



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Boca del Río

Subdirección Académica
División de Estudios de Posgrado e Investigación

"2020, Año de Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria"



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**"MONITOREO DE MONÓXIDO DE CARBONO PROVENIENTE DEL
PROCESAMIENTO DE CAÑA DE AZÚCAR EN ZONA ALEDAÑA AL INGENIO EL
MODELO, MÉXICO"**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL

PRESENTA

ING. CARLOS ALBERTO TOLEDO BARRIOS

DIRECTOR DE TESIS

DR. ARTURO GARCÍA SALDAÑA



Km. 12 Carretera Veracruz-Córdoba, Boca del Río, Ver. C.P. 20120
Tel. (229) 690 5010 correo: direccion@itbo.ca | direccion@tecnm.mx
www.tecnm.mx | www.bdelrio.tecnm.mx





Instituto Tecnológico de Boca del Río
Subdirección Académica
División de Estudios de Posgrado e

"2020, Año de Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria"

Boca del Río, Ver., 25/mayo/ 2020

ASUNTO: **AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN**

ING. CARLOS ALBERTO TOLEDO BARRIOS
PASANTE DE LA 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:

"MONITOREO DE MONÓXIDO DE CARBONO PROVENIENTE DEL PROCESAMIENTO DE CAÑA DE AZÚCAR EN ZONA ALEDAÑA AL INGENIO EL MODELO, MÉXICO"

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



A T E N T A M E N T E
Excelencia en Educación Tecnológica®
Por nuestros mares responderemos

M.C. ANA LETICIA PLATAS PINOS
JEFA DE LA DIVISION DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACION

c.c.p. Coordinación del Programa MCIAMB

c.c.p. Expediente





"2020, Año de Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria"

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

Número Registro A-0723-130818

En la ciudad de Boca del Río, Ver., siendo las 13:00 horas del día 10 del mes de febrero de 2020 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:

"MONITOREO DE MONÓXIDO DE CARBONO PROVENIENTE DEL PROCESAMIENTO DE CAÑA DE AZÚCAR EN ZONA ALDAÑA AL INGENIO EL MODELO, MÉXICO"

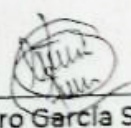
Que presenta el (la) alumno(a):

ING. CARLOS ALBERTO TOLEDO BARRIOS
Aspirante al Grado de:

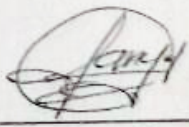
Maestro en Ciencias en Ingeniería Ambiental

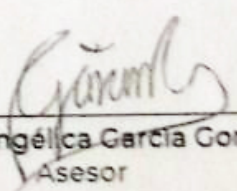
Después de escuchar las opiniones sobre el documento escrito e intercambiar puntos de vista, los miembros de la Comisión manifestaron SU APROBACIÓN, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes para su defensa ante el jurado correspondiente.

LA COMISIÓN REVISORA:


Dr. Arturo García Saldaña
Director


Dr. Agustín Leobardo Herrera May
Codirector


Dra. Fabiola Lango Reynoso
Asesor


M.C. Irma Angélica García González
Asesor



RESUMEN

Las principales fuentes de emisión del Monóxido de Carbono (CO) son los procesos de combustión, actividades agropecuarias y los procesos industriales sin combustión. Dichas fuentes de CO afectan la salud humana, la deforestación y, contaminan los ecosistemas que tienen gran valor ambiental y socioeconómico. Por tal motivo, se consideró el monitoreo ambiental como alternativa para identificar dicho contaminante y los factores meteorológicos con los que se relaciona. Se monitoreó para conocer la concentración de CO y su relación con los factores meteorológicos temperatura y humedad relativa. Se aplicó la metodología del Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire. Se tomó como referencia cuatro puntos de muestreo, ubicados en los cuatro puntos cardinales, tomando como punto de partida la ubicación del ingenio. Los resultados de concentraciones en la temporada de zafra y de no zafra estuvieron por debajo de los límites permisibles de la NOM-021-SSA1-1993; con una media de 6.41 ppm en la temporada de zafra y 0.4525 ppm en no zafra. Se encontraron diferencias significativas con respecto al monitoreo entre ambas temporadas con una $t = 17.64$; $p\text{ valor} = 0.000$. Se encontraron diferencias significativas con respecto al monitoreo entre los cuatro puntos de muestreo de la temporada de zafra con un $f = 4.28$ y $p\text{ valor} = 0.006$. Se determinó una correlación significativa entre el CO y la temperatura con un valor de $R = 0.758$; $p\text{ valor} = 0.000$ y $R^2 = 0.574$; además, se encontró una correlación débil entre el CO y humedad con un valor de $R = 0.475$; $p\text{ valor} = 0.000$ y $R^2 = 0.225$. Por tanto, el objetivo de este trabajo fue determinar la cantidad de concentración de CO durante los periodos de zafra, no zafra y su correlación con la temperatura y humedad relativa en la zona aledaña al ingenio El Modelo.

PALABRAS CLAVE:

Contaminación ambiental, Efectos a la salud del CO, Monóxido de Carbono, Raspberry Pi.

ABSTRACT

The main sources of carbon monoxide (CO) emissions are combustion processes, agricultural activities, and industrial processes without combustion. These sources of CO affect human health, deforestation and pollute ecosystems that have great environmental and socioeconomic value. For this reason, environmental monitoring is considered as an alternative to identify said pollutant and the meteorological factors with which it is related. It was monitored to know the CO concentration and its relationship with meteorological factors, temperature and relative humidity. The Methodology of the National Air Quality Information System (SINAICA by Spanish acronym) was applied. Four sampling points were considered as reference, the four cardinal points were considered, the location of the mill was taken as the starting point. The results of determined in the harvest season and of non-harvest affected below the permissible limits of NOM-021-SSA1-1993; with an average of 6.41 ppm in the harvest season and 0.4525 ppm in non-harvest. Differences were found regarding monitoring between both seasons with a $t = 17.64$; $p \text{ value} = 0.000$. Identified differences were found regarding monitoring between the four sampling points of the harvest season with an $f = 4.28$ and $p \text{ value} = 0.006$. A significant correlation between CO and temperature was determined with a value of $R = 0.758$; $p \text{ value} = 0.000$ and $R^2 = 0.574$; in addition, a weak correlation was found between CO and humidity with a value of $R = 0.475$; $p \text{ value} = 0.000$ and $R^2 = 0.225$. Therefore, the aim of this research was to determine the amount of CO concentration during the harvest and non-harvest periods and its correlation with the temperature and relative humidity in the area surrounding the El Modelo mill.

Keywords:

Environmental Pollution, CO Health Effects, Carbon Monoxide, Raspberry Pi.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia Y Tecnología (CONACYT) por el apoyo al desarrollo académico que mantiene avante la educación y la investigación en nuestro país.

Al Tecnológico Nacional de México, por la aceptación del proyecto “**MONITOREO AMBIENTAL DE MONÓXIDO DE CARBONO, DERIVADO DEL PROCESAMIENTO DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN ZONA ALEDAÑA AL INGENIO EL MODELO VERACRUZ**” al cual pertenece este trabajo.

Al instituto Tecnológico de Boca del Río,

A la Universidad Veracruzana, por su asesoramiento, apoyo incondicional e instalaciones fundamentales para el desarrollo del proyecto.

Al Dr. Arturo García Saldaña por su apoyo, sabios consejos, correcciones y comentarios durante la maestría y sus valiosos conocimientos.

Al Dr. Agustín Leobardo Herrera May por su apoyo, paciencia y sabios consejos y sobre todo por sus valiosos conocimientos y tiempo.

A las Dras. María del Refugio Castañeda Chávez, Fabiola Lango y a la M.C. Irma Angélica García González por sus conocimientos y valiosos consejos a lo largo de la maestría.

A mis padres,

A mis hermanos,

A mi prometida,

A los doctores del Instituto Tecnológico de Boca del Río que nos brindaron sus conocimientos a lo largo de la maestría.

A la MCIA 2018-2020, por hacer de esta una gran experiencia y darme muchos compañeros y amigos en el camino de los cuales adquirí conocimientos.

DEDICATORIA

Le dedico este logro a Dios

A mis padres María Isabel BB y Sergio Toledo por sus consejos y amor incondicional.

A Elisa NA por todo el tiempo que me ha brindado de apoyo siendo un soporte y fuente de inspiración y superación día a día. Gracias amor.

A mis hermanos Erika María y Sergio Federico, por motivarme a salir siempre adelante y superarme.

A mis abuelos sobrina Sara María y familiares por todos los buenos alientos y buena vibra que me brindaron en esta etapa de formación.

CONTENIDO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS	<i>ii</i>
AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN	<i>iii</i>
RESUMEN	<i>iv</i>
ABSTRACT	<i>v</i>
AGRADECIMIENTOS	<i>vi</i>
DEDICATORIA	<i>vii</i>
CONTENIDO	<i>viii</i>
ÍNDICE DE FIGURAS	<i>xi</i>
ÍNDICE DE TABLAS	<i>xiii</i>
1. INTRODUCCIÓN	<i>1</i>
2. MARCO TEÓRICO	<i>3</i>
2.1 Teorías científicas	<i>3</i>
2.1.1 Monóxido de carbono CO	<i>3</i>
2.1.2 Propiedades físicas y químicas	<i>4</i>
2.1.3 Clasificación según su origen	<i>4</i>
2.2 La atmósfera	<i>5</i>
2.2.1 Contaminación atmosférica	<i>5</i>
2.3 Fuentes de contaminación del aire	<i>6</i>
2.3.1 Influencia de la combustión en la generación de contaminantes	<i>7</i>
2.4 Efecto invernadero	<i>7</i>
2.5 Contaminación por CO	<i>8</i>
2.5.1 Efectos a la salud por Monóxido de Carbono CO	<i>8</i>
2.6 Sistema de medición de calidad del aire	<i>10</i>
2.6.1 Métodos de medición de calidad del aire	<i>11</i>
2.6.2 Muestreo pasivo	<i>12</i>
2.6.3 Muestreo activo	<i>12</i>
2.6.4 Analizadores o monitores automáticos	<i>12</i>
2.6.5 Sensores remotos	<i>13</i>
2.7 Nuevas Tecnologías	<i>13</i>
2.7.1 Sensores	<i>13</i>
2.7.2 Niveles de contaminación de CO en relación con humedad y temperatura (Mendoza, 2019)	<i>14</i>
Reporto que los gases se relacionan de manera muy circunstancial con la humedad y temperatura, la concentración de CO sufre un aumento siempre y cuando la humedad en el ambiente se encuentre elevada, y del mismo modo si se tiene una temperatura elevada el CO aumenta, pero tiende a elevarse a la atmosfera.	<i>14</i>
2.7.3 Sensor MQ-7	<i>14</i>
2.7.3.1 Características del MQ-7	<i>15</i>
2.7.5 Sensor DHT22	<i>17</i>
2.8 Raspberry Pi	<i>18</i>
2.9 Industria azucarera	<i>21</i>
	<i>viii</i>

2.9.1 Ingenios azucareros	21
2.9.2 Proceso de producción de azúcar	21
2.9.2.1 Campo	22
2.9.2.2 Generación de vapor y energía eléctrica	23
2.9.3 Impactos generados por el proceso de producción de azúcar	24
2.9.3.1 Consecuencias ambientales de la quema de caña	24
2.9.3.2 Consecuencias a la salud por la quema de caña	25
2.9.3.3 Emisiones a la atmosfera por proceso azucarero	25
2.10 Normatividad de la calidad del aire	27
2.11 Efectos en el hombre	28
2.12 Convenios sobre contaminación a la atmósfera	29
2.12.1 La Declaración de Estocolmo	29
2.12.2 Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo adoptado en la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo	29
2.12.3 Convenio de Viena para la protección de la capa de ozono	29
2.12.4 Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de Ozono	30
2.12.5 Convención marco de las naciones unidas sobre cambio climático	30
2.12.6 Protocolo de Kyoto de la Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático	31
3. MARCO REFERENCIAL	31
3.1 Área de estudio	31
3.2 Antecedentes	31
4. JUSTIFICACIÓN	34
5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	35
5.1 Situación problemática	35
5.2 Delimitación del problema	36
5.3 Pregunta de investigación	36
6. HIPÓTESIS	36
7. OBJETIVOS	37
7.1 General:	37
7.2 Particulares:	37
8. MATERIALES Y MÉTODOS	37
8.1 Área de estudio	37
8.2 Criterios de selección de los puntos de muestreo y materiales para dispositivo seleccionado	40
8.3 Caracterización del punto de muestreo	40
8.4 Implementación de instrumento de medición	40
8.5 Diseño experimental	41
8.6 Muestreo	43
8.6.1 Captura de los datos.	43
8.7 Análisis y preparación de los datos	45
8.8 Tratamiento estadístico de los datos	46
9. RESULTADOS	47

9.1	Análisis exploratorio de los datos.	47
9.1.1	Caracterización de la zona	47
9.2	Implementación del dispositivo de monitoreo	49
9.3	Análisis estadístico temporada de zafra y no zafra	49
9.3.1	Análisis estadístico temporada de zafra.	56
9.3.1.1	Test de normalidad	56
9.3.2	Correlación del monóxido de carbono con las variables meteorológicas (temperatura, humedad relativa, dirección y velocidad del viento	61
9.4	Comparación de los resultados obtenidos del CO con límites permisibles de la NOM-021-SSA1-1993	71
10.	DISCUSIÓN	71
10.1	Caracterización de la zona	71
10.2	Implementación del dispositivo de monitoreo	71
10.3	Análisis estadístico temporada de zafra y no zafra	71
10.3.1	Análisis estadístico de zafra en los diferentes puntos muestreados.	72
10.3.2	Correlación de las variables meteorológicas con el monóxido de carbono.	72
10.4	Comparación de los datos obtenidos con la NOM-021-SSA1-1993	73
11.	CONCLUSIONES	73
12.	LITERATURA CITADA	74
13.	ANEXOS	78
13.1	Tabla de datos obtenidos en zafra.	78
13.2	Tabla de datos obtenidos en no zafra.	79
13.3	Tabla de datos obtenidos en zafra por puntos.	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Formación del monóxido de carbono (Caicedo <i>et al.</i>).	3
Figura 2. Esquema de una combustión incompleta.(Castillo Martínez y Rivera García, 2004).	7
Figura 3. Efectos a la salud del monóxido de carbono: (Manuel, Arias <i>et al.</i> , 1973).	9
Figura 4. Sensor MQ-7 para medir monóxido de carbono (Mechatronics, 2018).	14
Figura 5. Respuesta del sensor CO(Mechatronics, 2018).	15
Figura 6. Sensor MQ-7 para medir monóxido de carbono (Mechatronics, 2018).	17
Figura 7. Sensor DHT22 para medir temperatura y humedad (Crespo, 2016).	17
Figura 8. Principales componentes de una Raspberry Pi (Pi, 2019).	19
Figura 9. Modelos de Raspberry Pi. A) Modelo Raspberry Pi 1; B) Modelo Raspberry Pi 2; C) Modelo Raspberry Pi 3; D) Modelo Raspberry Pi Zero; E) Modelo Raspberry Pi Zero W Fuente: (Llamas, 2017).	20
Figura 10. Proceso de producción de azúcar (Marín, 2014).	22
Figura 11. Proceso de producción de azúcar. Fuente propia.	23
Figura 12. Emisión de gases a la atmosfera (JAVIER, 2011).	26
Figura 13. Ubicación geográfica del área de muestreo (Ingenio-Azucarero-Modelo, 2018).	37
Figura 14: Representación gráfica del sitio de muestreo. Fuente propia	38
Figura 15: Representación de relieve del sitio de muestreo. Google, INEGI 2018.	39
Figura 16: Materiales para equipo de medición. Fuente propia.	41
Figura 17: Esquema de arreglo experimental. Fuente propia.	42
Figura 18: Calibración de equipo de monitoreo para validación de funcionamiento. Fuente propia.	44
Figura 19: Monitoreo de CO, temperatura y humedad relativa en temporada de zafra y no zafra. Fuente propia.	44
Figura 20: Representación geográfica de la toma de muestras.	48
Figura 21: Medición de la concentración de CO en la zona aledaña al ingenio el Modelo.	49
Figura 22: Representación gráfica de la normalidad de los datos con las tres repeticiones realizadas.	50
Figura 23: Representación de la normalidad con los datos transformados.	51
Figura 24: Representación gráfica de la normalidad.	52
Figura 25: Representación gráfica de la normalidad datos transformados.	53
Figura 26: Diferencias de la concentración de CO en cada temporada. NZ = no zafra; Z = zafra.	55

Figura 27: Representación gráfica de normalidad.	57
Figura 28: CO puntos de muestreo en zafra.	59
Figura 29: Rango de concentración del CO con respecto a la temperatura, zafra.	61
Figura 30: Rango de concentración del CO con respecto a la humedad relativa, zafra.	62
Figura 31: Rango de concentración del CO con respecto a la temperatura, no zafra.	63
Figura 32: Rango de concentración del CO con respecto a la humedad relativa, no zafra.	63
Figura 33: Rango de concentración del CO con respecto a la temperatura, humedad relativa y velocidad de viento en punto norte.	65
Figura 34: Rango de concentración del CO con respecto a la temperatura, humedad relativa y velocidad de viento en punto oeste.	66
Figura 35: Rango de concentración del CO con respecto a la temperatura, humedad relativa y velocidad de viento en punto sur.	67
Figura 36: Rango de concentración del CO con respecto a la temperatura, humedad relativa y velocidad de viento en punto este.	68
Figura 37: Comportamiento del CO en los diferentes puntos considerando las variables meteorológicas.	69
Figura 38: Mapa de comportamiento de la dispersión del CO, en las diferentes temporadas zafra y no zafra.	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química de gases de la atmósfera (Caballero et al., 2007).	5
Tabla 2. Efectos a la salud del monóxido de carbono: (Manuel, Arias et al., 1973).	10
Tabla 3. Sistemas de medición de calidad del aire. (García, 2011).	11
Tabla 4. Características del Sensor DHT22 (Crespo, 2016).	18
Tabla 5. Características de los modelos de Raspberry Pi (Llamas, 2017).	20
Tabla 6. Valores normados para los contaminantes del aire en México en materia de salud, (De la Luz González, 2000).	27
Tabla 7. Síntomas en el cuerpo debido al monóxido de carbono.(Aránguez, Ordóñez et al., 1999).	28
Tabla 8. Variables obtenidas por estaciones del Estado de Veracruz (SEDEMA, 2019a).	35
Tabla 9. Caracterización de las temporadas de zafra y no zafra.	47
Tabla 10: Valor estadístico de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk con los datos transformados (Johnson).	50
Tabla 11: Valor estadístico de la prueba Jhonson.	52
Tabla 12: Valores promedio en diferentes temporadas.	54
Tabla 13: t de student para comparar las temporadas de zafra y no zafra	54
Tabla 14: Datos temporada de zafra puntos N, O, S y E.	57
Tabla 15: Prueba ANOVA puntos N, O, S y E.	58
Tabla 16: Medias muestrales e intervalos de confianza para el conjunto de datos de los factores: puntos de muestreo.	58
Tabla 17: Método Tukey.	59
Tabla 18: Correlación CO, Temperatura y humedad relativa en temporada de zafra.	61
Tabla 19: Correlación CO, Temperatura y humedad relativa en temporada de no zafra.	62
Tabla 20: Correlación CO, Temperatura y humedad relativa y velocidad del viento en temporada de zafra en los puntos N, O, S y E.	64
Tabla 21: Datos promedio de la temporada de zafra en sus respectivos puntos de muestreo.	69

1. INTRODUCCIÓN

Una de las principales industrias del sector agropecuario en México con gran importancia económica y social es la azucarera. La producción de azúcar es una actividad agroindustrial que se realiza en México, en estados como Campeche, Colima, Chiapas, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, Sinaloa, San Luis Potosí, Tabasco, Tamaulipas y Veracruz, estados donde se encuentran las condiciones apropiadas para el cultivo de caña (SAGARPA, 2018).

En cuanto al CO sabemos que es un gas producido por la combustión incompleta del carbón o de sustancias orgánicas. Es un contaminante de las ciudades, producido, especialmente, por los automóviles. También es el resultado de incendios forestales (Téllez Y Rodríguez, 2006).

En relación con el CO se han realizado diversos estudios en la calidad de vida de la población, los cuales denotan factores asociados a la contaminación ambiental producida por las actividades antropogénicas, siendo estas cada vez más influyentes tanto a nivel de ecosistema como en la salud de las personas. Las emisiones de CO atribuibles al sector agroindustrial y de transporte son uno de los principales factores responsables de la generación de Gases de Efecto Invernadero (GEI), (los países industrializados contribuyen a una emisión, aproximadamente igual al 80 % del total).

Es por ello que el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) perteneciente al Programa de Medio Ambiente de las Naciones Unidas y la Organización Mundial Meteorológica han reportado que el cambio climático es riguroso y su impacto irá en aumento con el incremento de las temperaturas, pasando de ser un problema ambiental a un problema de desarrollo con impactos en la sociedad, economía, los ecosistemas, estacionalidad de las surgencias (Barange Y Perry, 2012; EPA, 2008; Stern Y Stern, 2007).

Una de las principales causas de emanaciones de (GEI) se deben a la industrialización, la cual constituye el eje del desarrollo económico para el ser humano, sin embargo, al no utilizarse las tecnologías ni los manejos adecuados son una fuente de contaminación del aire, agua; afectando la salud de los trabajadores, el medio ambiente, la salud de las poblaciones cercanas e incluso de las que se encuentran distantes (OPS, 2000).

Los sistemas de monitoreo ambiental se han convertido en una de las necesidades latentes que presentan los sectores industriales, alimenticios y médicos. Los instrumentos de medición son parte fundamental, en la generación de información oportuna. Estos permiten observar, registrar, analizar y almacenar el conjunto de datos digitales que son resultado del comportamiento en las condiciones ambientales del volumen o área en que se encuentran instalados. Con la aparición de las tecnologías inalámbricas se han reemplazado las instalaciones complejas de cableado para comunicación y con ello la posibilidad de transmitir información a mayores distancias (Boboa Y Alberto, 2013).

En el puerto de Veracruz no existen sistemas de monitoreo móviles que evalúen los niveles de CO temperatura, humedad relativa, el cual se encargue de monitorear en tiempo real. Este trabajo se enfoca al desarrollo de un sistema de monitoreo ambiental portátil inalámbrico de las variables de humedad relativa y temperatura, CO de forma remota. Los sensores de humedad y temperatura son la parte fundamental del sistema de medición (SEDEMA, 2019a).

El proceso de medición de una variable generalmente requiere utilizar un instrumento como medio físico para determinar la magnitud de la misma. En el área de instrumentación estos son de gran importancia, ya que permiten encontrar el valor de la variable de interés. Un instrumento digital tiene las siguientes etapas: transductores (sensores), acondicionamiento de señal, procesamiento digital/analógico, despliegue de la variable medida y almacenamiento digital.

Las redes de sensores inalámbricos contribuyen en áreas militares, ambientales, de la salud, industriales, entre otras; debido al importante aporte que realizan las redes WSN (Wireless Sensor Networks) y sumado los avances tecnológicos existentes. La implementación de prototipos en áreas ambientales representa una estrategia clave para contribuir con el medio ambiente y el aire que respiramos. La implementación de una red de que determine las variaciones de los niveles de CO que constituye un aporte importante principalmente en la salud pública y seres vivos en general, es una prioridad la cual necesita de especial atención; gracias a los avances tecnológicos y el desarrollo de proyectos de este tipo es posible hacerlo.

La tecnología de instrumentación electrónica y sensores están disponibles a todo público; las metodologías para calculo y estimación de (GEI) ya están definidas; el siguiente paso es tomar estas herramientas e implementarlas en nuevas áreas de estudio con nuevos instrumentos que faciliten el entendimiento de cómo se comportan los GEI y como lo harán en un futuro cercano. Una propuesta tecnológica que está adquiriendo mucha popularidad en los últimos años es el uso de los Unmanned Aerial Vehicle (UAV) o comúnmente llamados drones.

A nivel regional, México solo cuenta con inventarios de gases de efecto invernadero para la zona metropolitana de la Ciudad de México. En la Ciudad de México se cuenta con un sistema de monitoreo atmosférico que es el responsable de la medición permanente de los principales contaminantes del aire (SEDEMA, 2018), comparado con el estado de Veracruz, no existe un inventario de emisiones; las pocas campañas de medición que se han realizado han sido en centros urbanos (Welsh, Rodríguez, Guzmán, Y Tapia, 2006).

2. MARCO TEÓRICO

En este apartado se encuentran las teorías y conceptos empleados para la comprensión y contextualización del problema planteado y la propuesta de hipótesis plausibles.

2.1 Teorías científicas

2.1.1 Monóxido de carbono CO

Características principales: Es un gas incoloro e inodoro, insípido, no irritante. Se combina con la hemoglobina en la sangre y desplaza al oxígeno del sitio de enlace. Obstaculiza la liberación de oxígeno en los tejidos y forma carboxihemoglobina. Puede llegar a concentraciones letales. Se produce por combustión incompleta de hidrocarburos y sustancias que contienen carbón, tales como la gasolina, el diésel, etc. Otras fuentes importantes de formación del monóxido de carbono son los incendios.

Efectos principales: En la Salud humana, produce la carboxihemoglobina que afecta al sistema nervioso central provocando cambios funcionales cardíacos y pulmonares, dolor de cabeza, fatiga, somnolencia, fallos respiratorios y hasta la muerte (NOM-021-SSA1-1993).

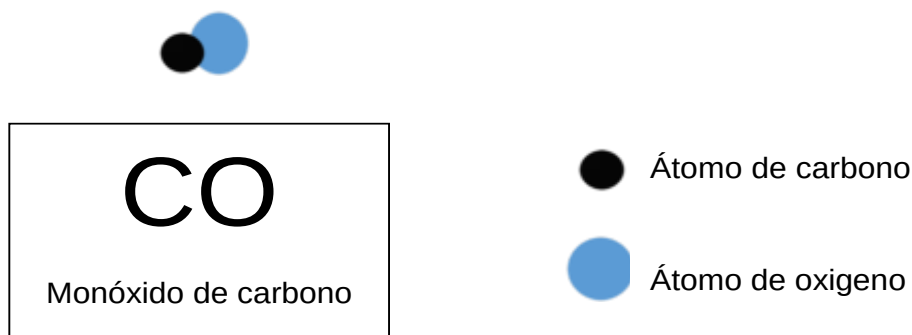


Figura 1. Formación del monóxido de carbono (Caicedo , Vergara, Y Moreno).

2.1.2 Propiedades físicas y químicas

Propiedades Físicas y Químicas del CO: se forma durante la combustión incompleta de sustancias carbonosas. Es un poco más ligero que el aire y muy poco soluble en el agua. El monóxido de carbono absorbe la radiación electromagnética en la región de infrarrojos y la banda principal de absorción está centrada en los 4.67 μ ; se utiliza esta propiedad en la medición de concentraciones atmosféricas de monóxido de carbono (Teitelbaum, 2012).

