	4.61562269
4.362330838	8.98277877
3.377585056	7.77382938
5.307681327	6.021788287
3.279909053	8.935819838
5.318606709	9.508858394
7.302510742	8.572143228
3.347336132	14.05869906
6.759988874	7.45934149
2.97631202	10.2825938
1.33895462	6.52652417
2.333088666	5.66583856

3.38324315	7.704252852
4.329686151	7.52013962
6.356802607	7.2733084
3.332601722	8.96829653
<hr/>	
5.341411085	11.52226594
6.327748245	10.03935699
4.321482164	7.85921961
3.316695563	12.05309284
2.318606709	9.533301551
2.326781034	10.90405389
<hr/>	
3.329201239	8.43713604
2.626374507	8.456310553
4.404110861	10.06813656
6.843085973	11.5431796
4.304856622	11.2555165
3.488721232	9.68251235
<hr/>	
3.496172894	11.8830133
3.564182627	5.135744667
4.653990742	5.58342631
3.722960127	8.205242466
3.76554558	6.533967608
3.809946016	6.989154838
<hr/>	
4.926330079	7.615510651
4.97553373	9.592030836
4.950013991	12.45428401
4.896182972	11.6465723
2.991155104	13.17240165
5.010846559	12.1389794
<hr/>	
6.755141791	13.00165818
4.851831458	10.03712907
4.546678188	10.1802493
4.301574438	11.47378229
3.289049049	5.377595542
3.2735812	6.687067709
<hr/>	
2.292737982	7.677683036
3.256697999	7.905993479
3.279909053	8.233342642
4.302510742	8.988381655
4.307681327	9.275512785
4.314789078	10.58813898
<hr/>	
3.369925554	8.778132423
3.272232762	7.116263278
4.283094657	7.815790557



3.269543872	7.829265599
5.309097623	7.784424463
5.294589494	9.161771609
<hr/>	
3.294589494	6.16524505
3.321482164	9.4423996
3.289509138	7.55970847
4.29551701	7.68151628
4.284921482	5.89968813
4.313362276	6.5539369
<hr/>	
4.309570306	9.63058383
3.300639304	7.95080076
3.305797022	11.44536303
4.382727341	8.17594885
3.30673859	8.07394478
4.29737556	13.56440764
<hr/>	
4.294589494	14.54669519
4.314789078	9.42342622
2.33114263	7.62429034
3.352804011	7.55772555
3.332601722	7.77740101
3.321482164	5.93025728
<hr/>	
3.296445699	7.38857478
4.299705341	6.34334418
4.303917393	5.93025728
4.325814987	4.22728236
3.290891166	5.84439335
3.29135243	14.42122761
<hr/>	
3.281272544	11.49267062
3.272232762	7.997071078
4.275383253	4.433004693
3.290430196	8.7138892
3.282638687	8.30185483
3.282638687	11.02285379
<hr/>	
4.657236068	12.1389794
3.507150205	10.65263333
3.423283698	8.05113643
2.414716663	10.59398749
1.350811645	5.830608884
0.314313186	4.070037974
<hr/>	
0.303917393	4.611179828
0.284007481	4.496672236
2.277642465	3.660533307
2.277642465	4.118970284

3.277642465	3.024322842
2.278548215	6.776577691
<hr/>	
2.275834505	8.853027929
3.286753016	8.829289996
1.285836661	11.3153583
0.29135243	10.51772817
0.279001533	5.168123515
0.279455145	5.162771845
<hr/>	
1.283094657	5.16201327
1.280363255	4.148248382
2.255821286	4.148248382
2.249717669	4.149711861
3.253634716	7.154509416
3.268203422	9.15265674
<hr/>	
3.282638687	9.153767227
3.29784093	9.154138135
6.283550922	14.15599827
5.303917393	12.16201327
8.291813987	13.16467479
5.276737895	14.2169762
<hr/>	
6.27403127	12.16201327
3.270438986	12.15044584
3.274932297	12.13640309
3.277190032	10.14066327
2.284464334	10.14030619
2.280817752	9.141378547
<hr/>	
2.278095192	9.17276862
1.280817752	9.208042068
4.285378924	8.160878198
4.290891166	8.167354531
4.283094657	6.164293459
3.274481636	6.172379486
<hr/>	
3.2735812	5.15265674
3.278548215	7.141736749
3.283094657	6.167354531
3.283094657	6.185015766
3.308625232	6.210154438
8.303448217	6.167354531
<hr/>	
7.304856622	7.159369978
6.329686151	8.179836483
5.30673859	6.177073588
5.294589494	6.151918281
5.291813987	9.153767227