Los contaminantes químicos se agrupan tradicionalmente según presenten forma molecular o de agregados moleculares, lo que da lugar a conceptos típicos de gases, vapores, nieblas, humos, polvos y fibras que se comentan a continuación.

Forma molecular:

Gases: no proceden de un proceso de evaporación y en condiciones normales de presión y temperatura no coexisten con la fase líquida.

Vapores: proceden de un proceso de evaporación y en condiciones normales de presión y temperatura coexisten con la fase líquida (Castillo Y Rivera, 2004).

2.1.3 Clasificación según su origen

Los contaminantes de acuerdo a su origen se clasifican en: contaminantes primarios y contaminantes secundarios.

Contaminantes primarios:

Son aquellos que se originan en un punto de emisión, que revisten gran importancia por causar efectos notables sobre la salud o ser indicadores de contaminación, ellos son: humo y materia en suspensión, dióxido de azufre (SO_2), dióxido de nitrógeno (NO_2), compuestos orgánicos volátiles (CVO), monóxido de carbono CO, partículas con tamaño menor o igual 10 μ (PM_{10}), etc. Dentro de esta clasificación se encuentran los emitidos por los ingenios azucareros, ya que por la naturaleza de sus actividades estos generan: Cenizas, Humos, Óxidos de azufre, Dióxido de Carbono.

Contaminantes secundarios:

Son los contaminantes primarios que al tener contacto con la atmósfera tienen reacciones químicas uniéndose a otros componentes, como: ácido sulfúrico y sulfatos, ozono y otros contaminantes fotoquímicos. Una de las transformaciones más importantes que ocurre es la solución y oxidación del SO_2 que produce ácido sulfúrico y sulfatos. La solución puede producirse

en superficies libres de agua o terrenos húmedos y otras superficies sólidas, en la vegetación, y en las gotas de agua que compone la niebla, la lluvia y las nubes (Castillo Y Rivera, 2004).

2.2 La atmósfera

La atmósfera es una mezcla de gases, sólidos o partículas, la cual se ve afectada por los contaminantes atmosféricos. Los factores atmosféricos como las corrientes de aire, la temperatura influyen en el transporte, difusión y depósito de los mismos (Jodeute, 2017).

Tabla 1. Composición química de gases de la atmósfera (Caballero, Lozano, Y Ortega, 2007).

CONTAMINANTE	CONCENTRACION		Tiempo
	(ppm)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
Ozono (O_3) NOM-020-SSA1-2014	0.11 - 0.08	216	1 hr. - 8 hrs.
Monóxido de Carbono CO NOM-021-SSA1-1993	11	12.595	8 hrs. (movil)
Dióxido de Azufre (SO_2) NOM-022-SSA1-2010	0.13	341	24 hrs.
Dióxido de Nitrogeno (NO_2) NOM-023-SSA1-1993	0.21	395	1 hr.
Particulas Suspendidas Totales (PST) NOM-025-SSA1-2014	n/a	210	24 hrs.
PM $_{10}$ NOM-025-SSA1-2014	n/a	120 - 50	24 hrs. Annual
PM $_{2.5}$ NOM-025-SSA1-2014	n/a	65 - 15	24 hrs. Annual
Plomo (Pb) NOM-026-SSA1-1993	n/a	1.5	Trimestral

2.2.1 Contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica es la presencia de sustancias indeseables en el aire, en cantidades tales que produzca efectos nocivos a la salud humana, la vegetación, los bienes humanos y el medio ambiente en general (Castillo Y Rivera, 2004), la emisión al aire de sustancias peligrosas excediendo la capacidad de los procesos naturales de la atmósfera para transformarlos, precipitarlos, depositarlos o diluirlos por medio del viento y el movimiento del aire

(Yassi, Kjellstrom, Dekok, Y Guidotti, 2002). Siendo un problema severo en donde la acumulación, reacción del CO y otros gases contaminantes afectando la salud, el ecosistema, bienestar humano modificando la temperatura del planeta (Manuel *et al.*, 1973; Morales, 2006) pudiendo venir de cualquier naturaleza (Martínez Ataz Y Díaz de Mera Morales, 2004).

Provocando estas afectaciones a las zonas urbanas del mundo, constituyendo un riesgo ambiental para la salud, en el cual se reportan aproximadamente 3.3 millones de muertes anuales (Lim *et al.*, 2012). La contaminación atmosférica sigue siendo uno de los principales peligros a los que se enfrenta la salud pública. A pesar de los progresos realizados para controlar emisiones nocivas en las últimas décadas, aún se vislumbra lejos alcanzar los valores guía recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para una adecuada protección de la población (OMS. Guías de calidad del aire - actualización mundial 2005).

La contaminación atmosférica de las ciudades se ha convertido en un problema de salud pública universal. Al respecto, la (OMS) lo considera como una de las prioridades mundiales más importantes en relación con la salud. Según diversos estudios, la contaminación del aire es responsable del 1,4% de todas las muertes en el mundo, siendo la mitad de este impacto debida a las emisiones de los vehículos de motor. Éste es un problema global que afecta tanto a los países desarrollados, especialmente en sus grandes ciudades, como a los países en vías de desarrollo (Martínez *et al.*, 2010).

La contaminación de la atmósfera incide en la aparición y el agravamiento de las enfermedades cardiovasculares y respiratorias. El asma, la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), la aparición temprana de enfermedades respiratorias en los niños, los problemas alérgicos, la pérdida de la función pulmonar, e, incluso, el cáncer de pulmón aumenta a consecuencia de la contaminación ambiental (Martínez *et al.*, 2010).

2.3 Fuentes de contaminación del aire

a) Fuentes tecnológicas

Fuente móvil: fuente emisora de contaminantes que no se encuentra en un lugar permanente.

Fuente fija: fuente emisora de contaminantes que se encuentra en un lugar permanente. Se utiliza esta nomenclatura por el término industria, puesto que casi todas las actividades actuales son generadoras de agentes de contaminación. La gran cantidad de tipos de industrias que existen, la gama extraordinaria de materias primas que se utilizan y la diversidad de tecnologías

empleadas no permite generalizar, de forma que cuando se trata de valorar la contaminación atmosférica causada por estas, debe efectuarse un análisis a cada proceso en particular.

b) Fuentes naturales

El agente de contaminación natural más corriente es el polvo transportado por el viento, aunque las materias biológicas, las esporas, los pólenes y las bacterias pueden a veces producirse en cantidades suficientes para plantear problemas lejos de sus fuentes.

c) Fuentes agrícolas

Las prácticas agrícolas pueden crear materias biológicas contaminadoras, pero los contaminantes más importantes son los insecticidas y herbicidas que se utilizan en la agricultura.(Castillo Y Rivera, 2004)

2.3.1 Influencia de la combustión en la generación de contaminantes

Todo combustible, sea leña, gas, kerosina, gasolina o diésel, requiere aire para proveer el oxígeno necesario para su combustión. Al obtener una buena combustión se logrará una mayor eficiencia en el proceso y menor emisión de contaminantes a la atmósfera. La combustión puede ser completa e incompleta.

Combustión incompleta:

Se caracteriza por mayor emisión de gases, humos, cenizas y material particulado, además de necesitar un mayor consumo de combustible. Donde cualquier hidrocarburo produce dióxido de carbono, monóxido de carbono, agua, cenizas u otros productos, de acuerdo a la composición química del combustible (Castillo Y Rivera, 2004).

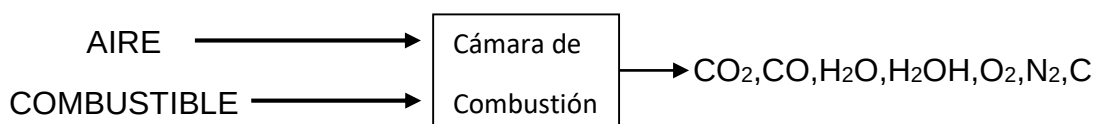


Figura 2. Esquema de una combustión incompleta.(Castillo Y Rivera, 2004).

2.4 Efecto invernadero

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 (Benavides Y León, 2007).

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.

Los (GEI) contenidos en la atmósfera que absorben la radiación infrarroja procedente de la Tierra son el dióxido de carbono, vapor de agua, óxido nitroso, metano, ozono y compuestos orgánicos volátiles.

2.5 Contaminación por CO

El CO es considerado uno de los mayores contaminantes de la atmósfera terrestre. Sus principales fuentes productoras responsables de aproximadamente 80% de las emisiones, son los vehículos automotores que utilizan como combustible gasolina o diésel y los procesos industriales que utilizan compuestos del carbono. Esta sustancia es bien conocida por su toxicidad para el ser humano. Sus efectos tóxicos agudos incluida la muerte han sido estudiados ampliamente; sin embargo, sus potenciales efectos adversos a largo plazo son poco conocidos. En los últimos años, los estudios de investigación experimentales en animales y epidemiológicos en humanos han evidenciado relación entre población expuesta en forma crónica a niveles medios y bajos de CO en aire respirable y la aparición de efectos adversos en la salud humana especialmente en órganos de alto consumo de oxígeno como cerebro y corazón (Tellez *et al.*, 2006).

2.5.1 Efectos a la salud por Monóxido de Carbono CO

Existen muchos estudios que demuestran que en altas concentraciones de monóxido de carbono pueden causar cambios fisiológicos y patológicos, y, finalmente, la muerte. El monóxido de carbono es un veneno que inhalado priva a los tejidos del cuerpo del oxígeno necesario.

Desde hace mucho tiempo se sabe que el monóxido de carbono puede causar la muerte cuando se encuentra expuesto a una alta concentración (>750 ppm). La combinación del monóxido de carbono conduce a la formación de la carboxihemoglobina COHb; la combinación del oxígeno y la hemoglobina produce la oxihemoglobina, O₂Hb. La hemoglobina tiene una afinidad por el CO que es aproximadamente 210 veces su afinidad por el oxígeno. Es decir, la presión parcial del CO requerido para saturar totalmente la hemoglobina es sólo de 1/200 a 1/250 de la presión parcial del oxígeno requerido para la completa saturación con el oxígeno. (Strauss, Mendoza Sierra, Y Mainwaring, 1990)

Los principales efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud van desde alteraciones de la función pulmonar, problemas cardíacos y otros síntomas y molestias hasta un aumento del número de defunciones, de ingresos hospitalarios y de visitas a urgencias, especialmente por causas respiratorias y cardiovasculares. Además, es inodoro, y a la hora de sentir un ligero dolor de cabeza ya es demasiado tarde. Se diluye muy fácilmente en el aire ambiental, pero en un medio cerrado, su concentración lo hace muy tóxico, incluso mortal (Tellez *et al.*, 2006).

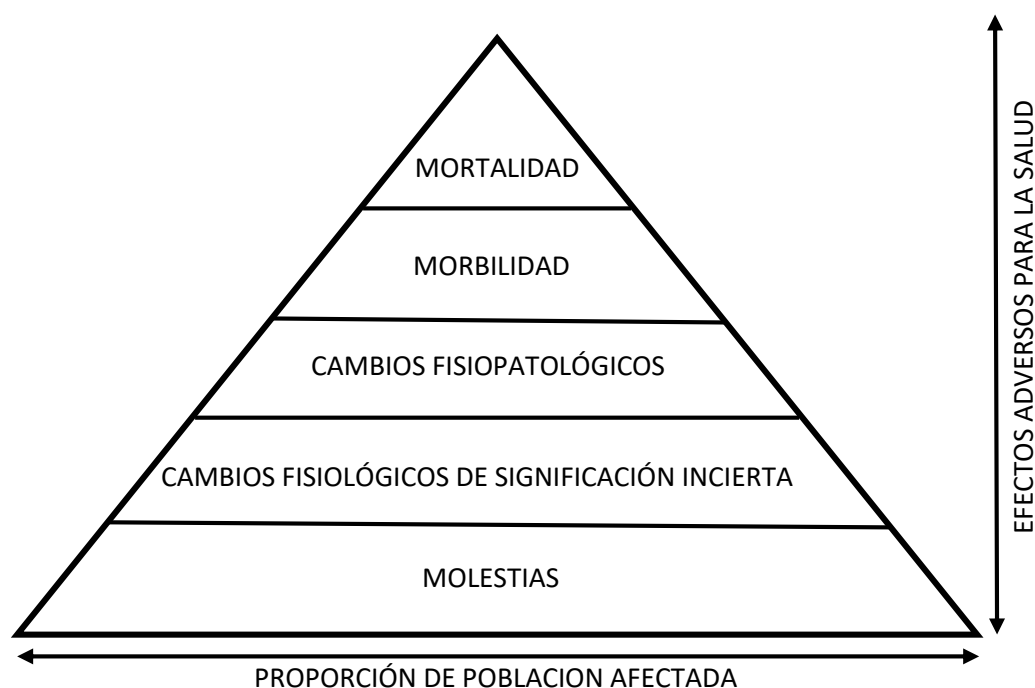


Figura 3. Efectos a la salud del monóxido de carbono: (Manuel *et al.*, 1973).

La OSHA, NIOSH, ACGIH establecieron que los límites permisibles de exposición laboral son de 11 ppm en una jornada laboral de ocho horas y un máximo de 40 ppm en un periodo no excedido de 15 minutos (NJHealth, 2016; NOM-021-SSA1-1993).

Tabla 2. Efectos a la salud del monóxido de carbono (Manuel *et al.*, 1973).

EFECTOS A LA SALUD DEL MONÓXIDO DE CARBONO A DIFERENTES CONCENTRACIONES	
CONCENTRACIÓN DE MONÓXIDO DE CARBONO	EFEECTO
0-229 mg/m ³ (0-200 ppm)	Ligero dolor de cabeza en algunos casos.
229-458 mg/m ³ (200-400 ppm)	Despues de 5-6 horas se puede observar un leve dolor de cabeza, nauseas, vertigo y sintomas mentales.
458-802 mg/m ³ (400-700 ppm)	Despues de 4-5 horas se puede observar un fuerte dolor de cabeza, incoordinacion muscular, debilidad, vomitos y colapso.
802-1260 mg/m ³ (700-1100 ppm)	Despues de 3-5 horas se puede observar un fuerte dolor de cabeza, debilidad, vomitos y colapso.
1260-1832 mg/m ³ (1100-1600 ppm)	Despues de 1.5-3 horas se puede observar coma, (la respiracion es aun bastante buena a no ser que el envenenamiento se haya prolongado).
1832-2290 mg/m ³ (1600-2000 ppm)	Despues de 1-1.5 horas hay posibilidad de muerte.
5726-11452 mg/m ³ (5000-10000 ppm)	Despues de 2-15 minutos se puede producir la muerte.

De seguir en aumento las concentraciones de monóxido de carbono esto podría traer consigo graves afectaciones a la salud lo que podría dar ocasionar un colapso a nuestra civilización debido a que no podríamos resistir los drásticos cambios en el ambiente (Manuel *et al.*, 1973).

2.6 Sistema de medición de calidad del aire

Son el conjunto de recursos humanos, técnicos y administrativos empleados para observar la calidad del aire permitiendo su evaluación, conocer los niveles de contaminación atmosférica, verificar y evaluar datos (SINAICA, 2016). Las Norma Oficial Mexicana (NOM), son técnicas que definen los métodos de medición recomendados para el monitoreo de los contaminantes criterio. Estos métodos de medición pueden ser de referencia o equivalentes.

En México la medición de la calidad del aire comenzó en la década de 1950 con el muestreo de partículas suspendidas y posteriormente contaminantes gaseosos, y en 1970 se desarrolló el programa de medición de calidad de aire en diversas ciudades (INECC, 2012).

La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) expidió la (NOM) la cual especifica las condiciones mínimas que deben ser observadas para el establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire y de muestreo de contaminantes atmosféricos mediante la NOM-156-SEMARNAT-2012 (SEMARNAT, 2012).

Tabla 3. Sistemas de medición de calidad del aire (García 2011) .

CONTAMINANTE	NOM	PUBLICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Dioxido de Azufre (SO ₂)	NOM-034-SEMARNAT-1993	18-oct-93	Método equivalente: fluorescencia ultravioleta.
Monóxido de Carbono CO	NOM-034-SEMARNAT-1993	18-oct-93	Método de referencia: absorcion en el infrarrojo.
Dioxido de Nitrogeno (NO ₂)	NOM-037-SEMARNAT-1993	18-oct-93	Método de referencia: quimioluminescencia en fase gaseosa.
Ozono (O ₃)	NOM-036-SEMARNAT-1993	18-oct-93	0.095 ppm, promedio horario. 0.070 ppm, maximo anual de promedio movil de 8 hrs.
Particulas Susoendidas Totales (PST)	NOM-035-SEMARNAT-1993	18-oct-93	Muestreo: alto volumen. Analisis gravimetria.
Particulas menores a 10 micrometros (PM ₁₀)	No se cuenta con una NOM de métodos de medición, sin embargo, se considera el método equivalente que recomienda US EPA.		Gravimetria o atenuacion de radiacion beta.
Particulas menores a 10 micrometros (PM _{2.5})	No se cuenta con una NOM de métodos de medición, sin embargo, se considera el método equivalente que recomienda US EPA.		Gravimetria o atenuacion de radiacion beta.
Plomo (Pb)	No se cuenta con una NOM de métodos de medición.		

2.6.1 Métodos de medición de calidad del aire

Generalmente los métodos de medición propuestos por la (NOM) tienen una correspondencia con los designados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA, por sus siglas en inglés), por lo que cuando no existe una (NOM) para un contaminante criterio se utiliza la recomendación de la (US EPA).

La medición de contaminantes atmosféricos se puede llevar a cabo mediante diversos métodos como son (Martínez, 1996; SINAICA, 2018), los cuales se integran por:

- Muestreo pasivo;
- Muestreo activo;
- Analizadores o monitores automáticos;
- Sensores remotos; y
- Bioindicadores

2.6.2 Muestreo pasivo

Se colecta un contaminante específico por medio de adsorción y/o absorción en un sustrato químico seleccionado. Presentan diversas formas y tamaños principalmente en forma de tubos o discos.

Su principal ventaja es la simplicidad y bajo costo, lo que se puede extender muchas unidades para que provean información en cuanto a la información a la distribución espacial de los contaminantes, no requieren de energía eléctrica para su funcionamiento.

Algunas desventajas son su tiempo resolución es limitado, no se desarrolla para todos los contaminantes, no tienen una gran exactitud (sirven como valor referencial), requieren de análisis de laboratorio.

2.6.3 Muestreo activo

Requieren energía para bombear el aire a muestrear a través de un medio de colección físico o químico. En donde el volumen del aire muestreado incrementa la sensibilidad obteniendo mediciones diarias promedio.

Se clasifican en burbujeadores (gases) e impactadores (partículas). De los impactadores (partículas) los más utilizados son el muestreador de alto volumen “High-Vol” para partículas suspendidas totales (PST), PM_{10} y $PM_{2.5}$.

Presenta la ventaja de fácil operación, son confiables y de bajo costo.

Algunas desventajas son que no se aprecian valores mínimos y máximos durante el día, solo promedios generalmente de 24 horas, se requiere análisis de laboratorio.

2.6.4 Analizadores o monitores automáticos

Nos permiten llevar a cabo mediciones de forma continua para concentraciones horarias y menores. Las muestras colectadas son analizadas utilizando métodos como espectroscopia y cromatografía de gases, teniendo la ventaja es que nos da lecturas de manera automática y en tiempo real. Se clasifican en analizadores automáticos y monitores de partículas. Donde los

analizadores automáticos sirven para determinar la concentración de gases contaminantes del aire. Los monitores de partículas son utilizados para determinar la concentración de partículas suspendidas.

Las ventajas que presentan son la obtención de valores en tiempo real, alta resolución; obtención de concentraciones máximas y mínimas.

Por otro lado, las desventajas son el costo elevado de adquisición y operación, requieren personal capacitado para su manejo; requieren mantenimiento y calibración periódica.

2.6.5 Sensores remotos

Se basan en técnicas espectroscópicas donde se transmite un haz de luz de una cierta longitud de onda a la atmósfera midiendo la energía absorbida haciendo posible medir en tiempo real la concentración de diversos contaminantes a lo largo de una trayectoria específica normalmente mayor de 100 m en la atmósfera.

Presentan la ventaja de obtener valores en tiempo real con alta resolución, así como también es útil en mediciones de emisiones de fuentes específicas, para realizar mediciones verticales en la atmósfera.

Sus desventajas son el elevado costo de adquisición; para su operación, mantenimiento y calibración se requiere personal altamente capacitado; no son siempre comparables con los analizadores automáticos convencionales.

2.7 Nuevas Tecnologías

Son innovaciones basadas en la ciencia con el potencial de crear una nueva industria o transformar una existente. Tecnologías de bajo costo las cuales por su fácil manejo y bajo costo permiten llevar a cabo proyectos de programación e investigación.

A continuación, se mencionan algunas características y diferencias.

2.7.1 Sensores

Se refiere a un elemento de medición que detecta la magnitud de un parámetro físico o químico y lo cambia por una señal que puede procesar el sistema. Al elemento activo de un sensor se le conoce comúnmente como transductor. El diseño de sensores y transductores siempre involucra alguna ley o principio físico o químico que relaciona la cantidad de interés con algún evento medible.

2.7.2 Niveles de contaminación de CO en relación con humedad y temperatura (Mendoza, 2019)

Reporto que los gases se relacionan de manera muy circunstancial con la humedad y temperatura, la concentración de CO sufre un aumento siempre y cuando la humedad en el ambiente se encuentre elevada, y del mismo modo si se tiene una temperatura elevada el CO aumenta, pero tiende a elevarse a la atmosfera.

Los sensores son transductores electroquímicos los cuales varían su resistencia cuando son expuestos a determinados gases, internamente contiene un calentador el cual se encarga de aumentar la temperatura internamente con lo que el sensor reacciona con los gases ocasionando que el valor de la resistencia cambie.

Por lo cual se implementaron sensores de monitoreo de gas para CO y (CO₂) con el fin de conocer las concentraciones de estos gases en el ambiente, también se implementaron sensores que nos determine la humedad y temperatura los cuales se consideran por la relación que existe entre los gases y los parámetros meteorológicos.

2.7.3 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, ya que podemos 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.



Figura 4. Sensor MQ-7 para medir monóxido de carbono (Mechatronics, 2018).

2.7.3.1 Características del MQ-7

- Módulo que incluye el sistema mínimo necesario para el funcionamiento del sensor MQ-7
- Basado en el sensor LM393
- Salida analógica y digital, esta última funciona mediante un comparador analógico.
- Voltage de alimentación 5 volts
- Detección de concentración de gas monóxido, ideal para alarmas de gas y aplicaciones industriales
- Ajuste de umbral para salida digital mediante potenciómetro.

Sensor de Monóxido de Carbono MQ-7 Este es un sensor que se usa para detectar la presencia de monóxido de carbono. El sensor MQ-7 Puede detectar concentraciones de gas en cualquier rango dentro de las 20 hasta las 2000 ppm (partículas por millón). Por lo cual se realizó un método estadístico para relacionar la temperatura y humedad relativa y reducir las ppm. Este sensor tiene una alta sensibilidad y un tiempo de respuesta rápido. La salida del sensor tiene una resistencia analógica.

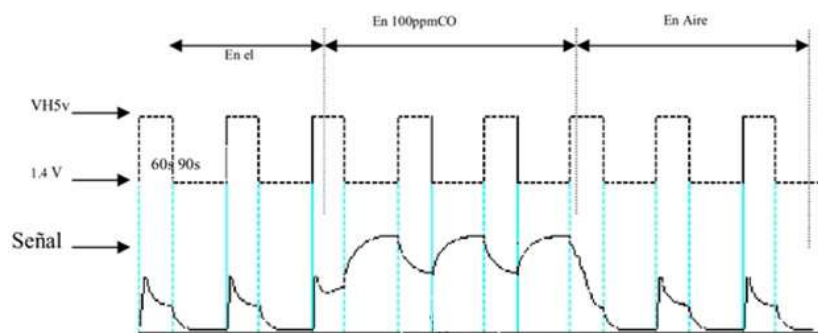


Figura 5. Respuesta del sensor CO (Mechatronics, 2018).

El valor de la resistencia del MQ -7 es diferente para varios tipos y concentraciones de gases. Para estos componentes, el ajuste de sensibilidad es muy necesario, el fabricante recomienda que se calibre el detector para 200ppm de CO en aire y se use un valor de resistencia de carga R_L de $10K \Omega$ ($5k \Omega$ a $47K \Omega$). (Mechatronics, 2018).

Formula inicial para MQ-7

$$R_s - R_l (V_c - V_{Rl}) / V_{Rl} \dots\dots\dots \text{Ecuación 1}$$

Donde:

R_s/R_l : Relación entre la resistencia superficial y la de carga.

V_c : Voltaje del circuito.

VRL: Voltaje en la resistencia de carga.

Cálculo de la resistencia de carga (RL): el valor de la resistencia de carga (RL) se es obtenida mediante la calibración de los sensores en ambientes controlados. La ecuación de calibración es la siguiente:

$$RL = Rs(en\ aire\ limpio) * e^{\frac{\log \frac{intercepto}{ppm\ en\ aire\ limpio}}{pendiente}} \dots\dots\dots Ecuación\ 2$$

Donde:

RL= Resistencia de carga

Rs= Resistencia superficial

Cálculo de la resistencia superficial (RS):

$$Rs = \frac{Vc - VRL}{VRL} * R \dots\dots\dots Ecuación\ 3$$

Donde:

Rs= Resistencia superficial

Vc= Voltaje de entrada

VRL= Voltaje de salida

RL= Resistencia de carga

Cálculo del valor en ppm:

$$ppm = Intercepto * \frac{Rs^{pendiente}}{R0} \dots\dots\dots Ecuación\ 4$$

Donde:

ppm= Partes por millón

Rs= Resistencia superficial

R0= Resistencia interna

Los valores de la pendiente y el intercepto se obtuvieron de la Data Sheet.

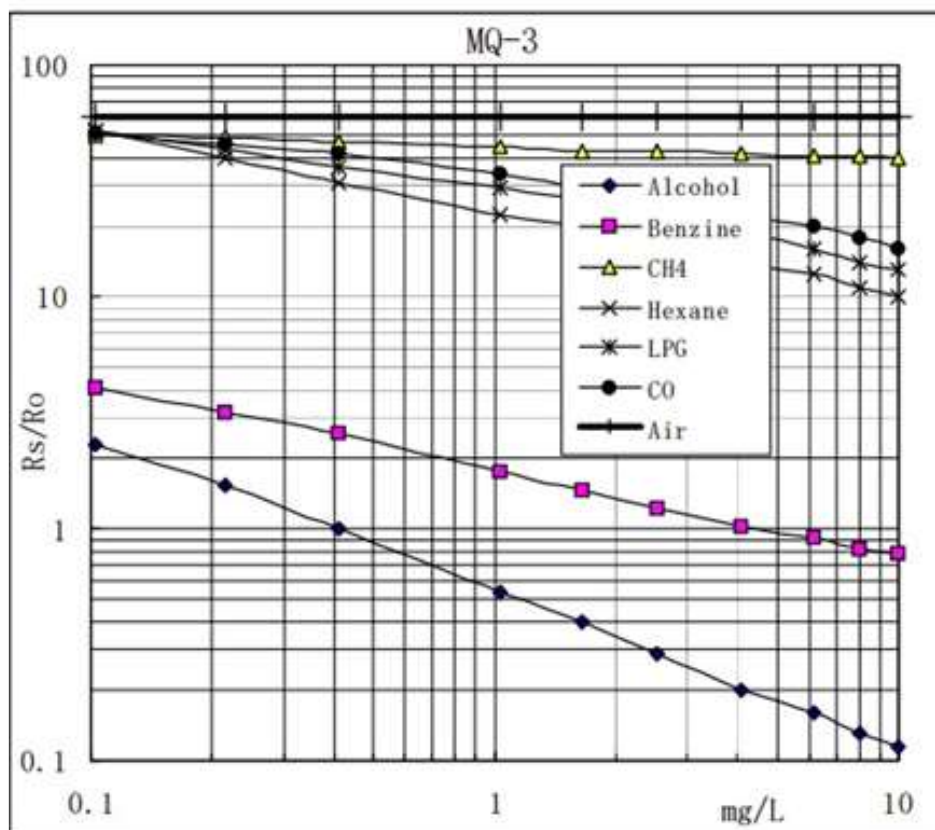


Figura 6. Sensor MQ-7 para medir monóxido de carbono (Mechatronics, 2018).

2.7.5 Sensor DHT22

El sensor DHT22 es un dispositivo que nos permite medir la temperatura y la humedad. Esto mediante un sensor capacitivo de humedad y un termistor para poder medir el aire circundante, los datos obtenidos se muestran mediante una señal digital en el pin de datos (figura 5).



Figura 7. Sensor DHT22 para medir temperatura y humedad (Crespo, 2016).

Son calibrados en laboratorios por lo que las lecturas se obtienen cada dos segundos (tabla 4) presentando una gran confiabilidad (Crespo, 2016; Palacios, 2016).

Tabla 4. Características del Sensor DHT22 (Crespo, 2016).

Parámetro	DHT22
Alimentación	$3.3 \text{ Vdc} \leq V_{cc} \leq 6 \text{ Vdc}$
Señal de salida	Digital
Rango de medida Temperatura	$-40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a $80 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Precisión de medición de Temperatura	$< \pm 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Resolución Temperatura	$0.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Rango de medida Humedad	0 a 100 % Humedad relativa (HR)
Precisión Humedad	2 % HR
Resolución Humedad	0.1 %HR
Tiempo de sensado	2 segundos
Tamaño	14 x 18 x 5.5 mm

2.8 Raspberry Pi

Raspberry Pi es un ordenador de placa reducida, ordenador de placa única u ordenador de placa simple (SBC) de bajo costo desarrollado en el Reino Unido por la Raspberry Pi Foundation, con el objetivo de estimular la enseñanza de informática en las escuelas, con la función de facilitar el aprendizaje y realizar tareas de programación.

Posee un software open source, el sistema operativo es Raspbian (permite utilizar otros sistemas operativos), incluye procesador Broadcom, memoria RAM, GPU, puertos USB, HDMI, Ethernet, 40 pines GPIO, tarjeta SD (**Figura 8**).

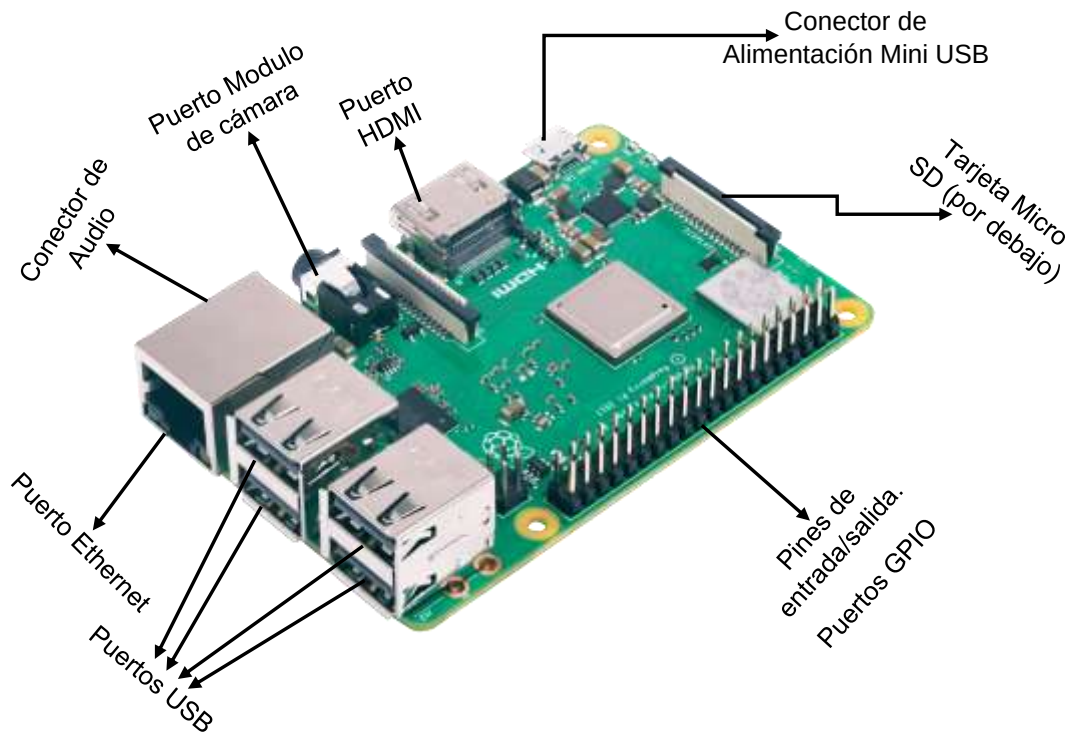


Figura 8. Principales componentes de una Raspberry Pi (Pi, 2019).

Existen diferentes modelos de Raspberry Pi como son Raspberry Pi 1 que tiene algunas versiones como son la A, B y B+; la Raspberry Pi 2 y la Raspberry Pi 3, también encontramos la Raspberry Pi Zero y Raspberry Pi Zero W (**Figura 9**).

En la **Tabla 5** podemos observar algunas características de los modelos de Raspberry Pi.

El sistema operativo que se recomienda para utilizarla es Raspbian PIXEL, la cual es una versión mejorada del Raspbian original con una mejor interfaz (García, 2017; Llamas, 2017) aunque puede ser compatible con algunos otros que se basan en Linux como son Retropie, Kali Linux, OpenElec, o Rokos. Así como también algunos programas que nos permitirán elegir el sistema operativo que desea instalar compatibles con la Raspberry Pi entre los que destacan: BerryBoot; Noobs (Antonio, 2014). Para instalar el sistema operativo, se requiere una tarjeta SD la cual se introduce en la ranura de la Raspberry Pi (Alejandro, 2013).

Tabla 5. Características de los modelos de Raspberry Pi (Llamas, 2017).

Modelo	Raspberry Pi 1 B+	Raspberry Pi 2 B	Raspberry Pi 3 B	Raspberry Pi Zero	Raspberry Pi Zero W
SOC	Broadcom BCM2835	Broadcom BCM2836	Broadcom BCM2837	Broadcom BCM2835	Broadcom BCM2835
Core	ARM1176JZF-S	Cortex-A7	Cortex-A53 64-bit	ARM1176JZF-S	ARM1176JZF-S
N° Cores	1	4	4	1	1
CPU Clock	700 MHz	900 MHz	1.2 GHz	1 GHz	1 GHz
RAM	512 MB	1 GB	1 GB	512 MB	512 MB
Memoria	Micro SD	Micro SD	Micro SD	Micro SD	Micro SD
USB	2	4	4	1 micro USB	1 micro USB
Ethernet	Si	Si	Si	No	No
Wi- Fi	No	No	Si	No	Si
Bluetooth	No	No	Si	No	Si
HDMI	Si	Si	Si	Mini	Mini
GPIO	8	17	17	17	17
UART	Si	Si	Si	Si	Si
SPI	Si	Si	Si	Si	Si
I2C	Si	Si	Si	Si	Si
Altura	85.6 mm	85.6 mm	85.6 mm	65 mm	65 mm
Ancho	53.98 mm	56.5 mm	56.5 mm	30 mm	30 mm
Profundidad	17 mm	17 mm	17 mm	5 mm	5 mm
Peso	45 g	45 g	45 g	9 g	9g
Consumo	700 mA	820 mA	1400 mA	350 mA	350 MA

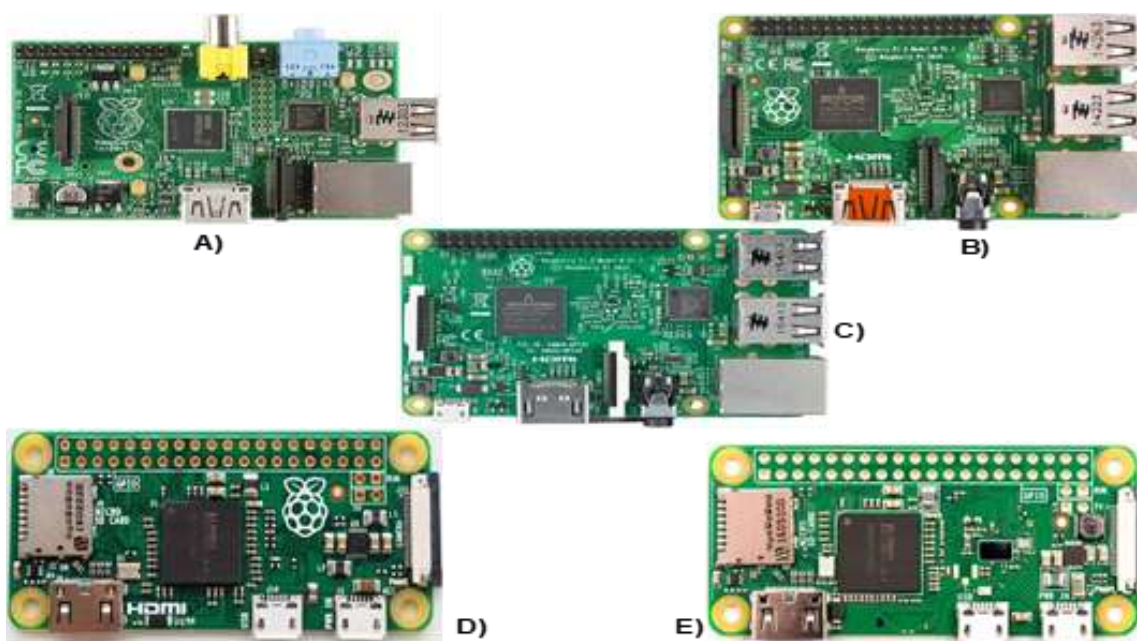


Figura 9. Modelos de Raspberry Pi. A) Modelo Raspberry Pi 1; B) Modelo Raspberry Pi 2; C) Modelo Raspberry Pi 3; D) Modelo Raspberry Pi Zero; E) Modelo Raspberry Pi Zero W Fuente: (Llamas, 2017).

2.9 Industria azucarera

La producción de azúcar es una actividad agroindustrial que se realiza en México. en estados como Campeche, Colima, Chiapas, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, Sinaloa, San Luis Potosí, Tabasco, Tamaulipas y Veracruz, estados donde se encuentran las condiciones apropiadas para el cultivo de caña, teniendo esta una gran importancia en el sector económico y social (Aguilar Rivera, Galindo Mendoza, Fortanelli Martínez, Y Contreras Servín, 2011).

2.9.1 Ingenios azucareros

Se denomina así o simplemente ingenio a una antigua hacienda colonial americana (con procedentes a las islas canarias) con instalaciones para procesar caña de azúcar con el objeto de obtener sacarosa, ron, alcohol y otros productos. Tiene su antecedente en el trapiche, cuya escala de producción era más pequeña y a su vez, el ingenio vino a ser sustituido por grandes centrales azucareras modernas que se desarrollaron en el siglo XX. Aunque dicha materia prima no es un producto autóctono americano, fue introducido en América por los españoles, portugueses y otros europeos. Se adaptó rápidamente a las tierras intertropicales americanas, hasta el punto de que los mayores productores mundiales se encuentran en este continente (Javier, 2011).

Los ingenios en su proceso de producción, utilizan para su funcionamiento calderas industriales para generar energía en el proceso de transformación de la caña de azúcar en azúcar de caña, enviando así sus emisiones a la atmósfera las cuales salen a través de chimeneas, dichas emisiones deben ser controladas para evitar una contaminación atmosférica.(Pérez, 2019)

Por otra parte, este tipo de industria utiliza como combustible el bagazo de la misma caña de azúcar utilizada como materia prima, generando así material particulado que al ser expuesto al trabajador sin protección alguna y por períodos de tiempo no adecuados puede llegar a causar daños en su salud.(Castillo Y Rivera, 2004)

2.9.2 Proceso de producción de azúcar

El azúcar se obtiene principalmente de la caña de azúcar y la remolacha azucarera, su proceso de elaboración se divide en dos etapas: campo y planta. Para su obtención se requiere de un largo proceso que toma de 24 a 48 horas para obtener el producto final, este se da a través de distintas fases. La producción azucarera incluye a los ingenios azucareros y las fases de su proceso productivo como son molienda, extracción del jugo, caldeo del guarapo, clarificación,

evaporación, cristalización, filtrado, centrifugado, refinación, tamizado, secado y envasado del azúcar (Marín, 2014).

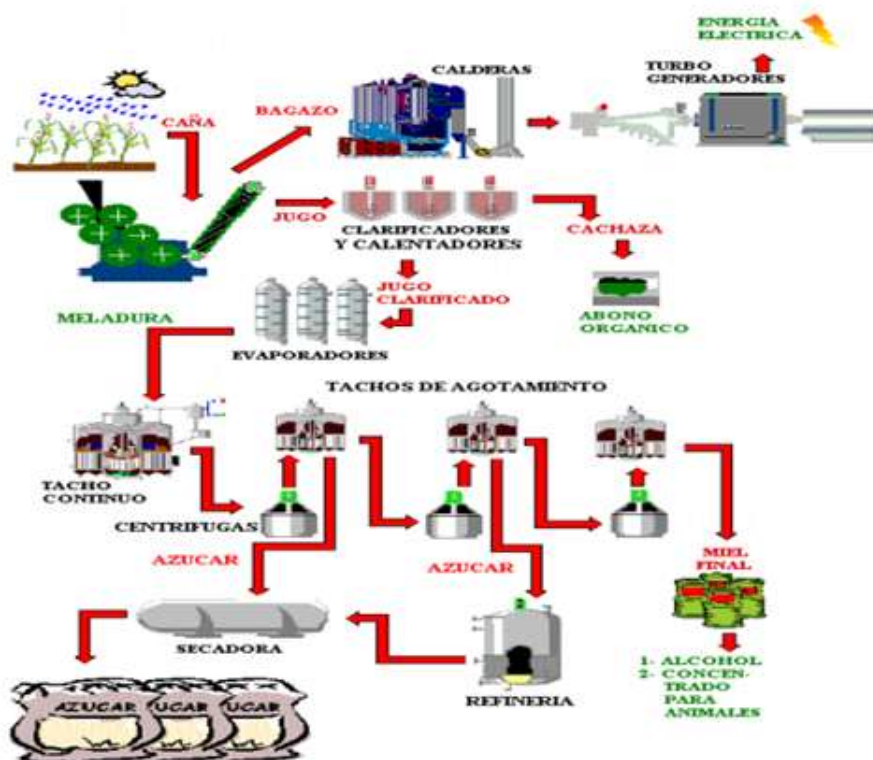


Figura 10. Proceso de producción de azúcar (Marín, 2014).

En esta parte se describen cada una de las etapas que involucra la producción de azúcar.

2.9.2.1 Campo

La caña requiere de abundante agua y suelos adecuados para crecer bien; no soporta temperaturas inferiores a 0 °C, aunque en ocasiones puede llegar a soportar hasta -1 °C, dependiendo de la duración de esta temperatura. Su periodo de crecimiento varía entre 11 y 17 meses, dependiendo de la variedad de caña y de la zona. Es un cultivo plurianual y se corta cada 12 meses, y la plantación dura aproximadamente 5 años, aunque este período puede ser muy variable (Ledesma, 2013).

La caña tiene una riqueza de sacarosa del 14 % aproximadamente, aunque varía a lo largo de toda la recolección. El rendimiento del proceso de caña de azúcar llega hasta un 11 % de extracción en promedio.

2.9.2.2 Generación de vapor y energía eléctrica

El bagazo, producto de la molienda de caña, es entregado mediante conductores de bagazo a la caldera de alta presión para su combustión (energía térmica). El agua es evaporada en el interior y convertida en vapor hasta una alta presión de 67 kg/cm^2 , el cuál es sobrecalentado hasta 515°C y enviado a través de una red de tuberías de cedula especial hasta la turbina de vapor (Piasa, 2019).

El vapor obtenido de las calderas es utilizado para mover los molinos, la turbina de la desfibradora que prepara la caña y los turbogeneradores que producen la energía eléctrica que requieren la fábrica y los pozos profundos (Ingenio Providencia S.A, 2014) el vapor de menor presión, el escape de las turbinas, es utilizado para el calentamiento del jugo, la evaporación y la cristalización (CEPSA, 2013).

Las turbinas, giran a 6,000 RPM, realizando la generación de electricidad se efectúa con la transformación de energía mecánica. Se entrega la potencia eléctrica a un bus de 13,800 Volts y es distribuido a dos sistemas: el primero con elevación a 115,000 Volts para entregar a la red eléctrica de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y el segundo con reducción a 4,160 Volts para el bus de distribución de las subestaciones del ingenio y finalmente a los Centro de control de motores (Piasa, 2019).

Todo lo anteriormente descrito es realizado desde una sala de control, donde los sistemas automatizados de la planta ejecutan las acciones necesarias para mantener en operación segura y confiable a los diversos sistemas.



Figura 11. Proceso de producción de azúcar. Fuente propia.

2.9.3 Impactos generados por el proceso de producción de azúcar

Los resultados de la práctica de quemas son de diversa naturaleza y merecen a la vez opiniones diferentes. Así mismo se destruye la superficie donde se encuentra la lombriz de tierra, la que es beneficiosa pues ventila la tierra facilitando la penetración del agua evitando inundaciones este hecho puede ser malo para los campos ya que la lombriz de tierra juega un papel muy importante en la preservación de la tierra en la que se va a cultivar la caña de azúcar. Además, las quemas provocan la huida de pájaros, los que colaboran con el equilibrio mediante el control de los insectos. Esta práctica implica una gran desestabilidad para la flora y la fauna teniendo en cuenta que existen ciclos de vida que se ven interrumpidos por la quema de caña poniendo en peligro a nuestro ecosistema.

2.9.3.1 Consecuencias ambientales de la quema de caña

(Ripoli, 2005) argumento que, al quemar la caña de azúcar, como actividad previa a la cosecha, se presentan una serie de problemas ambientales como es la contaminación del aire aumentando los índices de emisiones de gases a la atmósfera provocando efecto invernadero, pero no tan sólo el aire es afectado a la hora de la quema de la caña si no también el suelo y a la salud de los que viven cerca de estos lugares.

Por lo cual la quema de la caña de azúcar altera de varias maneras el ambiente provocando en los mismos cambios que si bien no son muy notables, con el paso de los años generan

daños considerables. De ahí la importancia de poder tener un vasto conocimiento de los mismos con el fin de comprender mejor la magnitud de dicha actividad.

A causa de esto uno de los elementos más afectados es el aire, pero también se considera el suelo por la pérdida de fertilidad, ya que la quema hace que se pierda materia orgánica lo que provoca su esterilización. Además, se promueve su erosión debido a que el fuego al eliminar la materia extraña acaba con la cubierta vegetal, provocando la erosión.

De igual manera la ceniza y el humo generado afecta a los animales, a la vez que contamina ríos y lagos cercanos a la quema. Dicha ceniza y humo producen dificultades en la visibilidad, lo que se torna sumamente peligroso en el caso de carreteras o aeropuertos cercanos al lugar de la quema. Esta ceniza es conocida como tizne y se desplaza según la velocidad del viento. Mientras mayor sea la variabilidad de la dirección del viento, menor es la distancia frontal que recorre el tizne desde el sitio de la quema. (Chaves S. 2003)

Definiendo contaminación es el fenómeno de acumulación o de concentración de contaminantes en el aire y contaminantes como fenómenos físicos, o sustancias, o elementos en estado sólido, líquido o gaseoso, causantes de efectos adversos en el medio ambiente y sobre la salud humana, que solo o en combinación, o como subproductos de reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales, o de una combinación de éstas (Sáenz A, 1997).

2.9.3.2 Consecuencias a la salud por la quema de caña

Uno de los principales problemas existe con las personas que cortan la caña, esto se debe a la exposición de las altas temperaturas, sufriendo además quemaduras, deshidratación, lo que a la postre les provoca infecciones urinarias.

La inhalación de partículas irritantes puede interferir principalmente el funcionamiento pulmonar, agravando la bronquitis crónica, la enfermedad obstructiva ventilatoria crónica, el enfisema pulmonar y el asma bronquial. (Timonen KI, 2002; Ostro D. B.1998; Contraloría del Departamento del Valle del Cauca, 1994 y 1995). El factor determinante en el efecto en salud es el tamaño de las partículas (Sesma-Vázquez, Pérez-Rico, Sosa-Manzano, Y Gómez-Dantés, 2005). Afectando a la población colindante y en especial, a los menores.

2.9.3.3 Emisiones a la atmósfera por proceso azucarero

Las emisiones a la atmósfera en la etapa de molienda corresponden a humo, los gases de combustión en las calderas, partículas de carbón y las partículas de bagazo. Los gases de

combustión contienen principalmente CO₂ y otros gases que contribuyen de manera activa al efecto invernadero, por consiguiente, al calentamiento global y a otros fenómenos como la lluvia ácida. Las partículas de carbón y cenizas también generan importantes daños, como la contaminación de cuerpos de agua, contaminación de suelo e intoxicación de flora y fauna. También pueden ocasionar patologías en la sociedad, principalmente las de índole respiratorio y ocular. Las partículas de bagazo también pueden generar un impacto negativo en la salud humana, ocasionando un padecimiento llamado neumonitis por hipersensibilidad, mejor conocido como “bagazosis” y que pertenece al grupo de enfermedades bronco-respiratorias.



Figura 12. Emisión de gases a la atmosfera (Javier, 2011).

Como se ha mencionado al igual que la quema de caña, las emisiones de gases a la atmósfera en el proceso, también contribuye a un gran impacto ambiental ofrecido por la quema de combustibles fósiles como es el petróleo y gas natural, también cabe mencionar que la quema de bagazo en las calderas produce una gran contaminación por todo el tizne emitido y por el CO ya que es quemado con una gran humedad. A diferencia de estos combustibles el gas natural es el que menos problemas de contaminación crea ya que se quema en su totalidad al utilizarse (Javier, 2011).

Por lo tanto, las emisiones en el proceso y la quema de caña son temas de gran importancia ya que son de los mayores contaminantes al aire provocando enfermedades respiratorias y ocasionando un gran impacto al medio ambiente, estas prácticas que tienen gran tiempo utilizándose deben de ser modificadas para la mitigación o reducción de las emisiones contaminantes, ya que si se sigue así las afectaciones hacia nuestro ambiente y nuestra salud serán aún mayores.

2.10 Normatividad de la calidad del aire

El gobierno federal es el responsable de establecer los estándares para la protección de la salud pública y vigilar su cumplimiento. Estos estándares se encuentran publicados en las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y son de observación obligatoria en todo el país. Las NOM describen los límites permisibles para los contaminantes criterio. Estas normas están condicionadas a una revisión periódica para reflejar la información reciente sobre los efectos en la salud y la gestión de la calidad del aire.

En el monitoreo de la calidad del aire se emplean dos tipos de normas: las NOM de salud ambiental que establecen los límites permisibles para los contaminantes criterio, y las NOM técnicas que definen los métodos de medición de los contaminantes criterio. Las NOM en materia de salud vigentes son las siguientes:

CONTAMINANTE	NOM	PUBLICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Dioxido de Azufre (SO ₂)	NOM-022-SSA1-2010	08-sep-10	0.110 ppm, máximo promedio de 24 horas. 0.200 ppm, segundo máximo anual como promedio móvil de 8 horas. 0.025 ppm, promedio anual.
Monóxido de Carbono CO	NOM-021-SSA1-1993	23-dic-94	11.0 ppm, máximo anual como promedio móvil de 8 horas.
Dioxido de Nitrogeno (NO ₂)	NOM-023-SSA1-1993	23-dic-94	0.210 ppm, promedio horario.
Ozono (O ₃)	NOM-020-SSA1-2014	19-ago-14	0.095 ppm, promedio horario. 0.070 ppm, máximo anual de promedio móvil de 8 horas.
Particulas Suspendidas Totales (PST)	NOM-025-SSA1-2014	20-ago-14	Derogado
Particulas menores a 10 micrómetros (PM ₁₀)	NOM-025-SSA1-2014	20-ago-14	75 µg/m ³ , promedio 24 horas. 40 µg/m ³ , promedio anual.

Partículas menores a 10 micrómetros (PM _{2.5})	NOM-025- SSA1-2014	20-ago-14	45 µg/m ³ , promedio 24 horas. 12 µg/m ³ , promedio anual.
Plomo (Pb)	NOM-026- SSA1-1993	23-dic-94	1.5 µg/m ³ , en un periodo de tres meses como promedio aritmético.

Tabla 6. Valores normados para los contaminantes del aire en México en materia de salud (De la Luz, 2000).

2.11 Efectos en el hombre

Los efectos en el hombre de la exposición a concentraciones elevadas de monóxido de carbono están bien documentados, se expone en forma adecuada el diagnóstico, tratamiento y secuelas de la intoxicación aguda por monóxido de carbono. Recientemente se ha dedicado mucha atención a los posibles efectos sobre las funciones y estructura del organismo causados por exposiciones al monóxido de carbono que producen concentraciones de carboxihemoglobina del 10% o menos. El monóxido de carbono actúa fundamentalmente al interferir en el transporte de oxígeno, y como el sistema nervioso central es más sensible a la hipoxia que otros sistemas y aparatos del organismo, se han efectuado numerosos estudios del deterioro de la vigilancia, la percepción y la realización de tareas delicadas después de la exposición a concentraciones de monóxido de carbono tan bajas que no producen signos o síntomas clínicos (Aránguez *et al.*, 1999).