5.295053105	9.165821021
5.296445699	9.170826662
5.304386862	9.157867715
2.447220095	8.142454276
2.321482164	7.167354531
2.259775864	7.141378547
2.259335277	9.147883446
2.255821286	8.126673158
2.257575902	8.126331125
2.259775864	8.125989469
2.258015299	8.123947468
3.260216748	6.125307291
3.265530521	6.138526425
3.264198071	6.15749308
3.269991281	6.22258865
4.262868292	0.237116718
4.272232762	6.201344664
3.33114263	10.14642744
3.298306594	9.144254647
0.284007481	10.13254542
0.300172176	10.13605051
0.352305486	17.12838899
0.283094657	10.13011424
0.277642465	10.13150123
1.302042444	8.219127429
1.305326676	8.221721124
3.287670547	9.226510848
3.286753016	8.224763946
2.308153134	9.225200116
2.299238799	8.224763946
2.296910483	6.236670546
2.29551701	11.28700332
1.305326676	7.282643057
1.289049049	6.250217026
0.279909053	8.233557716
0.319564029	7.270689763
0.356301772	8.252048454
0.279455145	7.266913892
5.280363255	9.10000038
5.282183011	10.39999962
5.276737895	9.60000038
4.285836661	9.29999924
4.325332399	8.79999924

3.325814987	8.20000076
4.326297865	7.23456791
3.326297865	9.79999924
3.324368095	8.09999847
3.284921482	9.20000076
2.404638431	12.90000153
5.326297865	9.20000076
5.311463957	8.60000038
3.298306594	9.20000076
3.284464334	10.29999924
2.272232762	7.23452839
2.265086074	8.60000038
0.26731127	9.70000076
0.266420303	10.79999924
0.263754515	7.974179457
0.265530521	8.563189475
0.2735812	9.89999962
0.27403127	11.70000076
0.278548215	9.606780038
0.26909676	8.60000038
2.271335282	9.39999962
2.318606709	8.249717669
4.295981208	9.248850497
3.272232762	10.2501517
4.284921482	10.24928393
4.285378924	9.249283934
4.261099408	9.257575902
3.255821286	8.251455596
3.258454994	8.252762174
3.264641924	8.251020667
3.262868292	9.262868292
2.249283934	10.28355092
2.24625615	9.279001533
3.245824805	9.280363255
3.247984519	8.290891166
3.249283934	7.978546885

**C. Tabla de selección de datos de concentración entre semana y fin de semana de asaderos ambulantes.**

Concentración entre semana (ppm)	Concentración en fin de semana (ppm)
7.56229361	11.4563106
7.57541978	12.0681366
7.60840471	11.5431796
7.55017017	11.2555165
7.47757969	13.6825124
7.48162386	11.8830133
8.72531149	15.5834263
7.3971772	14.1617716
7.83210198	14.0615591
8.53646541	14.8723023
9.1408086	13.5522273
8.82475663	16.0123715
9.52713639	16.0977052
8.46793697	14.4571368
9.46394552	16.8816242
8.45127695	12.6108491
8.93581984	14.3058787
8.50885839	13.8336958
8.57214323	15.8750929
9.0586991	18.7973322
8.4593415	16.4053925
9.2825938	16.0734397
9.5265242	17.4882908
9.5201396	17.6624162
10.6658386	15.0216184
10.7042529	14.6359024
11.2733084	14.6156227
9.9682965	14.9827788
10.5222659	17.7738294
10.039357	16.0217883
9.8592196	12.9653987
10.0530928	15.9417365
9.53330155	13.9339159
9.9040539	13.925019
8.43713604	14.9183748
8.45631055	14.9261287
7.76654843	12.936147