Tabla 7. Síntomas en el cuerpo debido al monóxido de carbono. (Aránguez *et al.*, 1999).

Concentración de Monóxido de Carbono	Carboxihemoglobina %	Síntomas
Menos de 35 ppm (cigarrillo)	5	Ninguno o cefalea suave.
0.005% (50ppm)	10	Cefalea leve, disnea de grandes esfuerzos, vaso dilatación cutánea.
0.01% (100 ppm)	20	Cefalea pulsátil, disnea de moderados esfuerzos.
0.02% (200 ppm)	30	Cefalea severa, irritabilidad, fatiga, visión borrosa.
0.03 - 0.05% (300 - 500 ppm)	40 - 50	Cefalea, taquicardia, náuseas, confusión, letargia, colapso, respiración de Cheyne-Stokes.

0.08 - 0.12% (800 - 1200 ppm)	60 - 70	Coma, convulsiones, falla respiratoria y cardíaca.
0.19 % (1900 ppm)	80	Muerte.

2.12 Convenios sobre contaminación a la atmósfera

El constante deterioro del ambiente ha dado origen a la toma de conciencia de los daños que el humano ha ocasionado a la naturaleza, promulgando diferentes convenios y tratados para el cuidado y preservación del mismo. Como son (Maldonado, 2011):

2.12.1 La Declaración de Estocolmo

En 1972, la cual fue adoptada por la Conferencia de Las Naciones Unidas Sobre el Medio Humano. Reconociendo la importancia del medio humano natural y artificial para el ejercicio de los derechos humanos fundamentales; así como la necesidad de proteger y mejorar el medio humano como un deseo de los pueblos y un deber de los gobiernos. Se debe detener la descarga al medio de sustancias contaminantes que pongan en peligro la salud humana y los ecosistemas.

2.12.2 Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo adoptado en la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo

Llevada a cabo en Río de Janeiro en junio de 1992. Teniendo como principal objetivo alcanzar el desarrollo sostenible, reconociendo el derecho de los seres humanos a una vida saludable y productiva en armonía con la naturaleza. Señalando la necesidad de erradicar la pobreza y modificar los patrones de consumo y producción que resultan ambientalmente insostenibles. Reconociendo los impactos que tiene sobre el ambiente el desarrollo económico.

Establece medidas cautelares para la protección ambiental, la aplicación de principio de precaución y la evaluación de impactos ambientales cuando exista riesgo de daños considerables al medio ambiente. Reconociendo el papel que juega la participación de mujeres, jóvenes, comunidades indígenas y tradicionales para alcanzar el desarrollo sostenible y la protección del ambiente.

2.12.3 Convenio de Viena para la protección de la capa de ozono

Busca proteger la salud de los seres humanos y del ambiente de los efectos de la modificación de la capa de ozono atmosférica que rodea a la tierra. Obligando en medida a sus posibilidades a cooperar con la investigación e intercambio de información para tener una mejor comprensión de los efectos de las actividades antropogénicas sobre la capa de ozono y sus efectos en la salud

y el ambiente por la modificación la misma. Así como la búsqueda de medidas para la controlar, reducir o prevenir actividades humanas que puedan modificar la capa de ozono.

Se estima que las sustancias químicas de origen tanto natural como antropogénico tienen el potencial para modificar las propiedades químicas y físicas de la capa de ozono como son el monóxido de carbono CO, dióxido de carbono (CO₂), metano, óxido nitroso (N₂O), óxidos de nitrógeno (NO_x) entre otros.

2.12.4 Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de Ozono

Fija plazos máximos para la eliminación en la producción y consumo de las fuentes agotadoras de la capa de ozono como son los Clorofluorocarbonos (CFC), halón, tetracloruro de Carbono, metilcloroformo, hidrobromofluorocarbonos (HBFC).

El protocolo de Montreal se diseñó para proteger la capa de ozono, esto planteando la reducción a la mitad de los CFCs para el año 1998, al realizar estudios sobre el daño a la capa de ozono, se observó que el daño era mayor que lo previsto por lo que en 1992 se decidió cerrar la fabricación de halones en 1994 y la de CFCs en 1996.

Tomando medidas adecuadas para proteger la salud humana y el medio ambiente contra los efectos nocivos que pueden derivarse de las actividades humanas. Se reconoce que la emisión en todo el mundo de ciertas sustancias puede agotar considerablemente y modificar la capa de ozono en una forma que podría tener repercusiones nocivas sobre la salud y el ambiente.

Se considera importante promover la cooperación internacional en la investigación, desarrollo y transferencia de tecnologías alternativas en relación con el control y la reducción de las emisiones de sustancias que agotan la capa de ozono, teniendo presentes las necesidades de los países en desarrollo.

2.12.5 Convención marco de las naciones unidas sobre cambio climático

Se reconoce que los cambios del clima de la Tierra y sus efectos son una preocupación común de toda la humanidad. Con la preocupación de que las actividades humanas han ido en aumentando sustancialmente las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera intensificando el efecto invernadero natural dando como resultado en promedio un calentamiento adicional de la superficie y la atmósfera de la tierra afectando adversamente los ecosistemas naturales y la humanidad.

Se concientiza de la función e importancia de los sumideros y depósitos naturales de gases de efecto invernadero para los ecosistemas terrestres y marinos. Se reconoce que los estados deben promulgar leyes y diversas medidas ambientales para hacer frente al cambio climático.

2.12.6 Protocolo de Kyoto de la Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático

El cual, al tener la finalidad de promover el desarrollo sostenible, las partes incluidas deben cumplir los compromisos de limitación y reducción de emisiones contaminantes.

Se aplicarán y seguirán elaborando medidas de conformidad para el fomento de la eficiencia energética, protección y mejora de los sumideros y depósitos de los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal, protección de prácticas sostenibles de gestión forestal; investigación, promoción y aumento del uso de energías renovables, así como tecnologías de secuestro del dióxido de carbono.

Así como también el fomento de reformas que limiten o reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero, la toma de medidas para limitar o reducir las emisiones de gases efecto invernadero. La limitación y/o reducción de las emisiones de metano.

Son considerados gases de efecto invernadero el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC), Hexafluoruro de azufre (SF₆).

3. MARCO REFERENCIAL

3.1 Área de estudio

El ingenio el Modelo se encuentra localizado en la ciudad de José Cardel municipio de Veracruz, con dirección en Salvador Esquer #9, con las coordenadas 19°22'37.61"N – 96°22'13.21"O con una mediana altura de 17m sobre nivel del mar(msnm), cuenta con aproximadamente 19500 habitantes los cuales están formados en 5450 hogares considerando casas de interés social y departamentos de un solo cuarto, con un nivel socio económico medio bajo nivel (D+), (INEGI, 2005).

3.2 Antecedentes

En los últimos años se han llevado a cabo diversos proyectos para analizar la contaminación provocada por las emisiones a la atmosfera de las fuentes fijas y móviles. En Europa el proyecto

APHEA1 y en Estados Unidos el estudio NMMAPS2 se encuentran entre los que han aportado más al conocimiento del impacto de la contaminación en la salud. En Francia e Italia se han realizado estudios nacionales que han valorado el impacto de las emisiones en las principales ciudades de cada uno de estos países. En España dentro del proyecto EMECAS se está llevando a cabo un estudio que incluye a 16 ciudades sobre el impacto de las emisiones atmosféricas. En general el contaminante más estudiado ha sido las partículas, encontrándose que un incremento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en los niveles atmosféricos de PM10 se asocia, según los estudios, con un aumento de 0.2 a un 1% en la mortalidad por todas las causas y 0.5 a 2 % en la mortalidad cardiorrespiratoria (Ballester, 2005).

De igual forma en Cuba se hizo un estudio con el propósito de identificar los impactos ambientales, la morbilidad de las enfermedades respiratorias y las áreas de mayor afectación por la emisión de componentes a la atmósfera que produce la generación de la energía a partir de la biomasa (bagazo) en las centrales azucareras de Cuba (Gil Unday, 2005).

Por lo cual el mejoramiento de la calidad del aire se ha apoyado en el marco legal vigente en los Estados Unidos Mexicanos donde partiendo de la Constitución Política, se manifiesta que toda persona tiene derecho a un medio ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar (Artículo 4° párrafo IV). Para dar cumplimiento a este precepto, México cuenta con diversos instrumentos jurídicos, entre los más importantes están la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA, 2018), sus Reglamentos y las (NOM). (Gestión Ambiental del Aire en el Distrito Federal).

Por otra parte el Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA) define a los Sistemas de Monitoreo de la Calidad del Aire (SMCA) como el conjunto organizado de recursos humanos, técnicos y administrativos los cuales se emplean para observar el comportamiento de la calidad del aire en una región dada (SINAICA, 2018). Considerando a la contaminación del aire como uno de los principales problemas a nivel mundial, la cual es difícil de evaluar, medir, normar y controlar debido a sus diversas fuentes de emisión (SINAICA, 2018).

Por lo cual México cuenta con el Programa Nacional de Monitoreo Atmosférico (PNMA) que tiene como objetivo garantizar el diagnóstico, vigilar la calidad del aire a nivel nacional, incluyendo medidas para estandarizar procedimientos y actividades para garantizar la calidad y comparabilidad de la información generada en cada sistema de monitoreo de la calidad del aire (INECC, 2012).

En el año 2018, la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA) a través del Instituto de Ecología y Cambio Climático reportó que la ciudad de México cuenta con el Sistema de Monitoreo Atmosférico de México (SIMAT) más grande del país integrada por 45 sitios de monitoreo, 34 para la medición de ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, monóxido de carbono, y partículas suspendidas, temperatura, humedad, radiación solar ultravioleta, velocidad y dirección del viento para conocer como viajan los contaminantes en el día. Mientras que el puerto de Veracruz cuenta con tres estaciones automáticas para monitoreo de la calidad del aire ubicadas en Xalapa, Minatitlán y Poza Rica (SEDEMA, 2019a).

A su vez la (NOM-021-SSA1-1993) nos dice que para un monitoreo de calidad del aire para CO se necesitan como mínimo 75 % de los datos por hora.

Del mismo modo la (NOM-034-ECOL-1993, 1993) establece los métodos de medición para determinar la concentración de monóxido de carbono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición. Por lo tanto, se menciona que por conducto de la Secretaría de Salud se han realizado Normas Oficiales Mexicanas donde se fijan los valores máximos permitidos de contaminantes atmosféricos que representan un riesgo para la salud humana (SEMARNAT, 2013).

En relación con lo anteriormente mencionado, la OSHA, NIOSH, ACGIH también se reportan que los límites permisibles de exposición laboral son de 11 ppm en una jornada laboral de ocho horas (New Jersey Department of Health, 2016).

Para poder conocer la concentración se pueden realizar monitoreos atmosféricos, estos nos permiten conocer la calidad del aire en diferentes zonas en tiempo real (SEMARNAT, 2013).

Debido a esto se consideró la Instrumentación electrónica para mediciones de calidad del aire (Morales, 2016.) Implementando sistemas de monitoreo de la emisión de gases, por ejemplo, en un sistema de cultivo de arroz el cual nos permitió almacenar y analizar los datos obtenidos mediante la plataforma Raspberry Pi (Rodríguez et al., 2018).

Otro ejemplo es el de Álvarez Rodrigo (2015) el cual nos menciona que mediante el uso de tecnología de bajo costo, como es el caso de la Raspberry Pi, se realizó la toma de datos con sensores de diferente naturaleza instalados en algunos puntos de Mérida.

Gracias a esto existen programas de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire (PROAIRE), los cuales establecen acciones orientadas al control o disminución de contaminantes atmosféricos emitidos al ambiente (SEMARNAT, 2013).

De igual forma existen trabajos relacionados como lo son:

El análisis de la situación actual de las emisiones del Ingenio Central Progreso, Veracruz (Bustamante, 2014);

El impacto ambiental de la actividad azucarera y estrategias de mitigación (Javier, 2011), el de los dispositivos para monitorear en tiempo real vía web variables como temperatura, humedad y concentración de CO que puedan afectar la calidad de la mercancía durante su transporte (Baquero et al., 2016); y

El diseño e implementación de un sistema de monitoreo de emisión de gases en el cultivo de arroz. Se desarrollaron una serie de dispositivos que permiten almacenar y analizar los datos obtenidos bajo la plataforma Raspberry Pi y el software de adquisición y visualización de datos MyOpenLab (Rodríguez et al., 2018).

Arroyo Fiallos, M. D. 2017. Sistema de monitoreo de temperatura y monóxido de carbono para evitar problemas de salud en los trabajadores de la empresa Aceterm de la ciudad santo domingo de los Tsáchilas. Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería en Sistemas.

4. JUSTIFICACIÓN

El monóxido de carbono CO es un contaminante atmosférico causado por emisiones industriales, su presencia en el ambiente resulta de la combustión incompleta de cualquier compuesto que contenga carbono debido a la deficiencia de oxígeno, contribuye de manera activa al Efecto Invernadero, al Calentamiento Global y a otros fenómenos como la lluvia ácida, causando efectos nocivos en la salud de las personas, flora y fauna.

Existe un gran número de Agroindustrias Azucareras en el país, siendo Veracruz el estado con más ingenios en producción.

El uso de dispositivos para el monitoreo ambiental son una alternativa para obtener datos en tiempo real de los niveles de contaminantes atmosféricos presentes en el ambiente.

Por ello este trabajo tiene el objetivo conocer la concentración de CO durante los periodos de zafra, y no zafra con la implementación de un dispositivo móvil de monitoreo de CO, humedad y temperatura, en la zona aledaña al ingenio El Modelo y así poder conocer la cantidad de emisiones o afectación para poder asentar un antecedente debido a que no se encuentra ningún trabajo al respecto en la zona.

5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

5.1 Situación problemática

La revolución industrial marcó un dramático cambio entre la actividad económica y el ambiente (Romero Placeres, Diego Olite, Y Álvarez Toste, 2006). Debido a que se tuvo un incremento en los requerimientos de energía para satisfacer la demanda de las industrias y su transportación, lo que condujo a una acelerada emisión de contaminantes, sustancias y partículas procedentes de la producción y consumo de combustibles (Yassi *et al.*, 2002)

Factores como el desarrollo económico, la creciente urbanización, así como las industrias, el incremento de vehículos conllevan un intenso consumo de combustibles fósiles los cuales aunados a diversas actividades antropogénicas dan como resultado la generación de grandes cantidades de contaminantes atmosféricos afectando la salud humana, los ecosistemas y la economía (Romero Placeres *et al.*, 2006).

Contrario de lo que se pensaba anteriormente, las altas chimeneas con que cuentan las industrias no reducen la cantidad de contaminantes, solamente los emiten a mayor altura reduciendo así su concentración *in situ* (Brunekreef, Dockery, Y Krzyzanowski, 1995).

Uno de los principales contaminantes atmosféricos que se genera es el monóxido de carbono el cual en grandes concentraciones puede traer consigo algunas afectaciones en casos más severos puede ocasionar la muerte.

Este contaminante al ser desplazado por el aire llega a los asentamientos humanos los cuales desconocen que se encuentran expuestos, por lo que en altas concentraciones puede generar algunas afectaciones respiratorias y en casos más severos incluso la muerte (CCSSO, 1997).

El estado de Veracruz cuenta solamente con tres estaciones automáticas para el monitoreo de la calidad del aire, las cuales se encuentran ubicadas en Xalapa (2012), Poza Rica (2012) y Minatitlán (2015) en donde ninguna de ellas mide las concentraciones de dióxido de carbono (tabla 6) (SEDEMA, 2019b; SINAICA, 2018).

Tabla 8. Variables obtenidas por estaciones del Estado de Veracruz (SEDEMA, 2019a).

Contaminantes	Variables Meteorológicas
Ozono (O ₃)	Velocidad de viento (VV)

Óxidos de Nitrógeno (NO- NO ₂ - NO _x)	Dirección de viento (DV)
Bióxido de Azufre (SO ₂)	Temperatura ambiental (Temp)
Monóxido de Carbono CO	Humedad relativa (HR)
Partículas Suspendidas PM ₁₀	Presión barométrica (PB)
Partículas Suspendidas PM _{2.5}	Radiación solar total (RS)
	Precipitación pluvial (PP)

5.2 Delimitación del problema

Espacial

La presente investigación se realizó en la zona aledaña al ingenio El Modelo ubicado en el municipio de José Cardel el cual se ubica a menos de 3 Km del parque central de la ciudad, para poder así conocer las concentraciones de monóxido de carbono CO presentes.

Temporal

La investigación se realizó en dos etapas, la primera etapa en el periodo de zafra de enero-abril de 2019 y la segunda etapa en el periodo de julio-octubre de 2019.

5.3 Pregunta de investigación

¿Cuál es la concentración de monóxido de carbono CO emitido por el procesamiento de la caña de azúcar en la zona aledaña al ingenio El Modelo durante los periodos de zafra y no zafra?

6. HIPÓTESIS

La concentración de monóxido de carbono emitido por el procesamiento de la caña de azúcar en la zona aledaña al Ingenio el Modelo es mayor a los máximos permisibles por la NOM–SSA1–021 en las temporadas de zafra.

7. OBJETIVOS

7.1 General:

Conocer las concentraciones de monóxido de carbono CO durante los periodos de zafra y no zafra en la zona aledaña al ingenio El Modelo.

7.2 Particulares:

- Caracterizar el área de muestreo.
- Implementar un dispositivo para monitorear y medir las concentraciones de CO en la zona aledaña al ingenio El Modelo durante los periodos de zafra y no zafra, con instrumentación diseñada y construida por alumnos de MCIAmb.
- Realizar un análisis de datos para la identificación de las diferencias significativas entre los diferentes tratamientos y correlacionar el monóxido de carbono con las variables meteorológicas temperatura y humedad;
- Comparar los resultados obtenidos del CO con los límites máximos permisibles sustentados en la NOM-SSA-021-1993.

8. MATERIALES Y MÉTODOS

8.1 Área de estudio

El ingenio el Modelo se encuentra localizado en la ciudad de José Cardel municipio de Veracruz, con dirección en Salvador Esquer #9, con las coordenadas 19°22'37.61"N – 96°22'13.21"O con una mediana altura de 17m sobre nivel del mar(msnm), cuenta con aproximadamente 19500 habitantes los cuales están formados en 5450 hogares considerando casas de interés social y departamentos de un solo cuarto, con un nivel socio económico medio bajo nivel (D+), (INEGI, 2005).

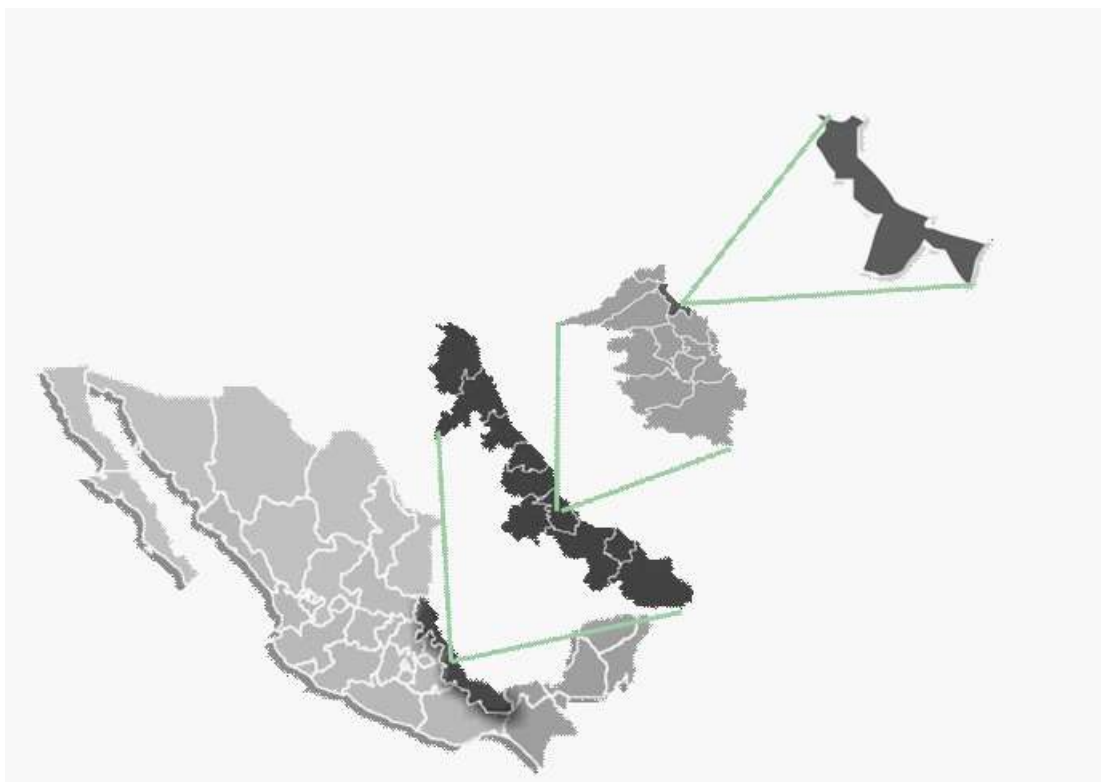


Figura 13. Ubicación geográfica del área de muestreo (Ingenio-Azucarero-Modelo, 2018).

Se establecieron 4 puntos de muestreo mediante el método de selección aleatorio simple (SINAICA, 2019).

- **Punto Norte (N):** Seleccionando como punto central la ubicación de la chimenea del ingenio, este punto se encuentra a 0.5km de distancia del ingenio el modelo, en el fraccionamiento Flores Magón Tercera etapa, calle 16 de septiembre sin número, sus coordenadas son 19°22'51.98"N – 96°22'17.05"O con una elevación de 14msnm.
- **Punto Sur (S):** Considerando como punto central la ubicación de la chimenea del ingenio, este punto se encuentra a 1.4km de distancia del ingenio el modelo, en el fraccionamiento Revolución en el segundo cuadro de la ciudad José Cardel, calle revolución poniente esquina con José Cardel número 28, sus coordenadas son 19°22'9.00"N - 96°22'37.88"O con una elevación de 36msnm.
- **Punto Este (E):** Conjeturando como punto central la ubicación de la chimenea del ingenio, este punto se encuentra a 0.9km de distancia del ingenio el modelo, en el fraccionamiento Lomas Verdes, calle Albino Báez sin número, sus coordenadas son 19°22'13.93"N - 96°21'55.77"O con una elevación de 16msnm.

- **Punto Oeste (O):** Tomando en cuenta el punto central la ubicación de la chimenea del ingenio, este punto se encuentra a 1.1km de distancia del ingenio el modelo, en la colonia Magisterial, calle Rafael Ramírez sin número, sus coordenadas son $19^{\circ}22'47.77''\text{N}$ - $96^{\circ}22'42.81''\text{O}$ con una elevación de 21msnm.

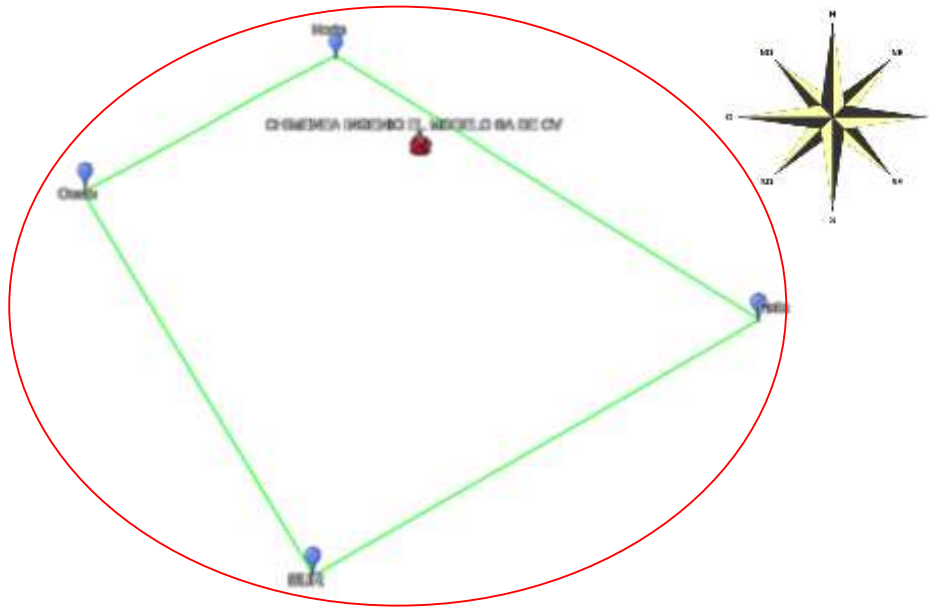


Figura 14: Representación gráfica del sitio de muestreo. Fuente propia.



Figura 15: Representación de relieve del sitio de muestreo. Google, INEGI 2018.

8.2 Criterios de selección de los puntos de muestreo y materiales para dispositivo seleccionado

El criterio de selección de la zona de muestreo para la medición, fue la presencia de fuentes puntuales de contaminación atmosférica. Los cuales, pudieran causar problemas de salud.

8.3 Caracterización del punto de muestreo

Son todas aquellas actividades, procesos u operaciones capaces de producir contaminantes al aire.

Se agrupan en:

- Fuentes puntuales que se caracterizan por ser estacionarias o estar en un punto fijo como las plantas de energía, industrias químicas, refinerías de petróleo y fábricas.
- Fuentes móviles que abarcan todas las formas de transporte y los vehículos automotores.
- Fuentes de área. Todas aquellas actividades que en conjunto afectan la calidad del aire, como el uso de madera, imprentas, tintorerías o actividades agrícolas, por mencionar algunas, y
- Fuentes naturales o biogénicas. Son resultado de fenómenos de la vida animal y vegetal, como las emisiones producidas por los volcanes, océanos y la erosión del suelo.

8.4 Implementación de instrumento de medición

Para el diseño del dispositivo de monitoreo ambiental se seleccionaron los sensores MQ-7 para monóxido de carbono y DHT22 para temperatura y humedad relativa, los cuales son económicos y de fácil compatibilidad con la placa Raspberry Pi.

Posteriormente se ensambló con un mini extractor para facilitar la llegada del contaminante a los sensores.

Se implementó el dispositivo y se identificaron los puntos completamente al azar donde se instaló el dispositivo.

Las mediciones de las concentraciones, temperatura y humedad relativa, se guardaron en una SD contenida en la Raspberry Pi el cual tiene un archivo CSV la descarga de datos estadísticos y su procesamiento con el paquete estadístico R en su versión 3.6.2.

Con los valores obtenidos se generó una base de datos donde se determinó si existe riesgo ambiental de acuerdo a los límites máximos permisibles.

Este dispositivo fue diseñado y ensamblado por los alumnos José Alfredo Inclán Barragán, Carlos Daniel Amaya Fernández y Carlos Alberto Toledo Barrios, estudiantes de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental en el Instituto Tecnológico de Boca del Río. Por motivos actuales de la patente no se mencionan más especificaciones del dispositivo.

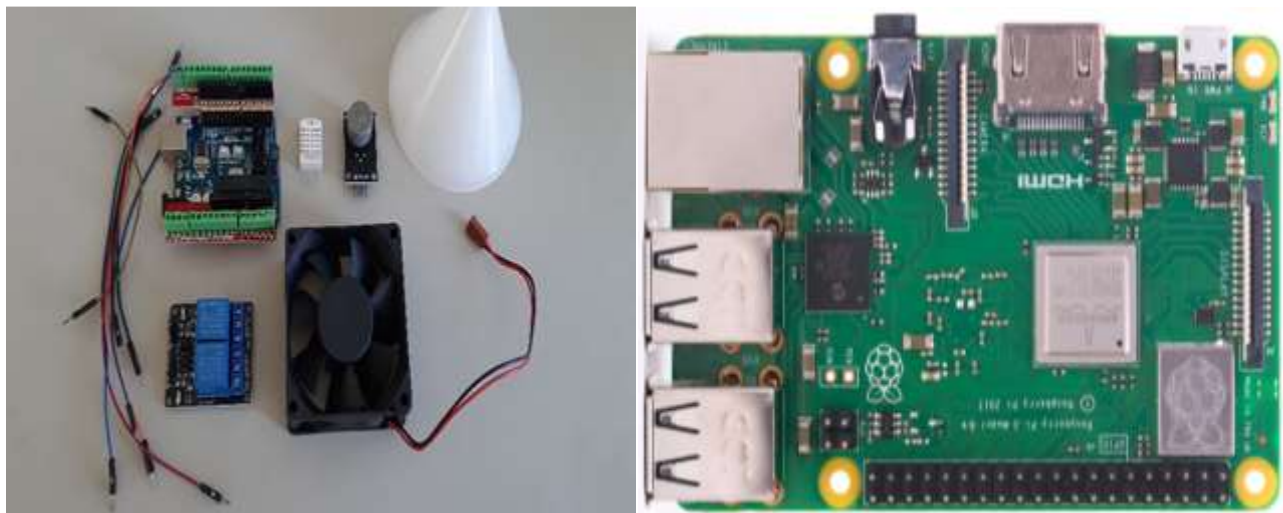


Figura 16: Materiales para equipo de medición. Fuente propia.

8.5 Diseño experimental

Se diseñó y construyó un dispositivo para la obtención de datos de concentración de CO, temperatura y humedad relativa, en el presente trabajo de investigación del prototipo del dispositivo de monitoreo ambiental el cual fue diseñado previamente en las instalaciones del Tecnológico Nacional de México, campus Boca del Río. Cada nodo sensorial se encuentra acoplado a una placa Raspberry Pi 3B, la cual se encarga de procesar los datos adquiridos por los sensores. La validación del funcionamiento se da mediante una prueba de monitoreo en un verificentro obteniendo datos muy similares a los del dispositivo en el momento de la toma de datos.

La metodología para la medición de la calidad del aire se encuentra basada en los manuales del Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA), en donde el método a emplear es el método automático, esto debido a que permite realizar mediciones de forma continua, determinando la concentración de gases contaminantes en el aire basándose en las propiedades del mismo. La escala de representatividad es del tipo vecindario o local debido a que nuestra fuente de probable contaminación se encuentra en un rango entre los 500 m a 4 km del punto a muestrear.

La técnica de muestreo empleada es la de Aleatorio simple esto para que la selección de las muestras n de la población finita N , sin considerar a ubicación de las fuentes de contaminación del mismo modo que cada una de las muestras tenga la misma oportunidad de ser elegida.

Para los números de los sitios de medición, la zona se dividirá nuevamente en base a la distribución de los contaminantes para poder obtener el número de sitios de medición.

Se establecieron promedios de las repeticiones las cuales fueron tres, de los datos obtenidos en cada temporada.

Para la obtención de los datos se realizaron 4 tratamientos con 4 repeticiones cada uno en los diferentes puntos Norte, Sur, Este y Oeste. Lo anterior, de acuerdo a lo establecido en las metodologías para la medición de la calidad del aire basada en los manuales del Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA, 2019). Cada unidad obtiene un total de 24 datos por tratamiento en 1 hora, para el muestreo se seleccionan 6 datos. Para la selección de los datos se consideran 1dato/10min.

De manera experimental cuenta con 24 datos todos obtenidos en el mismo horario y punto de muestreo almacenando 6 datos por hora. Por último, el análisis de los datos se lleva a cabo en el Centro de Computo del Instituto Tecnológico de Boca del Río en colaboración con el laboratorio de Micro y Nanotecnología de la Universidad Veracruzana.



Figura 17: Esquema de arreglo experimental. Fuente propia.

Este muestreo se realizó en tres ocasiones, extrayendo 24 datos por muestreo; durante 4 días del mes que duró el experimento en temporada de zafra y 24 de no zafra. De los 24 datos obtenidos en aleatorio en cada punto de muestreo, seis se extrajeron de forma aleatoria debido a que la (NOM-021-SSA1-1993) nos menciona que como mínimo se toman 3 datos por hora en cada punto de muestreo en la temporada de zafra, y seis repeticiones en cada uno de los tratamientos. Se extrajeron un total de 144 datos para su análisis.

8.6 Muestreo

En temporada de zafra:

Días de zafra 1 repetición/semana (3 repeticiones).

Número de muestras extraídas:

- 6 Datos por Tratamiento **N**
- 6 Datos por Tratamiento **S**
- 6 Datos por Tratamiento **O**
- 6 Datos por Tratamiento **E**

Total: 24 datos seleccionados en los 4 tratamientos.

Muestras de Monóxido de carbono:

Se realizará una muestra media por cada tratamiento.

En temporada de no zafra:

Días de no zafra 1 repetición/semana (3 repeticiones).

Número de muestras extraídas:

- 6 Datos por Tratamiento **N**
- 6 Datos por Tratamiento **S**
- 6 Datos por Tratamiento **O**
- 6 Datos por Tratamiento **E**

Total: 24 datos seleccionados en los 4 tratamientos.

Muestras de Monóxido de carbono:

Se realizará una muestra media por cada tratamiento.

8.6.1 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 considerando los sensores MQ-7 y DHT22, este equipo trabaja con el método automático, el cual contempla la toma de datos de forma continua determinando la contaminación de CO en la atmosfera, temperatura y humedad. Se hicieron muestreos de calibración para poder validar los datos obtenidos con el apoyo de un verificentro, al hacer una comparación de datos se reflejaron muy similares a los que se reflejaron en el dispositivo. De la misma manera se realizaron en dos periodos diferentes, zafra y no zafra. Los datos fueron almacenados en una SD para posteriormente realizar su análisis en las instalaciones del Centro de Computo del Instituto Tecnológico de Boca del Rio.



Figura 18: Calibración de equipo de monitoreo para validación de funcionamiento. Fuente propia.



Figura 19: Monitoreo de CO, temperatura y humedad relativa en temporada de zafra y no zafra. Fuente propia.

8.7 Análisis y preparación de los datos

En México la normatividad de calidad del aire se determina por la **Secretaría de Salud** y por la **Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales** (SSA, 2019), (SEMARNAT, 2003). Del mismo modo la NOM-SSA1-021 nos dice que para un monitoreo de calidad del aire para CO se necesitan como mínimo 3 datos por hora (NOM-021-SSA1-1993).

Método automático:

- Permite realizar mediciones de forma continua, determinando la concentración de gases contaminantes en el aire basándose en las propiedades físicas y/o químicas del mismo.

Escala de representatividad:

- Escala vecindario o Local (500 m a 4 km).
- Representa las condiciones de una subregión urbana homogénea, los datos se emplean para evaluar las fuentes y estimar los impactos sobre la salud pública.

Tipo de muestreo:

- Muestreo aleatorio simple.

- Método de selección de muestras (n) de una población finita (N) sin considerar la ubicación de las fuentes de contaminación del mismo modo que cada una de las muestras tenga la misma oportunidad de ser elegida.

Selección de Números de Sitios de Medición:

- Dividir la zona nuevamente en base a la distribución de contaminantes para obtener el número óptimo de sitios de medición.

El método de muestreo que se empleó es el método automático, se realizó un muestreo aleatorio simple en donde se determinó como punto cero el Ingenio azucarero el Modelo. Una muestra aleatoria se caracteriza por tener al menos tres repeticiones en el mismo sitio (NOM-021-SSA1-1993).

8.8 Tratamiento estadístico de los datos

Para llevar a cabo el análisis estadístico de los datos se utilizó el software estadístico R.

Primero se comprobó la normalidad de los datos recabados mediante una prueba de normalidad de Shapiro y Kolmogorov, una prueba de homocedasticidad de Levene, posteriormente los datos fueron sometidos a sus respectivos análisis estadístico.

Se realizó la prueba "t" de Student para determinar si hay una diferencia significativa entre las medias de dos grupos denominados zafra y no zafra. Se graficaron las interacciones de medias muestrales para comparar diferencias significativas entre las concentraciones de CO registradas en las diferentes estaciones de muestreo.

Debido a los resultados que se obtuvieron al realizar las pruebas anteriores, se determinó descartar la temporada de no zafra y dar una mayor relevancia a la temporada de zafra.

Por lo cual se incluyó un análisis que consta primero de la comprobación de los datos mediante la prueba de normalidad de Shapiro y Kolmogorov y su respectiva análisis de homocedasticidad de Levene, continuamente, los datos fueron sometidos a su respectivo análisis estadístico, considerando en esta parte del análisis basado en la temporada de zafra en sus diferentes puntos de monitoreo.

Se aplicó un análisis de varianza ANOVA a los datos obtenidos para determinar si existe una diferencia significativa entre las medias de cuatro grupos denominados Norte, Oeste, Sur y Este. Se graficaron las interacciones de medias muestrales para comparar diferencias significativas entre el comportamiento de los resultados del tratamiento y cada uno de los puntos considerados.

Se realizó una prueba de correlación de Pearson de los datos obtenidos entre el monóxido de carbono y las variables meteorológicas temperatura y humedad relativa. Así mismo, se determinó la correlación mediante una prueba de “t” de Student para conocer el valor asociado de p, y determinar la existencia o no de dicha correlación con el coeficiente de determinación (R^2).

Se utilizó el promedio de los valores en cada día del periodo experimental. El promedio de la repetición 1 tratamiento N, S, E y O, repetición 2 tratamiento N, S, E y O, repetición 3 tratamiento N, S, E y O. Este proceso se realizó 2 veces debido a los periodos de obtención de datos en diferente temporada (zafra y no zafra).

Con el objetivo de conocer los índices de contaminación en diferentes temporadas en las que trabaja el ingenio azucarero y cuando suspende sus actividades considerando las épocas de año que esto representa.

El procesamiento de datos y sus representaciones gráficas se realizaron con el paquete estadístico R en su versión 3.6.2.

9. RESULTADOS

9.1 Análisis exploratorio de los datos.

Los resultados que se presentan a continuación son correspondientes a cada uno de los objetivos de este trabajo y se irán presentando conforme el orden que se menciona anteriormente en los objetivos particulares con la finalidad de cumplir el objetivo de este proyecto, de igual forma los datos que se trabajaron para llegar a estos resultados se pueden observar en el título **13 ANEXOS**, el cual consta de tablas en las que se puede encontrar cada uno de los datos del monitoreo en las diferentes etapas y poder así realizar todos los tratamientos estadísticos.

9.1.1 Caracterización de la zona

En la caracterización de los puntos de muestreo primero se realizó un recorrido por el área de muestreo en la cual se buscaron las diferentes fuentes de contaminación atmosférica que pueden afectar de manera directa al monitoreo, se pudo observar las diferencias en cada uno de los puntos. Se muestra en la **Tabla 9**.

Tabla 9. Caracterización de las temporadas de zafra y no zafra.

Fuentes	Características
Puntuales	Fábricas e industrias que se encuentran ubicadas en las zonas aledañas al ingenio el modelo como lo son alcoholera, aceitera empresa de suministros industriales y fabricación de maquinaria.
Móviles	Se logró observar el transitar de los vehículos en cada uno de los puntos, los cuales de acuerdo a cada punto seleccionado se alcanza desde un transito constante, en punto sur y oeste hasta un transito leve en los puntos norte y este.
De Área	Se consideran negocios en los cuales se preparan alimentos mediante la quema de leña y/o carbón como lo son restaurantes y del mismo modo los fogones o asadores de uso doméstico.
Naturales o biogénicas	Se puede observar una gran cantidad de incendios de cañales constante en la temporada de zafra.



Figura 20: Representación geográfica de la toma de muestras.

Para la selección del área consideramos la escala de representatividad vecindario o local con un rango de 0.5 km – 4 km de distancia del punto de muestreo a punto de emisión del contaminante, y se utilizó el método aleatorio simple para la selección de los puntos de muestreo en relación a la rosa de los vientos.

9.2 Implementación del dispositivo de monitoreo

Se realizó la selección de los sensores a ocupar considerando la facilidad de conexión de cada uno de ellos con la placa Raspberry pi, también se consideran los costos no elevados para poder llevar acabo la realización del proyecto.

Este dispositivo fue diseñado y ensamblado por los alumnos José Alfredo Inclán Barragán, Carlos Daniel Amaya Fernández y Carlos Alberto Toledo Barrios, estudiantes de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental en el Instituto Tecnológico de Boca del Rio. Por motivos actuales de patente no se mencionan más especificaciones del dispositivo.



Figura 21: Medición de la concentración de CO en la zona aledaña al ingenio el Modelo.

9.3 Análisis estadístico temporada de zafra y no zafra

Se realizó la selección de 1 dato cada 10 minutos durante 1 hora de muestreo en cada punto, obteniendo un total de 6 datos por cada punto y 24 datos por cada repetición. Se hicieron un total de 3 repeticiones por cada temporada de muestreo, se consideraron 2 temporadas con el fin de poder conocer la diferencia entre ambas.

Para la temporada de zafra se demuestra la gráfica de los datos obtenidos en anexos.

Se realizaron los muestreos los días 15, 23 y 30 de abril de 2019 en diferentes puntos aledaños al ingenio El Modelo, los puntos fueron seleccionados aleatoriamente en diferentes direcciones cada uno: norte, oeste, sur y este.

Las variables meteorológicas en esta temporada oscilaron para la temperatura entre los 27.2°C y la humedad relativa de 57.7%, considerando vientos del Norte a 17km/h.

En el procesamiento de los datos se hizo una prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para cada una de las repeticiones en las diferentes fechas de muestreo, esto se representa en la **Figura 22**.

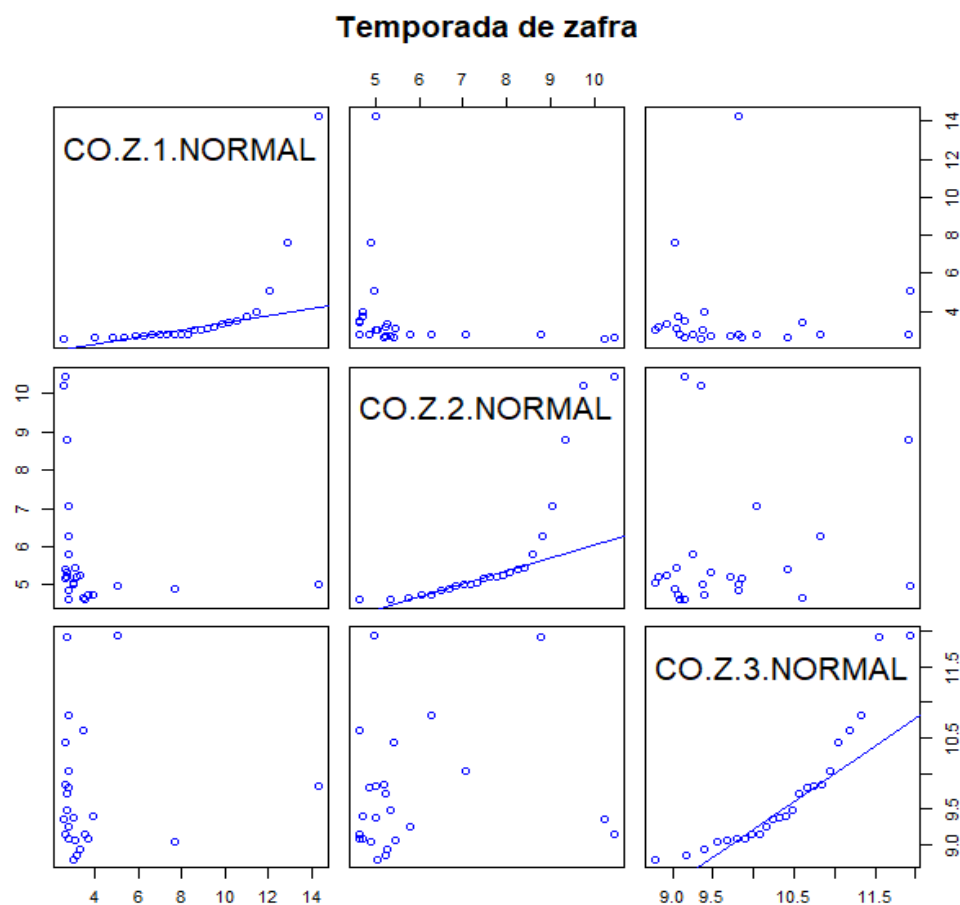


Figura 22: Representación gráfica de la normalidad de los datos con las tres repeticiones realizadas.

Después de haber realizado las pruebas de normalidad se detectó que los datos no presentaban una distribución normal, por lo tanto, se realizó una transformación utilizando el método de Johnson SB.

Tabla 10: Valor estadístico de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk con los datos transformados (Johnson).

DÍA	MEDIA	DESV. EST.	p-valor
15-abr-19	3.745	2.492	0.9881
23-abr-19	5.786	1.673	0.4059
30-abr-19	9.699	0.877	0.9239

Al realizar la transformación de los valores se obtiene un ajuste adecuado y podemos mencionar que la transformación es efectiva como se refleja en la **Figura 23**.

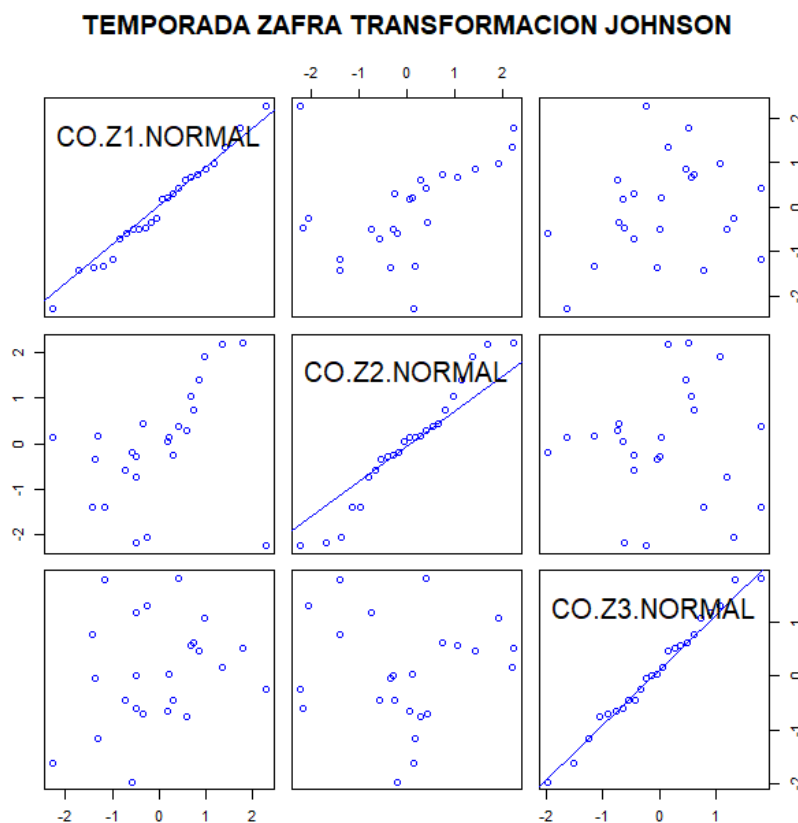


Figura 23: Representación de la normalidad con los datos transformados.

Del mismo modo para la transformación de Johnson el valor de significancia es $\alpha=0.10$, y al obtener como resultado de p mayor en las 3 repeticiones como se muestra el ejemplo en la **Tabla 10**, se puede presuponer que los datos transformados siguen una distribución normal, podemos mencionar que en la temporada de zafra no se puede rechazar H_0 en ninguna de las 3

repeticiones debido a que los valores de p son mayores al nivel de significancia, esto nos afirma que existe una normalidad en los datos.

Se realizó un test de Levene a los datos obteniendo como resultado que los valores adquiridos en la práctica si cumplen con una homogeneidad verdadera.

De igual forma se realizaron los mismos pasos para la temporada de no zafra.

La realización de los muestreos fueron los días 12, 19 y 26 de octubre de 2019 en los mismos puntos anteriormente seleccionados para la temporada de zafra: norte, oeste, sur y este.

Las variables meteorológicas en esta temporada oscilaron para la temperatura fueron de 30°C y una humedad relativa de 73.02 %, considerando vientos del Norte a 20km/h.

En el procesamiento de los datos del mismo modo anterior se realizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y de homosedasticidad de Levene para cada una de las repeticiones en las diferentes fechas de muestreo, esto se representa con las **Figura 23**.

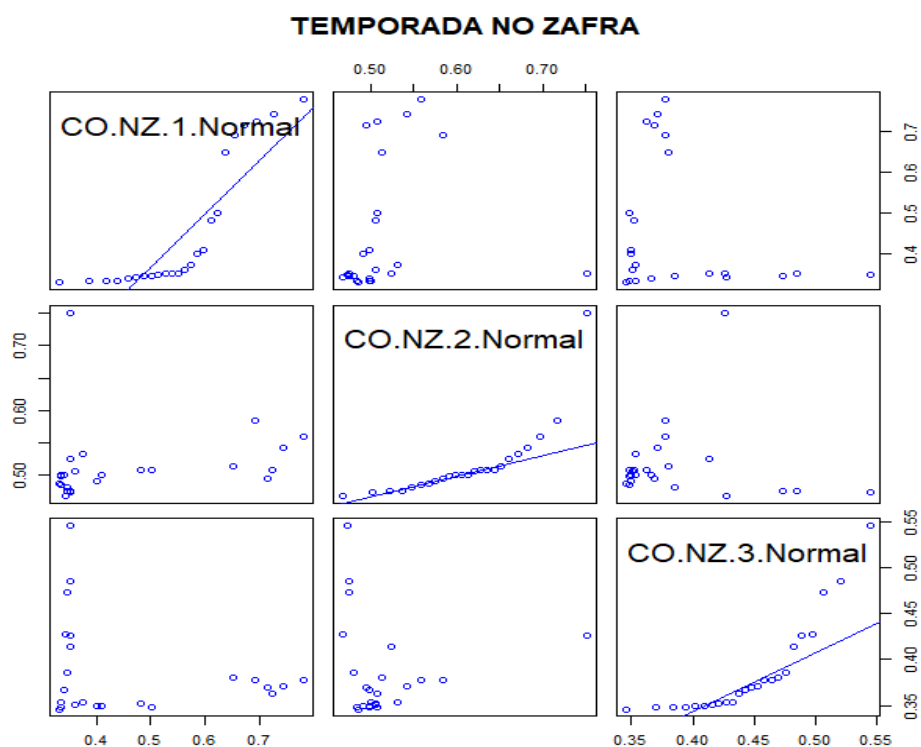


Figura 24: Representación gráfica de la normalidad.

Tabla 11: Valor estadístico de la prueba Jhonson.

DIA	MEDIA	DESV. EST.	p-valor
12-oct-19	0.4566	0.1612	0.1483

19-oct-19	0.5149	0.05756	0.4319
26-oct-19	0.386	0.05162	0.8999

Después de haber realizado las pruebas de normalidad se detectó que los datos no son normales, por lo tanto, se realizó una prueba de transformación de Johnson SB.

En la transformación de los datos se observa que los valores tienen un ajuste adecuado y podemos mencionar que la transformación es efectiva.

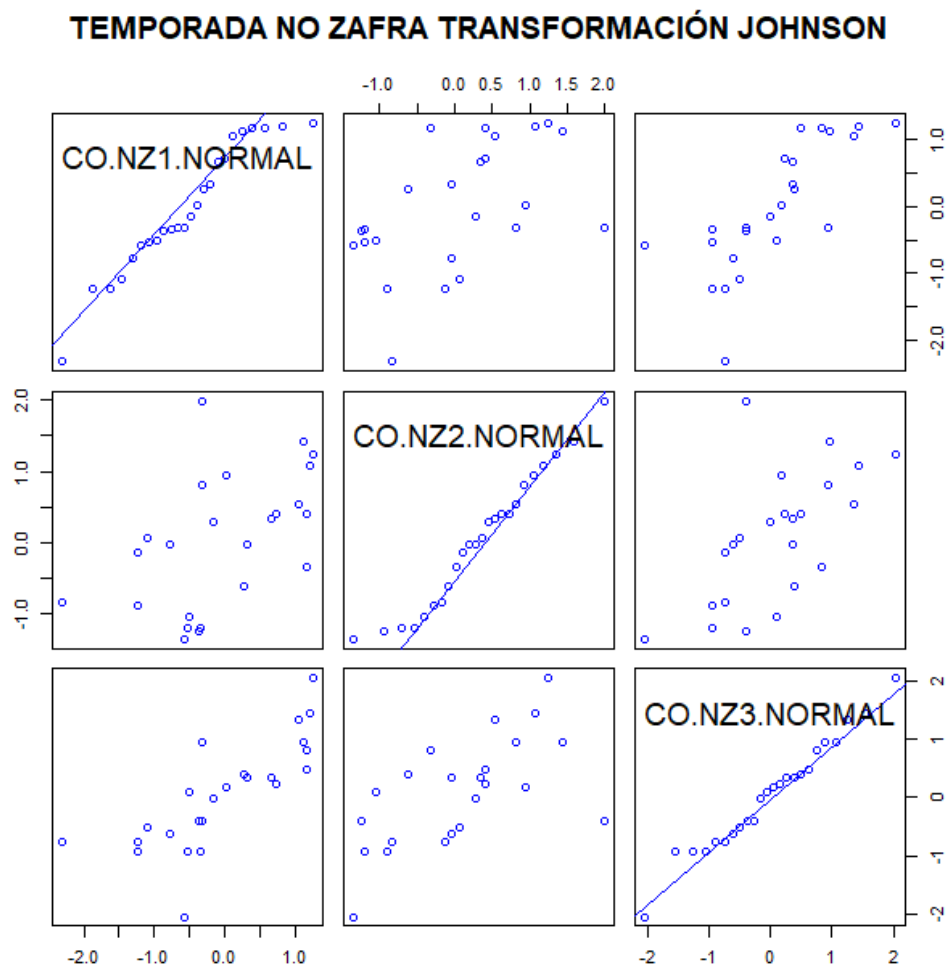


Figura 25: Representación gráfica de la normalidad datos transformados.