7.56779747

5.50850613

6.19317397

5.75312614

5.81999542

11.9283502

12.947343

12.9540934

13.9790555

13.9722147

---

#### D. Tabla de concentración media en cada asadero entre semana

Asadero	Latitud	Longitud	Concentración (ppm)	Colonia
Establecido	19.1015186	-96.10553283	3.817141354	Boca del Río Centro
Establecido	19.1016235	-96.10695105	4.13308066	Río Jamapa Ricardo Flores Magón
Establecido	19.102022	-96.11148298	3.835466331	Magón
Establecido	19.1028493	-96.10322747	3.49123485	Pescadores Ricardo Flores Magón
Establecido	19.1051357	-96.10671099	3.799896927	Magón
Establecido	19.1102388	-96.1074016	3.314774327	La Tampiquera
Establecido	19.110636	-96.10823281	3.62572103	La Tampiquera
Establecido	19.1130282	-96.10588286	4.502976021	El Morro
Establecido	19.1145507	-96.10588621	4.625010406	El Morro
Establecido	19.1263539	-96.1229078	0.466544118	Carranza 3ª sección
Establecido	19.1291047	-96.11793671	3.282126555	Manantial Fernando Gutiérrez Barrios
Establecido	19.1301146	-96.1243889	2.464008776	Fernando Gutiérrez Barrios
Establecido	19.1301253	-96.12304095	3.9921208	Fernando Gutiérrez Barrios Venustiano
Ambulante	19.1303166	-96.12540733	8.892495677	Carranza 2ª Sección Fernando Gutiérrez Barrios
Establecido	19.1308773	-96.12538084	4.830777255	Barrios
Establecido	19.1315687	-96.11590359	3.512396153	Villa Rica Fernando Gutiérrez Barrios
Establecido	19.133144	-96.12512369	4.166058406	Fernando Gutiérrez Barrios
Establecido	19.135346	-96.12564068	4.996901395	Barrios
Establecido	19.1354537	-96.13368362	3.765191187	Las Vegas II
Ambulante	19.1364534	-96.13904737	7.54258197	Las Vegas II
Establecido	19.1375164	-96.13319144	4.136422659	Las Vegas II Venustiano
Establecido	19.137704	-96.1298872	3.616456605	Carranza 1ª Sección
Establecido	19.1379963	-96.14076197	4.923217303	Las vegas II Venustiano
Ambulante	19.1381147	-96.12907927	8.409436885	Carranza 1ª Sección
Establecido	19.1397194	-96.10645618	4.244068911	Las Américas Adolfo López Mateos
Establecido	19.1400466	-96.12438407	2.592822603	Mateos
Establecido	19.1402119	-96.10897712	0.26843818	Las Américas
Establecido	19.1419242	-96.1238342	4.12173203	1º de Mayo Sur
Establecido	19.1421779	-96.11931771	5.803789658	1º de Mayo Norte
Establecido	19.1435142	-96.12007979	3.801354503	1º de Mayo Norte
Establecido	19.1443308	-96.10392116	2.611251911	Fracc. Costa de Oro
Establecido	19.1473353	-96.10440262	3.447432688	Fracc. Costa de Oro
Establecido	19.147467	-96.10409584	0.974277932	Fracc. Costa de Oro

Establecido	19.1488034	-96.1231859	4.121651394	Manlio Fabio Altamirano
Establecido	19.1501213	-96.1224837	9.069906905	Casas Tamsa
Ambulante	19.1502843	-96.11561257	2.117633489	Casas Tamsa
Establecido	19.1504338	-96.1148709	2.265139168	Casas Tamsa
Establecido	19.152024	-96.1298256	3.332056454	Vista Alegre
Establecido	19.1526327	-96.1263976	10.52888654	Revolución
Ambulante	19.1536995	-96.1285033	3.768386336	Rigo
Establecido	19.1540668	-96.125229	3.443645779	Revolución
Establecido	19.1541863	-96.11448672	1.783233414	Jardines de Virginia
Establecido	19.1554851	-96.11144509	3.687213646	Jardines del Virginia
Establecido	19.1626586	-96.116941	2.916916939	Virginia
Establecido	19.1642296	-96.1270767	3.626308598	Virginia
Ambulante	19.1661513	-96.1256544	9.373852407	Virginia
Ambulante	19.1664899	-96.12425935	6.434857927	Virginia
Establecido	19.1675818	-96.11651681	5.289416636	Costa Verde