De igual forma para la transformación de Johnson el valor de significancia es $\alpha=0.10$, y al obtener como resultado de p mayor en las 3 repeticiones como se muestra el ejemplo en la **Tabla 11**, se puede presuponer que los datos transformados siguen una distribución normal y podemos mencionar que en la temporada de no zafra no se puede rechazar H_0 en ninguna de las 3

repeticiones debido a que los valores de p son mayores al nivel de significancia, esto nos afirma que existe una normalidad en los datos.

Tabla 12: Valores promedio en diferentes temporadas.

Tratamientos	Partes analizadas	Repeticiones de muestreo		
		1º	2º	3º
T1 Zafra	Días	15-abr-19	23-abr-19	30-abr-19
	CO (ppm)	3.75	5.79	9.7
T2 No Zafra	Días	12-oct-19	19-oct-19	26-oct-19
	CO (ppm)	0.46	0.51	0.39

Se observa una diferencia significativa de los promedios en las diferentes temporadas y días de muestreo considerando una diferencia muy significativa en los datos de la temporada de no zafra a diferencia de la temporada de zafra 2018 – 2019.

En la **Tabla 13** se representan los valores de las diferencias de medias muestrales para el monóxido de carbono.

Tabla 13: t de student para comparar las temporadas de zafra y no zafra.

Factor	N	Media	Desv.Est.	Error Estandar de la media	IC de 95%	Valor T	Valor p
CO Z	72	6.41	3.059	0.36	(5.906, 6.914)	17.64	0.000
CO NZ	72	0.4525	0.1148	0.0135	(-0.0518, 0.9567)	29.76	0.000
Desv.Est. agrupada =							
2.16444		2.1644					

Hipótesis nula

Hipótesis alterna

Prueba de Independencia (X²).

H₀: μ = 0.05

H₁: μ ≠ 0.05

En ambos meses hubo una diferencia significativa con respecto al valor de p.

N	N*	GL	Chi-cuad.	Valor p
144	0	94	192.458	0.000

54

Podemos observar que el valor de p es menor al nivel de significancia, por lo tanto, se rechaza H_0 y los datos observados son estadísticamente diferentes y se puede afirmar que no existe una relación en cada una de las temporadas, se determina que el monóxido de carbono en la temporada de zafra oscila entre las 6 y las 9 ppm a diferencia de la temporada de no zafra que nos demuestra una mayor estabilidad en la atmosfera.

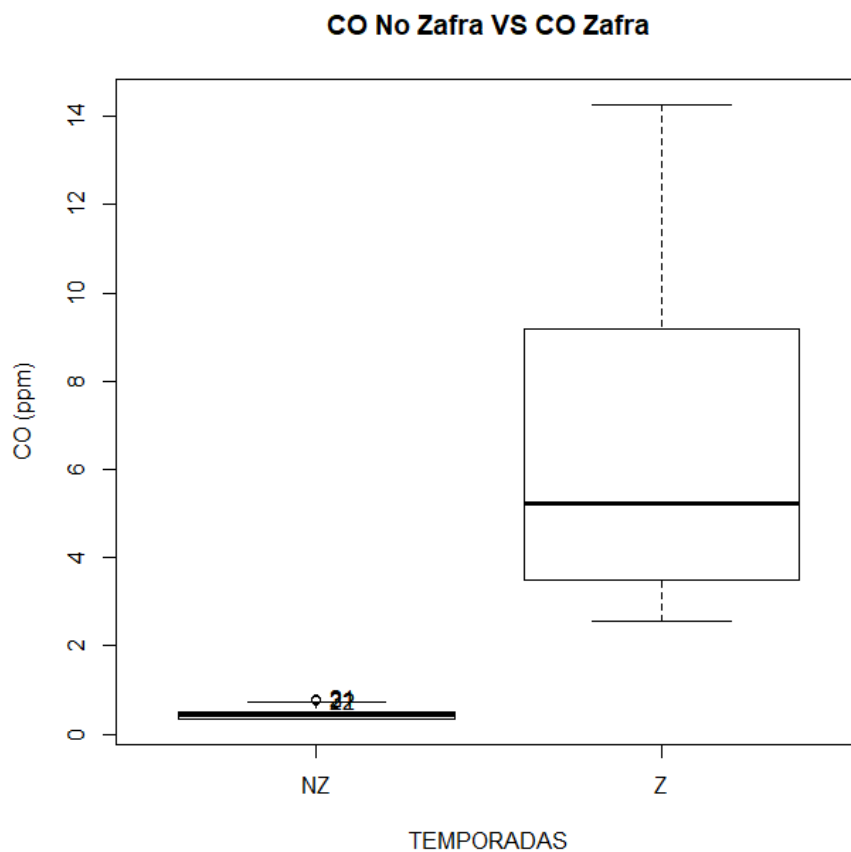


Figura 26: Diferencias de la concentración de CO en cada temporada. NZ = no zafra; Z = zafra.

Podemos observar el valor medio de todos los datos obtenidos de las muestras del CO y el comportamiento del mismo para ambas temporadas, para el CO Z con un total de datos $n = 72$ del cual tenemos una mediana de 5.242 donde $Q1 = 3.45821$ y $Q3 = 9.21812$ obteniendo como rango intercuartil un total de 5.66797, los bigotes de las cajas nos señalan la dispersión de los datos en la temporada de zafra en el mes de abril de 2019 que oscilaron de 2.55130 – 14.2784 ppm de CO.

A diferencia de la temporada de no zafra donde igual con un total de datos $n=72$, el valor de la mediana es de 0.426635 donde $Q1= 0.352440$ y $Q3= 0.504132$ obteniendo como rango intercuartil un valor de 0.151692, los bigotes de las cajas nos señalan la dispersión de los datos en la temporada de no zafra en el mes de octubre de 2019 que oscilaron de 0.331296 – 0.724147 ppm de CO.

Obteniendo como resultado la diferencia de dispersión del monóxido de carbono en ambas temporadas es muy alta considerando entonces que el CO en temporada de zafra si refleja un aumento muy considerado en la temporada de zafra a pesar de no alcanzar los límites máximos permisibles mencionados en la (NOM-021-SSA1-1993) la cual nos dice que no debe exceder las 11ppm durante 8hrs continuas en emisiones de CO a la atmosfera.

De igual forma resaltar que a pesar de no exceder los límites, en esta investigación se observó que hay días en los que si se alcanza una exposición elevada en la temporada de zafra pudiendo esta provocar alteraciones en los humanos, animales, plantas y contaminación al agua y suelo. En los humanos puede haber alteraciones como lo son dolores de cabeza, escurrimiento nasal, síntomas de tos y gripe hasta iniciar problemas asmáticos. Por ello se decidió seguir la investigación específicamente en la temporada de zafra en cada uno de los puntos muestreados para así conocer en que parte de la Cd. de Cardel existe una mayor concentración, la dispersión y el comportamiento del CO.

9.3.1 Análisis estadístico temporada de zafra.

Para el análisis estadístico en la temporada de zafra se realizó el mismo diseño experimental que se manejó en la sección anterior tomando como referencia los puntos de muestreo N, O, S y E.

9.3.1.1 Test de normalidad

En el procesamiento de los datos se hizo una prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para cada una de las repeticiones en las diferentes fechas de muestreo para cada una de las repeticiones, esto se representa en la **Figura 27**.

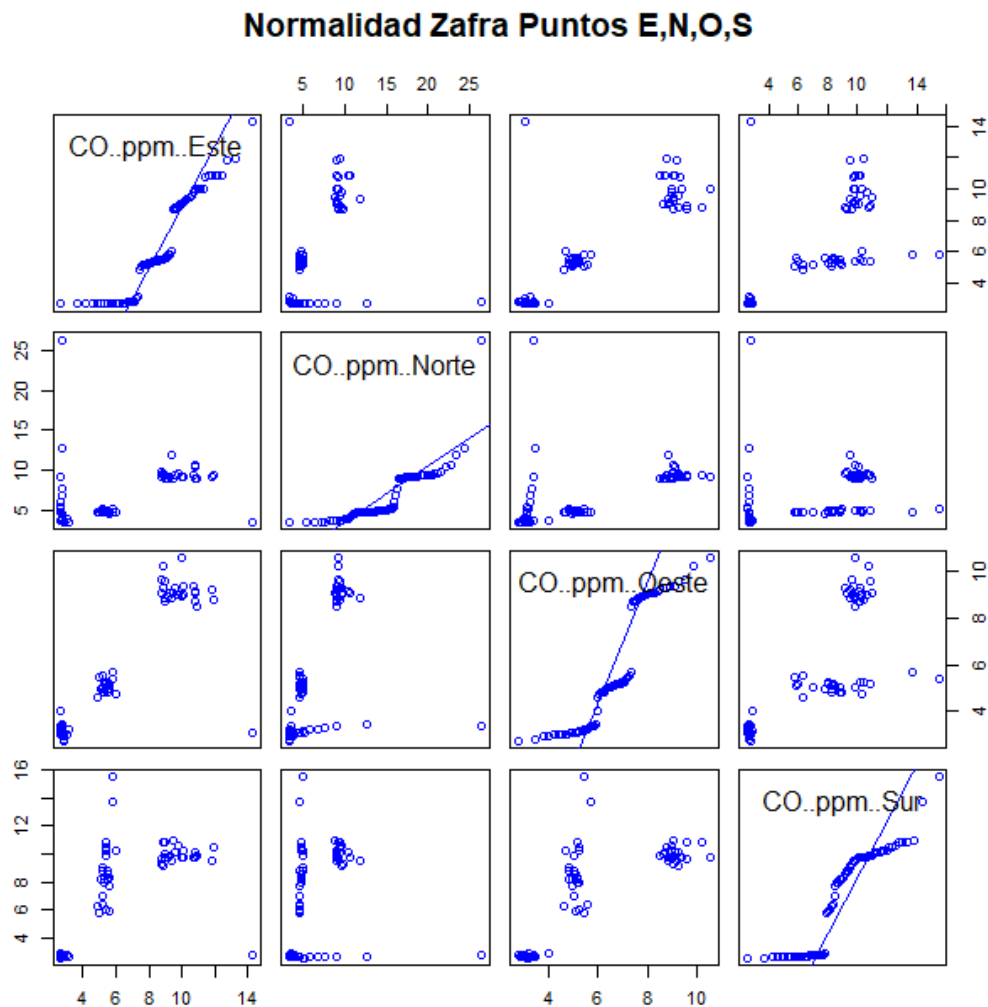


Figura 27: Representación gráfica de normalidad.

Después de haber realizado las pruebas de normalidad siendo esta prueba satisfactoria en cada uno de los puntos asegurando la normalidad de los datos, la prueba de Shapiro-Wilk, se elaboró con ayuda del paquete estadístico R en su versión 3.6.2.

Tabla 14: Datos temporada de zafra puntos N, O, S y E.

CO ZAFRA	MEDIA	DESV. EST.	VALOR p
Norte	6.887	3.371	0.212
Oeste	5.822	2.538	0.752
Sur	5.798	3.06	0.654
Este	7.319	3.523	0.911

En los resultados de la **Tabla 14**, podemos verificar que se sigue una distribución normal y podemos mencionar que en la temporada de zafra en cada uno de los puntos no se puede rechazar H_0 debido a que los valores de p son mayores al nivel de significancia, esto nos afirma que existe una normalidad en los datos.

Prueba de análisis de varianza de un solo factor.

Se realizó la prueba de ANOVA debido a que la cantidad de los grupos de datos a tratar son 4, se utilizó para conocer el valor de las medias y comparar las diferencias significativas en cada uno de los puntos de muestreo.

Tabla 15: Prueba ANOVA puntos N, O, S y E.

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	127.1	42.354	4.28	0.006
Error	284	2810.4	9.896		
Total	287	2937.5			

Tabla 16: Medias muestrales e intervalos de confianza para el conjunto de datos de los factores: puntos de muestreo.

Medias				
Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
CO (N)	72	6.887	3.371	(6.157, 7.617)
CO (O)	72	5.822	2.538	(5.092, 6.552)
CO (S)	72	5.798	3.06	(5.069, 6.528)
CO E	72	7.319	3.523	(6.589, 8.049)
<i>Desv.Est. agrupada = 3.14577</i>				

Considerando el valor de significancia $\alpha = 0.05$ a diferencia del resultado de la prueba donde $p = 0.006$ podemos rechazar la H_0 y mencionar que las medias en los diferentes puntos de muestreo no son iguales, existe una gran diferencia significativa entre ambas, esto se debe a la relación que puede existir del CO con temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento.

Con el método de Tukey podemos especificar que todo el conjunto de comparaciones debe tener una tasa de error por temporada de 0.05 (equivalente a un nivel de confianza simultáneo de 95%). Con los resultados obtenidos de la **Tabla 17**, se puede decir que no comparten la letra entre ambas y resaltar que las medias no son estadísticamente significativas. Cabe resaltar la

diferencia entre los datos en cada uno de los puntos sometidos a muestreo, no tienen ninguna relación significativa en la estadística, pero si nos aclara la gran variación que existe entre una y otra dirección. Esto se refleja de manera más notoria en la **Figura 28**.

Tabla 17: Método Tukey.

COMPARACIONES TUKEY			
Factor	N	Media	Agrupación
CO E	72	7.319	A
CO (N)	72	6.887	A B
CO (O)	72	5.822	B
CO (S)	72	5.798	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

En estos resultados, la tabla nos muestra que el grupo A contiene los puntos E y N y el grupo B contiene los puntos N, O y S. El punto N está en ambos grupos, por lo tanto, la diferencia entre la media que comparte una letra no dice que no son estadísticamente significativas. Los puntos E, O y S no comparten una letra, lo que indica que el punto E posee una media significativamente mayor al punto S.

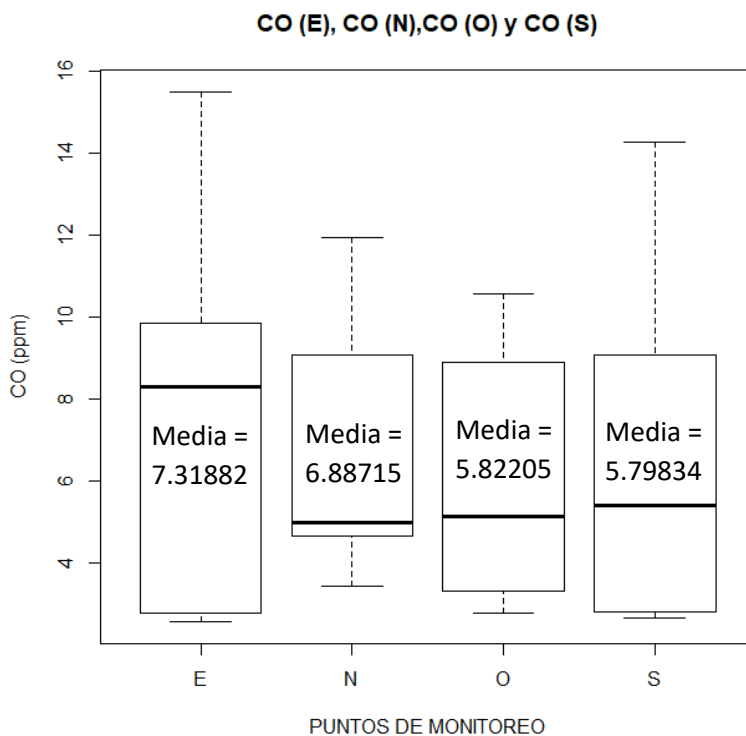


Figura 28: CO puntos de muestreo en zafrá.

Podemos observar el valor medio de todos los datos obtenidos de las muestras del CO en los diferentes puntos son similares y el comportamiento de los datos varía en cada uno de los puntos, para el CO en el punto norte con un total de datos $n=72$ del cual tenemos una mediana de 5.54024 donde $Q1=5.02110$ y $Q3=9.13946$ obteniendo como rango intercuartil un total de 4.11836, los bigotes de las cajas nos señalan la dispersión de los datos en cada uno de los puntos muestreados en la temporada de zafra en el mes de abril de 2019 donde el monóxido de carbono en el punto norte oscilo de 3.43321 – 12.6513 ppm de CO.

Para el punto oeste con un total de datos $n=72$, el valor de la mediana es de 5.12326 donde $Q1=3.28591$ y $Q3=8.90455$ obteniendo como rango intercuartil un valor de 5.61864, con valor en los bigotes de la caja para el punto oeste oscilando de 2.76836 – 10.5616 ppm de CO.

En el punto sur igual con un total de datos $n=72$, el valor de la mediana es de 4.79381 donde $Q1=2.76916$ y $Q3=8.99074$ obteniendo como rango intercuartil un valor de 6.22159, con valor en los bigotes para la caja del punto sur el cual mantuvo una oscilación de 2.55130 – 11.9177 ppm de CO.

Y, por último, en el punto este con $n=72$ datos en total, con una mediana de 8.43816 donde $Q1=2.7243$ y $Q3=9.88419$ teniendo un rango intercuartil con un valor de 7.11176, con un valor en bigotes de 2.63526 – 15.5122 ppm de CO.

Obteniendo como resultado una diferencia de dispersión del monóxido de carbono muy alta en los 4 puntos muestreados, considerando entonces que el CO en temporada de zafra si refleja un aumento muy considerado, pudiendo mencionar que el área de la población muestreada con mayor concentración de CO se encuentra en los puntos sur y este, en los cuales no exceden las 11ppm durante 8hrs continuas en concentración de CO a la atmosfera como lo menciona la (NOM-021-SSA1-1993).

De igual forma resaltar que a pesar de no exceder los límites, en esta investigación se observó que en los puntos sur y este reflejan la mayor concentración de CO y esto puede ser debido a días en los que si se alcanza una exposición elevada en la temporada de zafra ligado a las condiciones meteorológicas como lo son las altas temperaturas, la humedad relativa, la dirección y la velocidad del viento pudiendo así provocar alteraciones no de alto riesgo pero capaces de provocar incidentes de menores a graves en los humanos, animales, plantas. Del mismo modo provocar una contaminación al agua y suelo que en la actualidad es de vital importancia para los seres vivos. En los humanos puede haber alteraciones como lo son dolores de cabeza, escurrimiento nasal, síntomas de tos y gripe hasta iniciar problemas asmáticos.

9.3.2 Correlación del monóxido de carbono con las variables meteorológicas (temperatura, humedad relativa, dirección y velocidad del viento)

En esta etapa de resultados se demuestra la relación y el comportamiento o forma en que se dispersa el gas en la atmosfera y la relación que tienen los factores meteorológicos con el monóxido de carbono en las diferentes temporadas.

Tabla 18: Correlación CO, Temperatura y humedad relativa en temporada de zafra.

	Correlaciones	
	CO Z	TEMPERATURA Z
TEMPERATURA Z	0.758	
	0.000	
	0.574	
HUMEDAD Z	0.475	0.507
	0.000	0.000
	0.225	0.257
Contenido de la celda		
Correlación de Pearson		
Valor p		
R ²		

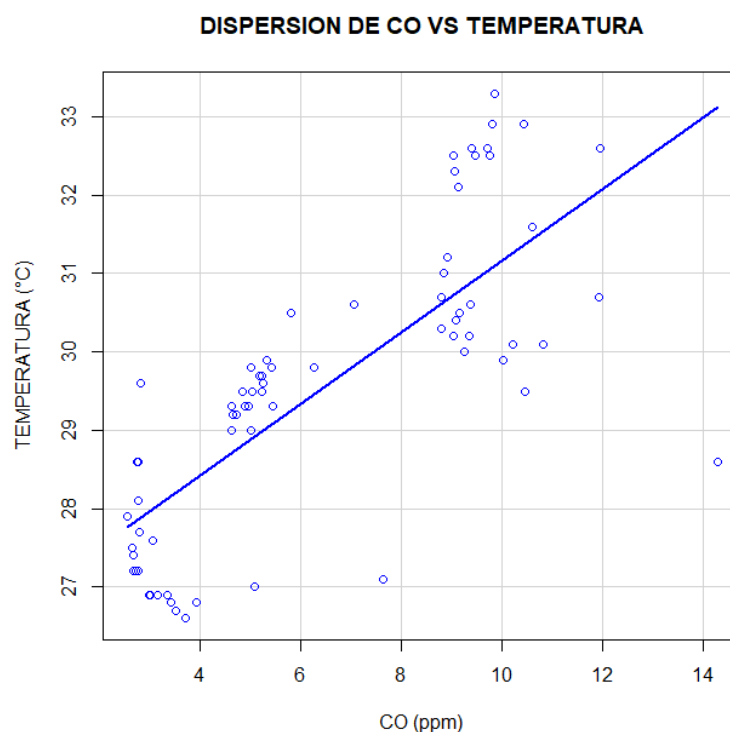


Figura 29: Rango de concentración del CO con respecto a la temperatura, zafra.

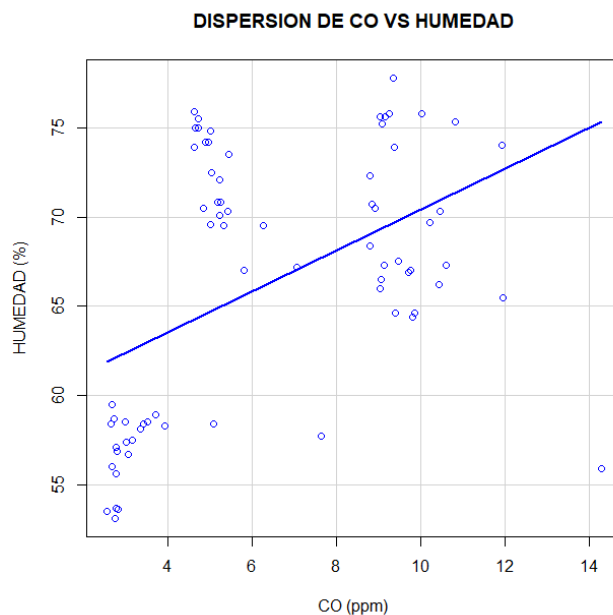


Figura 30: Rango de concentración del CO con respecto a la humedad relativa, zafra.

Para la temporada de zafra:

R de CO vs T = Existe una asociación lineal significativa entre las variables y su relación es positiva. R de CO vs HR = En este caso existe una relación lineal débil entre las variables y su relación es positiva. R^2 de CO vs T = Se mantiene una asociación lineal significativa entre las variables. R^2 de CO vs HR = Del mismo modo para la humedad se mantiene una relación lineal débil. Y cabe mencionar que para ambos casos el nivel de significancia es menor a 0.05 por lo tanto tenemos un valor estadísticamente significativo.

Tabla 19: Correlación CO, Temperatura y humedad relativa en temporada de no zafra.

	Correlaciones	
	CO NZ	TEMPERATURA NZ
TEMPERATURA NZ	0.491	
	0.000	
	0.241	
HUMEDAD NZ	-0.129	-0.352
	0.281	0.002
	0.017	0.123
Contenido de la celda	Correlación de Pearson	
	Valor p	
	R^2	

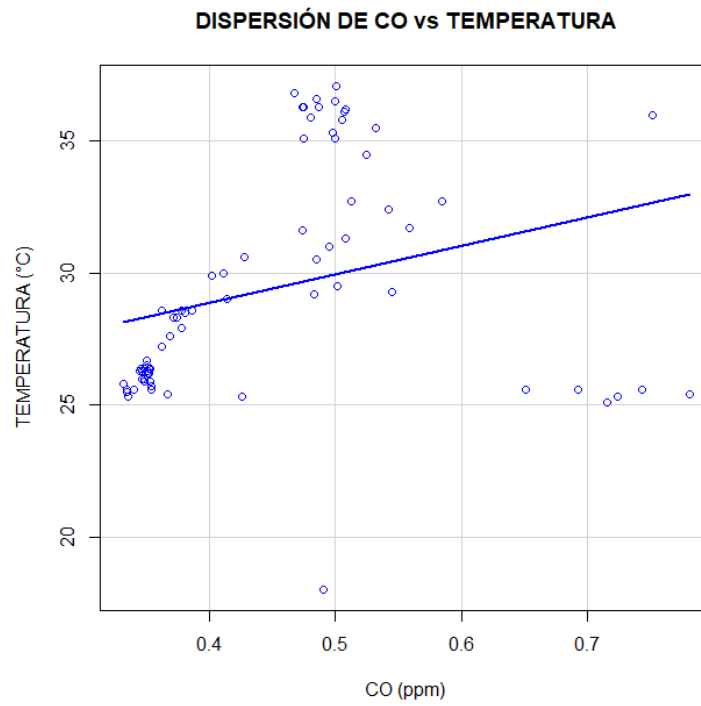


Figura 31: Rango de concentración del CO con respecto a la temperatura, no zafra.

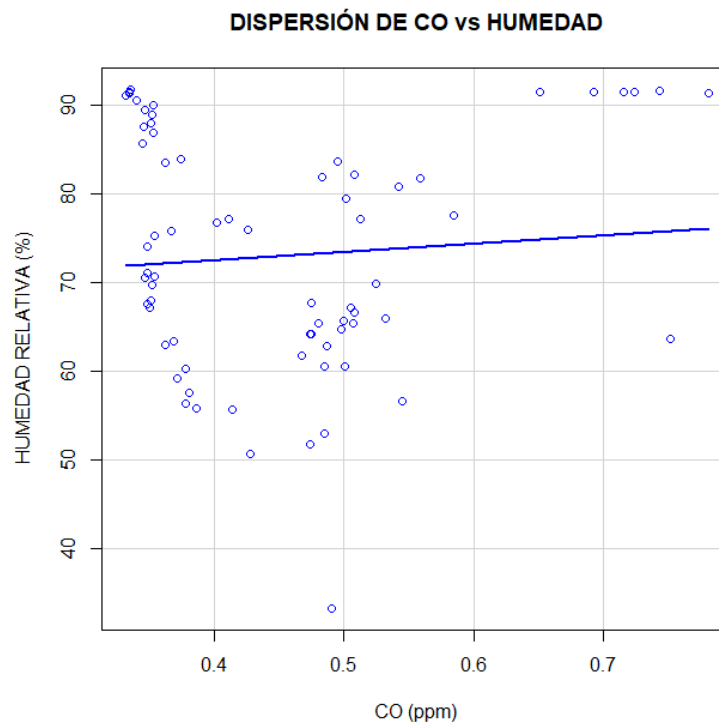


Figura 32: Rango de concentración del CO con respecto a la humedad relativa, no zafra.

Para la temporada de zafra:

R de CO vs T = Existe una asociación lineal débil entre las variables y su relación es positiva. R de CO vs HR = En este caso existe una relación lineal muy débil entre las variables y su relación es ligeramente positiva. R^2 de CO vs T = Se mantiene una asociación lineal significativa entre las variables. R^2 de CO vs HR = Del mismo modo para la humedad se mantiene una relación lineal muy débil. p de CO vs T = Se puede concluir que la correlación es diferente de 0. p de CO vs HR = No se puede concluir que la correlación es diferente de 0.

Se puede mencionar que si existe una relación del monóxido de carbono con la temperatura y la humedad relativa considerando que mientras la temperatura y la humedad relativa aumentan la concentración de CO también aumenta, el gas se eleva a la atmosfera cuando la humedad es alta. Y de igual forma se observa en las gráficas el comportamiento y la dispersión del gas contaminante teniendo mayor concentración, dispersión y relación en la temporada de zafra.

Tabla 20: Correlación CO, Temperatura y humedad relativa y velocidad del viento en temporada de zafra en los puntos N, O, S y E.

Correlaciones				Correlaciones			
	CO (N)	TEMPERATURA	HUMEDAD		CO (O)	TEMPERATURA	HUMEDAD
TEMPERATURA	0.463			TEMPERATURA	0.695		
	0.000				0.000		
	0.214				0.483		
HUMEDAD	-0.004	0.618		HUMEDAD	-0.127	-0.753	
	0.974	0.000			0.288	0.000	
	0.000	0.382			0.016	0.567	
Vel. Viento	-0.431	-0.996	-0.651	Vel. Viento	-0.961	-0.736	0.132
	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000	0.268
	0.186	0.992	0.424		0.924	0.542	0.017
Contenido de la celda				Contenido de la celda			
Correlación de Pearson				Correlación de Pearson			
Valor p				Valor p			
R^2				R^2			
Correlaciones				Correlaciones			
	CO (S)	TEMPERATURA	HUMEDAD		CO (E.)	TEMPERATURA	HUMEDAD
TEMPERATURA	0.906			TEMPERATURA	0.749		
	0.000				0.000		
	0.821				0.561		
HUMEDAD	0.722	0.837		HUMEDAD	0.748	0.602	
	0.000	0.000			0.000	0.000	
	0.521	0.701			0.560	0.362	
Vel. Viento	-0.946	-0.950	-0.894	Vel. Viento	-0.801	-0.963	-0.751
	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000
	0.895	0.903	0.799		0.642	0.927	0.564
Contenido de la celda				Contenido de la celda			
Correlación de Pearson				Correlación de Pearson			
Valor p				Valor p			
R^2				R^2			

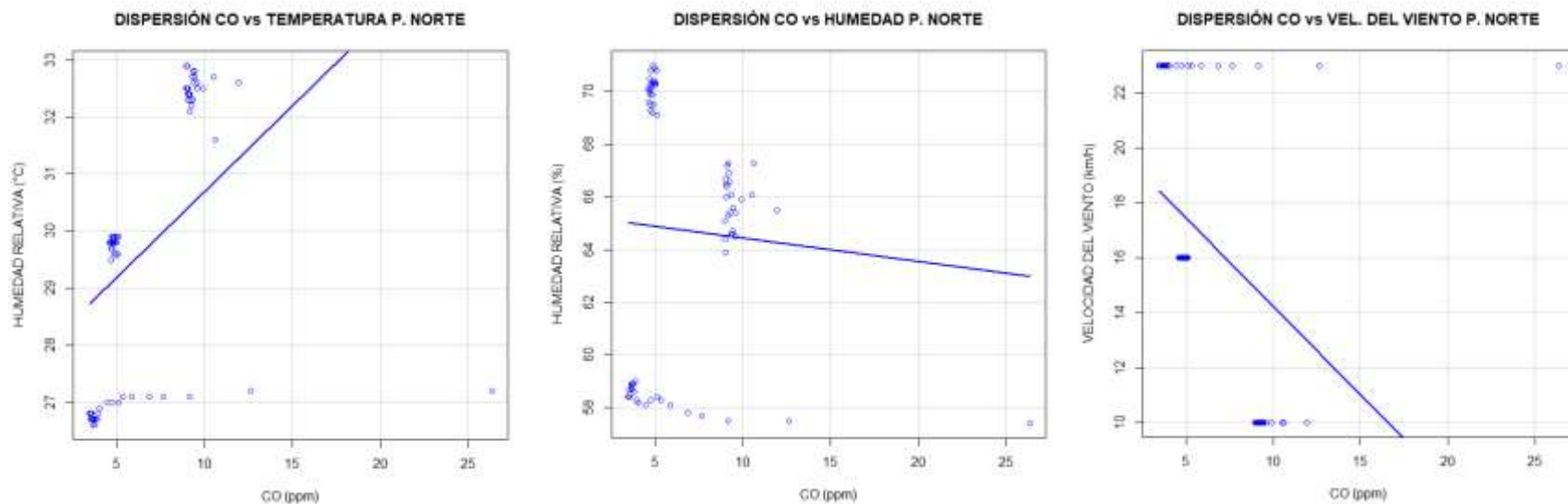


Figura 33: Rango de concentración del CO con respecto a la temperatura, humedad relativa y velocidad de viento en punto norte.

Para la temporada de zafra en punto norte:

R de CO vs T = Existe una asociación lineal moderada entre las variables y su relación es positiva. R de CO vs HR = En este caso existe una relación lineal perfecta entre las variables y su relación es negativa. R de CO vs VV = Existe una asociación lineal débil entre las variables y su relación es negativa. R^2 de CO vs T = Se mantiene una asociación lineal moderada entre las variables. R^2 de CO vs HR = En el caso de la humedad se puede mencionar la relación lineal entre las variables es nula. R^2 CO vs VV= Relación lineal muy débil.

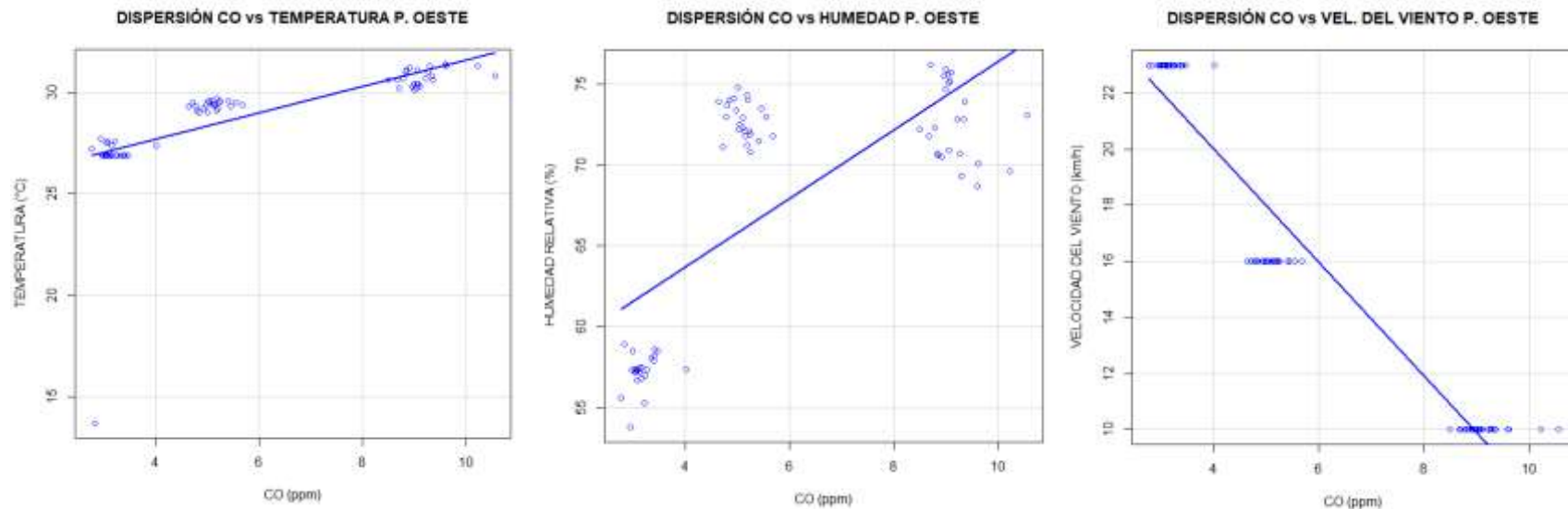


Figura 34: Rango de concentración del CO con respecto a la temperatura, humedad relativa y velocidad de viento en punto oeste.

Para la temporada de zafra en punto oeste:

R de CO vs T = Existe una asociación lineal moderada entre las variables y su relación es positiva. R de CO vs HR = En este caso existe una relación lineal débil entre las variables y su relación es negativa. R de CO vs VV = Existe una asociación lineal perfecta entre las variables y su relación es negativa. R^2 de CO vs T = Se mantiene una asociación lineal débil entre las variables. R^2 de CO vs HR = En el caso de la humedad se puede mencionar que la relación lineal entre las variables es nula. R^2 CO vs VV= Relación lineal fuerte.

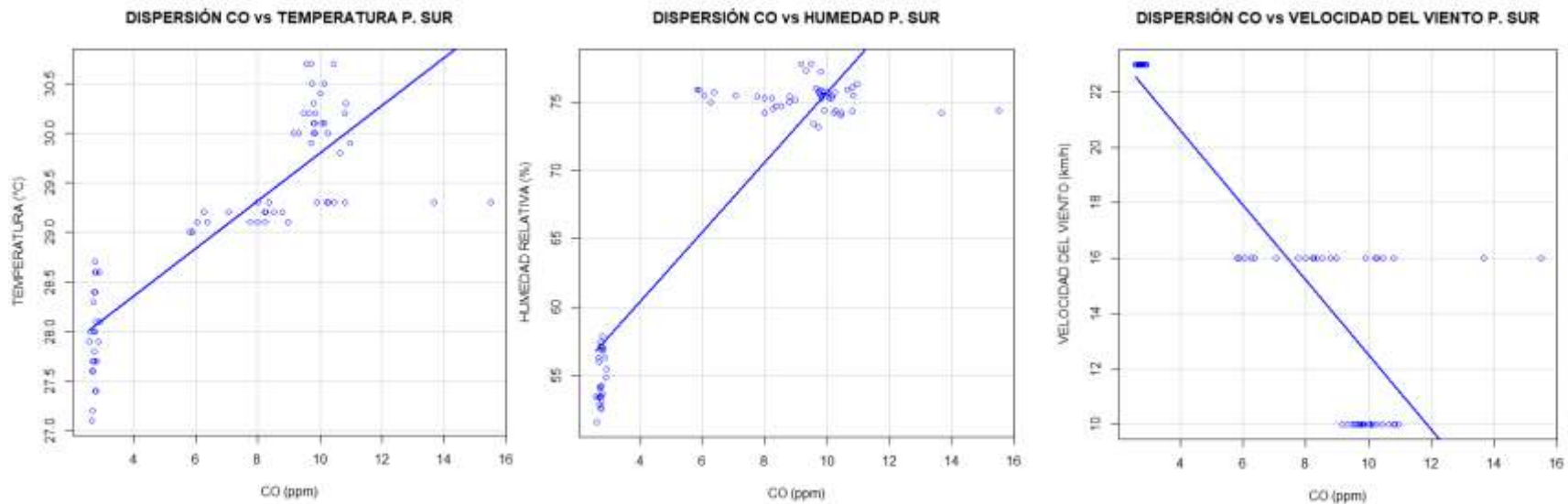


Figura 35: Rango de concentración del CO con respecto a la temperatura, humedad relativa y velocidad de viento en punto sur.

Para la temporada de zafra en punto sur:

R de CO vs T = Existe una asociación lineal fuerte entre las variables y su relación es positiva. R de CO vs HR = En este caso existe una relación significativa entre las variables y su relación es positiva. R de CO vs VV = Existe una asociación lineal fuerte entre las variables y su relación es negativa. R^2 de CO vs T = Se considera una relación lineal significativa entre las variables. R^2 de CO vs HR = En el caso de la humedad se puede mencionar que la relación lineal es moderada entre las variables. R^2 CO vs VV= Se conserva una relación lineal fuerte.

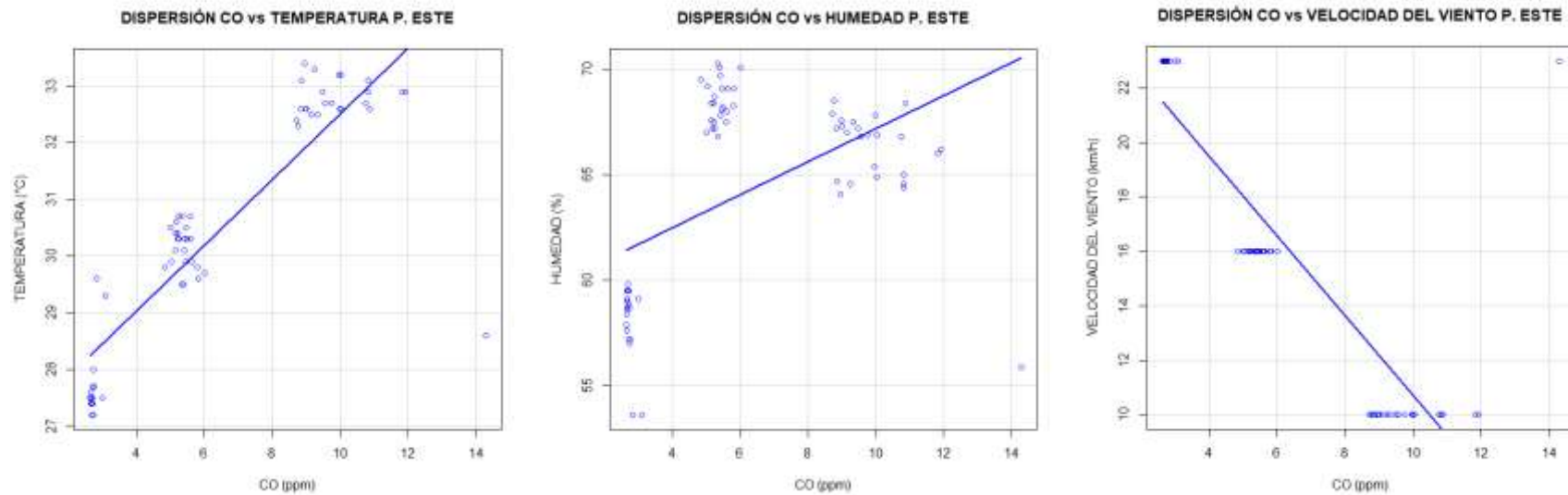


Figura 36: Rango de concentración del CO con respecto a la temperatura, humedad relativa y velocidad de viento en punto este.

R de CO vs T = Existe una asociación lineal significativa entre las variables y su relación es positiva. R de CO vs HR = En este caso existe una relación significativa entre las variables y su relación es positiva. R de CO vs VV = Existe una asociación lineal significativa entre las variables y su relación es negativa. R^2 de CO vs T = Se considera una relación lineal moderada entre las variables. R^2 de CO vs HR = En el caso de la humedad se puede mencionar que la relación lineal es moderada entre las variables. R^2 CO vs VV= Se conserva una relación lineal moderada.

Se puede afirmar que si existe una relación del monóxido de carbono con la temperatura y la humedad relativa considerando que mientras la temperatura y la humedad relativa aumentan la concentración de CO también aumenta, sin embargo, con la velocidad del viento también existe una relación negativa muy alta en específico en los puntos sur y este, se debe a las rachas de viento considerando que cuando estas aumentan el gas sufre una mayor dispersión pero una menor concentración en los puntos de muestreo, el gas se vuelve menos denso y tiende a elevarse a la atmosfera cuando la humedad es alta. De igual forma se observa en las gráficas el comportamiento y la dispersión del gas contaminante teniendo mayor concentración, dispersión y relación en los puntos sur y este.

Tabla 21: Datos promedio de la temporada de zafra en sus respectivos puntos de muestreo.

PUNTOS	CO (ppm)	T (°C)	H (%)	V (km/h)	D (N, O, S y E)
NORTE	5.767	29.6	64.7	17	N
OESTE	5.804	28.6	68.2	17	N
SUR	7.014	30.5	68.5	17	N
ESTE	6.437	29.9	64	17	N

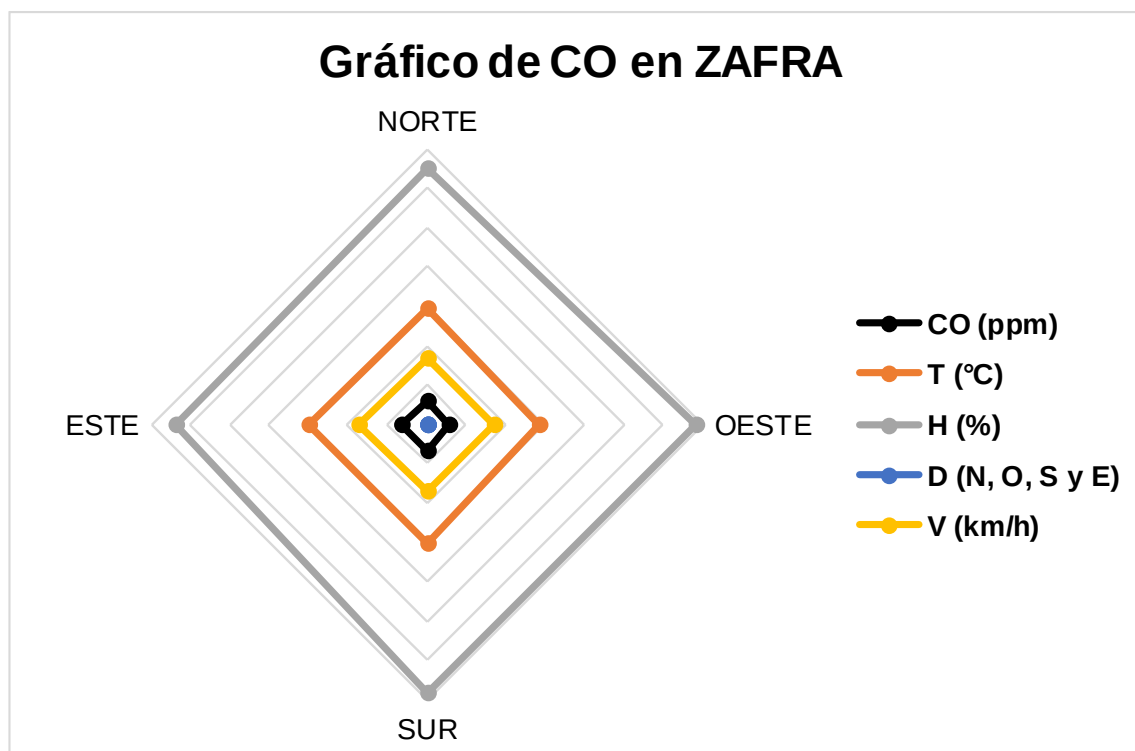


Figura 37: Comportamiento del CO en los diferentes puntos considerando las variables meteorológicas.

En la gráfica podemos observar cómo se comporta cada una de las variables en el punto de muestreo, en el caso del CO en el punto sur y este fue donde obtuvo una mayor concentración en (ppm) esto se puede deber a la relación que sabemos que existe con la temperatura la cual en los puntos sur y este se reporta mayor a diferencia de los puntos norte y oeste.

En el caso de la humedad a pesar que conocemos la relación que tiene con la temperatura, siempre puede haber variaciones, en este estudio el valor más alto de humedad se reportó en el punto sur con 68.5% seguido del punto oeste con 68.2%. Para la velocidad y dirección de viento solo cabe mencionar que el valor promedio fue de 17km/h al norte.

Debido a esto se puede también mencionar que como los vientos tenían una dirección de norte a sur, la transportación y la concentración del gas de CO en el punto sur siendo este el más contaminado se debe a la relación que existe en cada una de las variables atmosféricas con el CO, por lo cual es de vital importancia decir que la población con mayor probabilidad de contaminación por monóxido de carbono la pueden sufrir las personas que se encuentran en el punto sur y sus alrededores. El punto sur fue ubicado en la zona centro de la Cd. de Cardel, Veracruz.



Figura 38: Mapa de comportamiento de la dispersión del CO, en las diferentes temporadas zafra y no zafra.

9.4 Comparación de los resultados obtenidos del CO con límites permisibles de la NOM-021-SSA1-1993

Debido a los datos obtenidos podemos mencionar que la investigación se realizó conforme a los pasos mencionados en los manuales del (SINAICA, 2019), y podemos decir que los datos obtenidos no rebasan el límite máximo permisible que se menciona en la (NOM-021-SSA1-1993) pero si se detectaron valores muy próximos a rebasar este límite. Los datos se pueden observar en la **Tabla 19**, en donde se encontrarán algunos datos por arriba de las 11 ppm, pero al haber realizado el análisis estadístico y tratamiento de los datos automáticamente fueron valores atípicos porque nunca mantuvieron una constancia en esa concentración.

10. DISCUSIÓN

10.1 Caracterización de la zona

Para la selección de la zona de muestreo se ocuparon los manuales del (SINAICA, 2019) en sus diferentes tomos, donde se especifica el donde y como detectar el área de muestreo para este tipo de investigaciones sobre calidad del aire con los diferentes métodos que existen para la obtención exitosa del monitoreo.

10.2 Implementación del dispositivo de monitoreo

Del mismo modo para la implementación del dispositivo de monitoreo en el área de muestreo se ocuparon los manuales del (SINAICA, 2019), este nos menciona estratégicamente la instalación en cada uno de los puntos de muestreo y las consideraciones que se tomaron para este muestreo, considerando que no se tuvo ningún percance durante esta investigación.

10.3 Análisis estadístico temporada de zafra y no zafra

Se observó durante las diferentes repeticiones para la temporada de zafra el comportamiento del gas fue muy variado considerando valores desde 2.55130 – 14.2784 ppm de CO en la atmósfera teniendo una relación muy fuerte con la temperatura la cual no tuvo variación, mientras esta se eleva la concentración del gas también eleva. Con la humedad relativa si hubo variación en los datos considerando las diferentes repeticiones, esto debido al clima que se presentó en los diferentes días de muestreo. Del mismo modo la velocidad y dirección de viento es un factor importante en esta investigación ya que se encarga del transporte del gas y la detección del mayor punto de concentración en la zona de muestreo.

Para la temporada de no zafra los valores fueron muy estables y bajos de 0.331296 – 0.724147, se puede mencionar que se debe al paro de funciones para los procesos que conlleva la producción de azúcar, el cual influye en el aumento de la concentración del CO en la Cd. de José Cardel en el estado de Veracruz. Algunas comparaciones de estos resultados se encuentran en las NOM sobre calidad del aire, manual del SINAICA, etc.

10.3.1 Análisis estadístico de zafra en los diferentes puntos muestreados.

En esta investigación se realizó un análisis extra en los datos obtenidos para la temporada de zafra, considerando los factores meteorológicos que se obtuvieron en el muestreo con el equipo de monitoreo de calidad de aire, el cual realizó la obtención de los datos, se pudo observar de manera más específica la dirección en la que el CO se comporta y distribuye en la ciudad de José Cardel. Del mismo modo se conoció cuáles son los puntos que sufren una mayor afectación por el CO que va de sur con valores de 2.55130 a 11.9177 ppm de CO y al este con valores 2.63526 – 15.5122 ppm de CO, siendo este el punto sur ubicado en la zona centro de la ciudad y el punto este a las orillas de la ciudad de José Cardel, los valores que se obtuvieron están por encima de los límites máximos permisibles de 11ppm de CO que nos menciona la (NOM-021-SSA1-1993), provocando una mayor afectación en esa zona, provocando a seres vivos, problemas de salud que van desde ligeros mareos, dolores de cabeza, gripe, tos, síntomas de bronquitis, bronquitis crónica y asma. Así como también afectaciones a la calidad del aire, agua y suelo de la misma ciudad.

10.3.2 Correlación de las variables meteorológicas con el monóxido de carbono.

En esta etapa se puede mencionar que, existe una relación muy trascendente entre el CO y las variables meteorológicas, los datos obtenidos en el monitoreo nos mencionan la gran relación que existe con la temperatura, velocidad y dirección de viento provocando un transporte de gases del punto de emisión hacia sus alrededores, la correlación realizada en esta investigación nos demuestra que la temperatura mientras más se eleva el gas se eleva, la dirección y velocidad de viento tiene una relación con el transporte y la concentración del gas teniendo una zona específica de mayor contaminación, como en otro estudio (Ramos-Herrera, Bautista-Margulis, Y Valdez-Manzanilla, 2010) menciona en su investigación con el Dióxido de Azufre (SO_2) y la relación con las variables meteorológicas.

10.4 Comparación de los datos obtenidos con la NOM-021-SSA1-1993

Debido a los resultados obtenidos se puede resaltar que en determinados periodos de monitoreo en la investigación si se encontraron valores por encima de las 11 ppm sin rebasar el tiempo de exposición que es de 8 horas continuas, rango que se establece como límite máximo permisible.

11. CONCLUSIONES

Durante el periodo de esta investigación el área y periodo de muestreo fue suficiente para satisfacer este trabajo, se logró el funcionamiento del dispositivo de monitoreo de calidad del aire y sus variables meteorológicas.

El análisis que se realizó en las diferentes temporadas de monitoreo nos permite concluir que la temporada de zafra provoca alteraciones al ambiente aumentando la concentración de CO en ppm con diferencia a la temporada de no zafra. Este factor se puede asimilar al procesamiento de la caña de azúcar el cual es una fuente puntual que solo trabaja un cierto número de meses en específico. Para la temporada de zafra en sus diferentes puntos de muestreo se realizó un análisis estadístico de los datos, con los resultados obtenidos podemos concluir que los puntos con mayor concentración de CO son sur y este de la ciudad de José Cardel, Veracruz.

En el caso de la correlación se puede mencionar que el CO tiene relaciones lineales en todos sus aspectos, positivos para la temperatura y humedad relativa, porque mientras haya mayor temperatura mayor es la concentración de CO y negativos para la velocidad de viento debido a que mientras la velocidad del aire aumenta el gas se dispersa y en el punto de monitoreo el CO tiende a disminuir.

También cabe mencionar que a pesar que si existen valores por encima de los límites máximos permisibles no se rebasa el tiempo de exposición. Y podemos concluir que, aunque no se exceda la cantidad de 11 ppm durante 8 horas continuas es de vital importancia tener conocimiento de la cantidad de CO que existe en la atmosfera para el periodo de zafra porque se pueden prevenir problemas de salud por inhalación de CO en humanos, flora y fauna y de igual manera poder intentar reducir o controlar el exceso de la contaminación a la atmosfera, agua y suelo por parte de las industrias que emiten este contaminante.

Por ultimo hacer mención que gracias a la dedicación para lograr este proyecto pude como personar conocer más a fondo el amplio tema de la calidad del aire y sus contaminantes, se pudo

aprender a utilizar, graficar y realizar el análisis estadístico con el paquete estadístico R en su versión 3.6.2.