---



### E. Tabla de concentración media en cada asadero en fin de semana

Asadero	Latitud	Longitud	Concentración (ppm)	Colonia
Establecido	19.1015186	-96.10553283	11.98144483	Boca del Río Centro
Establecido	19.1016235	-96.10695105	14.70727635	Río Jamapa
Establecido	19.102022	-96.11148298	14.69781497	Ricardo Flores Magón
Establecido	19.1028493	-96.10322747	17.05032738	Pescadores
Establecido	19.1051357	-96.10671099	15.50859	Ricardo Flores Magón
Establecido	19.1102388	-96.1074016	14.43509559	La Tampiquera
Establecido	19.110636	-96.10823281	13.11953398	La Tampiquera
Establecido	19.1130282	-96.10588286	6.434857925	El Morro
Establecido	19.1145507	-96.10588621	8.540609677	El Morro
Establecido	19.1263539	-96.1229078	6.197814972	Carranza 3ª sección
Establecido	19.1291047	-96.11793671	7.716994047	Manantial
Establecido	19.1301146	-96.1243889	6.175256663	Fernando Gutiérrez Barrios
Establecido	19.1301253	-96.12304095	9.802909302	Fernando Gutiérrez Barrios
Ambulante	19.1303166	-96.12540733	7.276393355	Venustiano Carranza 2ª Sección
Establecido	19.1308773	-96.12538084	10.31854847	Fernando Gutiérrez Barrios
Establecido	19.1315687	-96.11590359	9.907131934	Villa Rica
Establecido	19.133144	-96.12512369	7.388424865	Fernando Gutiérrez Barrios
Establecido	19.135346	-96.12564068	11.10329647	Fernando Gutiérrez Barrios
Establecido	19.1354537	-96.13368362	9.459580349	Las Vegas II
Ambulante	19.1364534	-96.13904737	8.77817543	Las Vegas II
Establecido	19.1375164	-96.13319144	8.080941322	Las Vegas II
Establecido	19.137704	-96.1298872	7.217082405	Venustiano Carranza 1ª Sección
Establecido	19.1379963	-96.14076197	9.806841482	Las vegas II
Ambulante	19.1381147	-96.12907927	8.809965932	Venustiano Carranza 1ª Sección
Establecido	19.1397194	-96.10645618	7.359179927	Las Américas
Establecido	19.1400466	-96.12438407	8.660224035	Adolfo López Mateos
Establecido	19.1402119	-96.10897712	8.556230585	Las Américas
Establecido	19.1419242	-96.1238342	4.448042698	1º de Mayo Sur
Establecido	19.1421779	-96.11931771	8.311872327	1º de Mayo Norte
Establecido	19.1435142	-96.12007979	5.652564675	1º de Mayo Norte
Establecido	19.1443308	-96.10392116	12.00126131	Fracc. Costa de Oro
Establecido	19.1473353	-96.10440262	10.97853503	Fracc. Costa de Oro
Establecido	19.147467	-96.10409584	7.840952727	Fracc. Costa de Oro
Establecido	19.1488034	-96.1231859	6.170712126	Manlio Fabio Altamirano
Establecido	19.1501213	-96.1224837	7.664631096	Casas Tamsa

Ambulante	19.1502843	-96.11561257	8.321294196	Casas Tamsa
Establecido	19.1504338	-96.1148709	7.461129156	Casas Tamsa
Establecido	19.152024	-96.1298256	6.351537533	Vista Alegre
Establecido	19.1526327	-96.1263976	10.9796213	Revolución
Ambulante	19.1536995	-96.1285033	8.226605088	Rigo
Establecido	19.1540668	-96.125229	8.096026557	Revolución
Establecido	19.1541863	-96.11448672	9.077818792	Jardines de Virginia
Establecido	19.1554851	-96.11144509	9.239094778	Jardines del Virginia
Establecido	19.1626586	-96.116941	8.855754985	Virginia
Establecido	19.1642296	-96.1270767	9.772894885	Virginia
Ambulante	19.1661513	-96.1256544	9.225916651	Virginia
Ambulante	19.1664899	-96.12425935	8.918563701	Virginia
Establecido	19.1675818	-96.11651681	9.062537009	Costa Verde

---