12.LITERATURA CITADA

- Aguilar Rivera, N., Galindo Mendoza, G., Fortanelli Martínez, J., & Contreras Servín, C. (2011). Factores de competitividad de la agroindustria de la caña de azúcar en México. *Región y sociedad*, 23(52), 261-297.
- Alejandro, C. L. (2013). Guía de Raspberry Pi. Retrieved from <https://hardlimit.com/guia-raspberry-pi/>
- Álvarez Rodrigo, A. (2015). *Sistema de sensorización haciendo uso de Raspberry Pi para su uso e implantación en un entorno inteligente*.
- Antonio, Á. R. (2014). *Sistema de sensorización haciendo uso de Raspberry Pi*. Universidad de Extremadura. Escuela Politécnica. Retrieved from http://dehesa.unex.es/bitstream/handle/10662/3528/TFGUEx_2014_Alvarez_Rodrigo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Aránguez, E., Ordóñez, J. M., Serrano, J., Aragonés, N., Fernández-Patier, R., Gandarillas, A., & Galán, I. (1999). Contaminantes atmosféricos y su vigilancia. *Revista española de salud pública*, 73, 123-132.
- Barange, M., & Perry, R. I. (2012). Repercusiones físicas y ecológicas del cambio climático en la pesca de captura marina y continental y en la acuicultura. *Consecuencias del cambio climático para la pesca y la acuicultura. Visión de conjunto del estado actual de los conocimientos científicos. Documento Técnico de Pesca y Acuicultura*, 530, 7-118.
- Benavides, H., & León, G. (2007). Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM*.
- Boboa, C., & Alberto, O. (2013). *Implementación de un sistema de monitoreo de gases contaminantes que afectan a la ciudad de Esmeraldas*.
- Brunekreef, B., Dockery, D. W., & Krzyzanowski, M. (1995). Epidemiologic studies on short-term effects of low levels of major ambient air pollution components. *Environmental health perspectives*, 103(suppl 2), 3-13.
- Caballero, M., Lozano, S., & Ortega, B. (2007). Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. *Revista digital universitaria*, 8(10), 2-12.
- Caicedo, J. A. R., Vergara, N. E. M., & Moreno, C. A. R. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN DE MONÓXIDO DE CARBONO PARA USO RESIDENCIAL. INSTRUMENT FOR MEASURING CARBON MONOXIDE FOR RESIDENTIAL USE.
- Castillo, M. A. J., & Rivera, G. D. J. (2004). *Diagnóstico de las emisiones atmosféricas generadas por los ingenios azucareros de El Salvador*. Universidad de El Salvador.
- CCSSO. (1997). Centro Canadiense de Seguridad y Salud Ocupacional. Dióxido de Carbono- Efectos en la Salud. Retrieved from

- http://www.ccsso.ca/oshanswers/chemicals/chem_profiles/carbon_dioxide/health_cd.html
- CEPSA. (2013). Retrieved from http://www.elpalmar.com.ve/pages/procesos_fuerza.htm
- Crespo, E. (2016). DHT. Retrieved from <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/tag/dht/>
- De la Luz, G. G. (2000). Calidad del aire en las principales ciudades de México. *Instituto Nacional de Ecología*, 1-13.
- EPA. (2008). United States Environmental Protection Agency. Retrieved from <https://www.epa.gov/ghgemissions>
- García, A. (2017). Arduino vs Raspberry Pi: ¿Cuál es la mejor placa para iniciarse? Retrieved from <https://www.adslzone.net/2017/03/24/arduino-vs-raspberry-pi-cual-es-la-mejor-placa-para-iniciarse/>
- García, A. C. (2011). Los Índices de Calidad del Aire: Alcances y Limitaciones. *Conciencia Tecnológica*(42), 74-76.
- Garduño, R. (1998). *El veleidoso clima*: Secretaría de Educación Pública.
- INECC. (2012). Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Diagnóstico de la medición de la calidad del aire en México, 60 años monitoreando la calidad del aire, INECC. Retrieved from <https://www.gob.mx/inecc>
- INEGI. (2005). CENSO. Retrieved from <http://www.ocdemexico.org.mx/Veracruz/Jose-Cardel/>.
- Ingenio-Azucarero-Modelo. (2018). Ubicacion de Ingenio el Modelo. Retrieved from <http://ingenioelmodelo.com.mx/>
- Javier, M. T. (2011). *IMPACTO AMBIENTAL DE LA ACTIVIDAD AZUCARERA Y ESTRATEGIAS DE MITIGACION*. UNIVERSIDAD VERACRUZANA. Retrieved from http://www.ciama-mex.org/biblioteca/opac_css/doc_num.php?explnum_id=39
- Jodeute. (2017). Teoría contaminación atmosférica. Universidad de la Rioja. Retrieved from <https://www.docsity.com/es/teoria-contaminacion-atmosferica/2022204/>
- Ledesma, A. (2013). Azúcar Ledesma. Retrieved from <http://www.azucarledesma.com.ar/Produccion.php>
- LGEEPA. (2018). LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y LA PROTECCION AL AMBIENTE. Retrieved from http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148_050618.pdf
- Lim, S. S., Vos, T., Flaxman, A. D., Danaei, G., Shibuya, K., Adair-Rohani, H., . . . Andrews, K. G. (2012). A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990–2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *The lancet*, 380(9859), 2224-2260.
- Llamas, L. (2017). Modelos y características de Raspberry Pi. Retrieved from <https://www.luisllamas.es/modelos-de-raspberry-pi/>
- Maldonado, R. M., Y; Domínguez. J. (2011). Compendio de Convenios y Tratados Internacionales Ambientales Ratificados por Guatemala. CALAS.
- Manuel et al. (1973). CONTAMINACIÓN: Biblioteca Salvat de Grandes Temas, Salvat Editores SA.

- Marín, K. B. (2014). *Análisis de la situación actual de las emisiones del Ingenio Central Progreso, Veracruz.*, Universidad Veracruzana. Retrieved from <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/46736/BustamanteMarinKaren.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Martínez Ataz, E., & Díaz de Mera Morales, Y. (2004). *Contaminación atmosférica*: Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha.
- Martínez, B. A. P. R., Isabel. (1996). Introducción al monitoreo atmosférico. Retrieved from <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/intromon/intromon.html>
- Mechatronics, N. (2018). Sensor de Monóxido de Carbono MQ7: Trujillo. Obtenido de <https://naylampmechatronics.com/sensores-gas/74>
- 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.
- Morales, R. G. (2006). *Contaminación atmosférica urbana: episodios críticos de contaminación ambiental en la ciudad de Santiago*: Editorial Universitaria.
- NJHealth. (2016). New Jersey Department of Health. Hoja Informativa sobre Sustancias Peligrosas. Dióxido de Carbono. Retrieved from <https://www.nj.gov/health/>
- NOM-021-SSA1-1993. NORMA OFICIAL MEXICANA." SALUD AMBIENTAL. CRITERIO PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE CON RESPECTO AL MONOXIDO DE CARBONO (CO). VALOR PERMISIBLE PARA LA CONCENTRACION DE MONOXIDO DE CARBONO (CO) EN EL AIRE AMBIENTE, COMO MEDIDA DE PROTECCION A LA SALUD DE LA POBLACION".
- NOM-034-ECOL-1993. (1993). *METODOS DE MEDICION PARA DETERMINAR LA CONCENTRACION DEL MONOXIDO DE CARBONO*.
- OPS. (2000). La salud y el ambiente en el desarrollo sostenible.
- Palacios, J. W. P. (2016). *Diseño de un sistema de monitoreo, registro y control de temperatura y humedad para un cultivo de invernadero*. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingenierías Eléctrica
- Pérez, H. A. Q. (2019). La zafra desde adentro: los rostros detrás del corte de caña de azúcar en Veracruz, México. *Revista Latinoamericana de Antropología del Trabajo*, 3(5).
- Pi, R. (2019). Empezando con la Raspberry Pi. Retrieved from <https://www.raspberrypi.org/>
- Piasa, G. (2019). Promotora Industrial Azucarera S.A de C.V. Retrieved from <https://grupopiasa.com/site/>
- Ramos-Herrera, S., Bautista-Margulis, R., & Valdez-Manzanilla, A. (2010). Estudio estadístico de la correlación entre contaminantes atmosféricos y variables meteorológicas en la zona norte de Chiapas, México. *Universidad y ciencia*, 26(1), 65-80.
- Ripoli. (2005). Impacto ambiental de la actividad azucarera y estrategias de mitigación. *Monografía. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Orizaba, Veracruz, México*.
- Romero Placeres, M., Diego Olite, F., & Álvarez Toste, M. (2006). La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. *Revista cubana de higiene y epidemiología*, 44(2), 0-0.

- SAGARPA. (2018). Analisis de la produccion azucarera en Mexico. Retrieved from <https://www.inforural.com.mx/la-produccion-de-cana-de-azucar-supera-las-55-millones-de-toneladas-en-2018/>
- SEDEMA. (2018). La calidad del aire. Retrieved from <http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=%27ZaBhnml=%27>
- SEDEMA. (2019a). SISTEMAS DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE. Retrieved from <http://www.veracruz.gob.mx/medioambiente/calidad-del-aire/>
- SEDEMA. (2019b). Veracruz Gobierno del Estado. Monitoreo Atmosférico. Retrieved from <http://www.veracruz.gob.mx/medioambiente/monitoreo/>
- SEMARNAT. (2003). Criterios ecologicos para disminuir los impactos ambientales causados por las actividades productivas del sector industrial en su rama azucarera. Retrieved from http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D2_R_INDUSTRIA01_01&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce
- SEMARNAT. (2012). NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-156-SEMARNAT-2012, ESTABLECIMIENTO Y OPERACION DE SISTEMAS DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE PREFACIO.
- Sesma-Vázquez, S., Pérez-Rico, R., Sosa-Manzano, C. L., & Gómez-Dantés, O. (2005). Gastos catastróficos por motivos de salud en México: magnitud, distribución y determinantes. *Salud Pública de México*, 47(1), S37-S46.
- SINAICA. (2016). MANUAL 1 PRINCIPIOS DE MEDICION DE LA CALIDAD DEL AIRE. Retrieved from <https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/guias/1-%20Principios%20de%20Medici%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20del%20Aire.pdf>
- SINAICA. (2018). Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire. . Retrieved from <https://sinaica.inecc.gob.mx/index.php>
- SINAICA. (2019). MANUAL 3 REDES, ESTACIONES Y EQUIPOS DE MEDICION DE LA CALIDAD DEL AIRE. Retrieved from <https://docplayer.es/10376747-Manual-3-redes-estaciones-y-equipos-de-medicion-de-la-calidad-del-aire.html>
- SSA. (2019). SECRETARIA DE SALUD. Retrieved from <https://www.gob.mx/salud>.
- Stern, N., & Stern, N. H. (2007). *The economics of climate change: the Stern review*: cambridge University press.
- Strauss, W., Mendoza Sierra, J., & Mainwaring, S. (1990). *Contaminación del aire: causas, efectos y soluciones*: México, MX: Trillas.
- Teitelbaum, D. T. (2012). a la toxicología: ocupacional y ambiental.
- Tellez et al., J. (2006). CONTAMINACION POR MONOXIDO DE CARBONO PROBLEMA DE SALUD AMBIENTAL. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/rsap/v8n1/v8n1a10.pdf>
- Téllez, J., & Rodríguez, A. (2006). Carbon monoxide contamination: an environmental health problem. *Revista de salud publica*, 8(1), 108-117.
- Welsh, C., Rodríguez, L., Guzmán, S., & Tapia, B. (2006). *El plan del estado de Veracruz (México) ante el cambio climático*. Retrieved from Veracruz:
- Yassi, A., Kjellstrom, T., Dekok, T., & Guidotti, T. (2002). Salud ambiental básica. México DF: PNUMA.

13.ANEXOS

13.1 Tabla de datos obtenidos en zafra.

Fecha	MONÓXI DO DE CARBON O (CO)	TEMPER ATURA	HUMEDA D	PUNTOS	Fecha	MONÓXI DO DE CARBON O (CO)	TEMPER ATURA	HUMEDA D	PUNTOS	Fecha	MONÓXI DO DE CARBON O (CO)	TEMPER ATURA	HUMEDA D	PUNTOS
15 de abril de 2019	7.65	27.10	57.70	NORTE	23 de abril de 2019	4.90	29.30	74.20	NORTE	30 de abril de 2019	9.03	32.50	66.00	NORTE
15 de abril de 2019	5.08	27.00	58.40	NORTE	23 de abril de 2019	4.98	29.30	74.20	NORTE	30 de abril de 2019	11.94	32.60	65.50	NORTE
15 de abril de 2019	3.94	26.80	58.30	NORTE	23 de abril de 2019	4.73	29.20	75.00	NORTE	30 de abril de 2019	9.39	32.60	64.60	NORTE
15 de abril de 2019	3.71	26.60	58.90	NORTE	23 de abril de 2019	4.73	29.20	75.50	NORTE	30 de abril de 2019	9.07	32.30	66.50	NORTE
15 de abril de 2019	3.53	26.70	58.50	NORTE	23 de abril de 2019	4.63	29.00	75.90	NORTE	30 de abril de 2019	9.14	32.10	67.30	NORTE
15 de abril de 2019	3.43	26.80	58.40	NORTE	23 de abril de 2019	4.65	29.20	75.00	NORTE	30 de abril de 2019	10.61	31.60	67.30	NORTE
15 de abril de 2019	3.35	26.90	58.10	OESTE	23 de abril de 2019	5.25	29.60	70.80	OESTE	30 de abril de 2019	8.92	31.20	70.50	OESTE
15 de abril de 2019	3.17	26.90	57.50	OESTE	23 de abril de 2019	5.23	29.50	72.10	OESTE	30 de abril de 2019	8.84	31.00	70.70	OESTE
15 de abril de 2019	3.02	26.90	57.40	OESTE	23 de abril de 2019	5.04	29.50	72.50	OESTE	30 de abril de 2019	8.79	30.70	72.30	OESTE
15 de abril de 2019	3.00	26.90	58.50	OESTE	23 de abril de 2019	5.01	29.00	74.80	OESTE	30 de abril de 2019	9.37	30.60	73.90	OESTE
15 de abril de 2019	3.07	27.60	56.70	OESTE	23 de abril de 2019	5.46	29.30	73.50	OESTE	30 de abril de 2019	9.05	30.20	75.60	OESTE
15 de abril de 2019	2.77	27.20	55.60	OESTE	23 de abril de 2019	4.64	29.30	73.90	OESTE	30 de abril de 2019	9.08	30.40	75.20	OESTE
15 de abril de 2019	2.67	27.20	56.00	SUR	23 de abril de 2019	10.47	29.50	70.30	SUR	30 de abril de 2019	9.15	30.50	75.60	SUR
15 de abril de 2019	2.55	27.90	53.50	SUR	23 de abril de 2019	10.22	30.10	69.70	SUR	30 de abril de 2019	9.34	30.20	77.80	SUR
15 de abril de 2019	2.75	28.60	53.10	SUR	23 de abril de 2019	8.78	30.30	68.40	SUR	30 de abril de 2019	11.92	30.70	74.00	SUR
15 de abril de 2019	2.77	28.60	53.70	SUR	23 de abril de 2019	7.05	30.60	67.20	SUR	30 de abril de 2019	10.04	29.90	75.80	SUR
15 de abril de 2019	2.80	27.70	56.90	SUR	23 de abril de 2019	5.80	30.50	67.00	SUR	30 de abril de 2019	9.24	30.00	75.80	SUR
15 de abril de 2019	2.77	28.10	57.10	SUR	23 de abril de 2019	6.27	29.80	69.50	SUR	30 de abril de 2019	10.82	30.10	75.30	SUR
15 de abril de 2019	2.73	27.20	58.70	ESTE	23 de abril de 2019	5.34	29.90	69.50	ESTE	30 de abril de 2019	9.48	32.50	67.50	ESTE
15 de abril de 2019	2.67	27.50	58.40	ESTE	23 de abril de 2019	5.43	29.80	70.30	ESTE	30 de abril de 2019	10.43	32.90	66.20	ESTE
15 de abril de 2019	2.68	27.40	59.50	ESTE	23 de abril de 2019	5.22	29.70	70.10	ESTE	30 de abril de 2019	9.72	32.60	66.90	ESTE
15 de abril de 2019	2.66	27.50	58.40	ESTE	23 de abril de 2019	5.18	29.70	70.80	ESTE	30 de abril de 2019	9.85	33.30	64.60	ESTE
15 de abril de 2019	14.28	28.60	55.90	ESTE	23 de abril de 2019	5.02	29.80	69.60	ESTE	30 de abril de 2019	9.81	32.90	64.40	ESTE
15 de abril de 2019	2.82	29.60	53.60	ESTE	23 de abril de 2019	4.85	29.50	70.50	ESTE	30 de abril de 2019	9.81	32.90	64.40	ESTE

13.2 Tabla de datos obtenidos en no zafra.

Fecha	MONÓXIDO DE CARBONO (ppm)	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD (%)	Fecha	MONÓXIDO DE CARBONO (ppm)	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD (%)	Fecha	MONÓXIDO DE CARBONO (ppm)	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD (%)
12/10/2019	0.35	26.40	90.00	19/10/2019	0.75	34.50	69.80	26/10/2019	0.43	25.30	75.90
12/10/2019	0.34	26.30	89.50	19/10/2019	0.50	35.90	65.40	26/10/2019	0.37	25.40	75.80
12/10/2019	0.34	26.30	87.90	19/10/2019	0.50	36.30	64.20	26/10/2019	0.35	25.60	75.30
12/10/2019	0.33	26.40	88.90	19/10/2019	0.48	35.10	67.70	26/10/2019	0.35	25.90	74.00
12/10/2019	0.33	26.40	87.60	19/10/2019	0.50	36.30	64.20	26/10/2019	0.35	26.00	71.10
12/10/2019	0.33	26.30	85.60	19/10/2019	0.49	36.80	61.70	26/10/2019	0.35	26.00	70.58
12/10/2019	0.37	25.90	86.90	19/10/2019	0.53	36.00	63.70	26/10/2019	0.35	25.70	70.60
12/10/2019	0.36	25.60	90.50	19/10/2019	0.51	35.10	65.70	26/10/2019	0.35	26.20	68.00
12/10/2019	0.48	25.30	91.80	19/10/2019	0.51	37.10	60.50	26/10/2019	0.35	26.20	69.70
12/10/2019	0.50	25.50	91.40	19/10/2019	0.51	36.60	60.50	26/10/2019	0.35	26.40	67.50
12/10/2019	0.40	25.60	91.50	19/10/2019	0.49	35.30	64.70	26/10/2019	0.35	26.70	67.10
12/10/2019	0.41	25.80	91.10	19/10/2019	0.50	36.30	62.80	26/10/2019	0.35	26.50	67.10
12/10/2019	0.72	28.30	83.90	19/10/2019	0.49	35.50	65.90	26/10/2019	0.37	27.60	63.40
12/10/2019	0.72	28.60	83.50	19/10/2019	0.51	35.80	67.20	26/10/2019	0.36	27.20	62.90
12/10/2019	0.78	29.20	81.90	19/10/2019	0.56	36.10	65.40	26/10/2019	0.38	27.90	60.20
12/10/2019	0.74	29.50	79.40	19/10/2019	0.54	36.20	66.60	26/10/2019	0.37	28.30	59.20
12/10/2019	0.65	29.90	76.70	19/10/2019	0.51	18.00	33.20	26/10/2019	0.38	28.50	57.60
12/10/2019	0.69	30.00	77.20	19/10/2019	0.58	36.50	65.60	26/10/2019	0.38	28.60	56.30
12/10/2019	0.35	25.10	91.50	19/10/2019	0.52	31.00	83.60	26/10/2019	0.41	29.00	55.60
12/10/2019	0.35	25.30	91.50	19/10/2019	0.48	31.30	82.20	26/10/2019	0.39	28.60	55.80
12/10/2019	0.35	25.40	91.40	19/10/2019	0.47	31.70	81.70	26/10/2019	0.55	29.30	56.60
12/10/2019	0.35	25.60	91.60	19/10/2019	0.47	32.40	80.80	26/10/2019	0.48	30.50	52.90
12/10/2019	0.35	25.60	91.50	19/10/2019	0.47	32.70	77.20	26/10/2019	0.47	31.60	51.70
12/10/2019	0.34	25.60	91.50	19/10/2019	0.47	32.70	77.50	26/10/2019	0.43	30.60	50.60

13.3 Tabla de datos obtenidos en zafra por puntos.

DATOS	CO (ppm) Norte	TEMPERATURA °C	HUMEDAD %	CO (ppm) Oeste	TEMPERATURA °C	HUMEDAD %	CO (ppm) Sur	TEMPERATURA °C	HUMEDAD %	CO (ppm) Este	TEMPERATURA °C	HUMEDAD %	VEL. DEL VIENTO km/h	DIRECCION DEL VIENTO
1	26.36	27.20	57.40	3.42	26.90	58.60	2.78	27.40	57.90	2.76	27.70	57.20	23	N
2	12.65	27.20	57.50	3.48	26.90	58.50	2.74	27.40	53.50	2.71	27.70	57.20	23	N
3	9.14	27.10	57.50	3.40	26.90	57.90	2.63	27.10	56.30	2.67	27.60	57.60	23	N
4	7.65	27.10	57.70	3.35	26.90	58.10	2.67	27.20	56.00	2.73	27.20	58.70	23	N
5	6.85	27.10	57.80	3.27	26.90	57.40	2.64	27.60	53.40	2.72	27.50	58.90	23	N
6	5.87	27.10	58.10	3.23	26.90	57.00	2.65	27.70	52.90	2.67	27.50	58.60	23	N
7	5.34	27.10	58.30	3.12	26.90	57.20	2.57	28.00	51.60	2.68	27.60	58.70	23	N
8	5.08	27.00	58.40	3.17	26.90	57.50	2.55	27.90	53.50	2.67	27.50	58.40	23	N
9	4.72	27.00	58.30	3.12	26.90	57.50	2.70	27.60	54.20	2.66	27.40	59.50	23	N
10	4.42	27.00	58.10	3.09	26.90	57.30	2.70	28.00	53.50	2.71	27.40	59.50	23	N
11	4.03	26.90	58.20	3.05	26.90	57.20	2.70	28.30	54.10	2.69	27.40	59.80	23	N
12	3.94	26.80	58.30	3.02	26.90	57.40	2.75	28.60	53.10	2.68	27.40	59.50	23	N
13	3.80	26.70	58.60	3.06	26.90	57.40	2.75	28.70	52.70	3.00	27.50	59.10	23	N
14	3.85	26.70	59.00	2.98	26.90	57.30	2.71	28.40	52.60	2.70	27.20	59.80	23	N
15	3.69	26.70	58.90	3.41	26.90	58.20	2.75	28.40	54.30	2.66	27.40	59.00	23	N
16	3.71	26.60	58.90	3.00	26.90	58.50	2.77	28.60	53.70	2.66	27.50	58.40	23	N
17	3.63	26.60	58.70	4.03	27.40	57.40	2.87	28.60	54.90	2.66	27.40	59.10	23	N
18	3.65	26.60	58.80	3.16	27.40	56.80	2.91	28.10	55.50	2.64	27.50	57.90	23	N
19	3.65	26.70	58.90	3.06	27.50	57.20	2.85	27.90	56.30	2.75	28.00	57.00	23	N
20	3.53	26.70	58.50	3.07	27.60	56.70	2.80	27.70	56.90	14.28	28.60	55.90	23	N
21	3.51	26.70	58.40	3.23	27.60	55.30	2.73	27.70	57.50	3.10	29.30	53.60	23	N
22	3.52	26.80	58.70	2.94	27.70	53.80	2.72	27.80	57.20	2.82	29.60	53.60	23	N
23	3.52	26.80	58.50	2.83	13.70	58.90	2.74	28.00	56.90	2.82	29.60	53.60	23	N
24	3.43	26.80	58.40	2.77	27.20	55.60	2.77	28.10	57.10	2.82	29.60	53.60	23	N
25	4.74	29.80	69.30	5.69	29.40	71.80	13.69	29.30	74.20	5.81	29.80	68.30	16	N
26	5.10	29.90	69.10	5.42	29.60	71.50	15.51	29.30	74.40	5.83	29.60	69.10	16	N
27	4.82	29.90	69.20	5.20	29.70	71.20	10.82	29.30	74.30	5.38	29.50	70.10	16	N
28	4.90	29.90	69.50	5.25	29.60	70.80	10.47	29.30	74.20	5.34	29.50	70.30	16	N
29	4.80	29.80	69.90	4.72	29.50	71.10	10.27	29.30	74.40	6.02	29.70	70.10	16	N
30	4.79	29.90	70.20	5.16	29.40	71.80	8.37	29.30	74.70	5.62	29.90	69.10	16	N
31	4.77	29.90	70.20	5.14	29.40	72.10	8.24	29.20	74.50	5.47	29.90	69.10	16	N
32	4.98	29.80	70.30	5.23	29.50	72.10	10.22	29.30	74.20	5.43	30.10	69.70	16	N
33	4.94	29.80	70.40	5.26	29.60	71.90	7.99	29.30	74.20	5.25	30.30	68.70	16	N
34	4.99	29.90	70.30	5.03	29.60	72.20	9.89	29.30	74.40	5.42	30.30	67.80	16	N
35	4.91	29.80	70.30	5.11	29.60	72.30	8.51	29.20	74.70	5.50	30.30	68.20	16	N
36	4.73	29.70	70.10	5.04	29.50	72.50	8.78	29.20	75.00	5.22	30.30	68.40	16	N

37	5.03	29.60	70.80	4.80	29.30	73.00	8.98	29.10	75.20	5.15	30.40	68.40	16	N
38	4.87	29.60	71.00	4.80	29.10	73.70	8.22	29.10	75.30	5.24	30.40	67.50	16	N
39	4.97	29.60	70.90	4.85	29.00	74.00	8.80	29.20	75.40	5.48	30.50	68.10	16	N
40	4.73	29.70	70.80	5.01	29.00	74.80	7.05	29.20	75.50	5.18	30.60	67.20	16	N
41	4.77	29.80	70.30	5.18	29.10	74.30	8.00	29.10	75.30	5.25	30.70	67.20	16	N
42	4.60	29.80	70.10	4.93	29.20	74.10	7.75	29.10	75.40	5.58	30.70	67.50	16	N
43	4.70	29.90	69.50	5.21	29.20	74.00	6.04	29.10	75.50	5.35	30.70	66.80	16	N
44	4.63	29.80	69.60	5.46	29.30	73.50	5.80	29.00	75.90	5.02	30.50	67.00	16	N
45	4.73	29.80	69.90	5.10	29.40	72.90	5.89	29.00	75.90	5.61	30.30	68.00	16	N
46	4.65	29.70	70.00	5.56	29.50	73.00	6.36	29.10	75.70	5.15	30.10	67.60	16	N
47	4.86	29.60	70.40	4.99	29.40	73.40	8.22	29.20	75.30	5.02	29.90	69.20	16	N
48	4.65	29.50	70.50	4.64	29.30	73.90	6.27	29.20	75.00	4.85	29.80	69.50	16	N
49	9.45	32.80	65.60	9.60	31.40	68.70	10.83	30.30	75.50	8.95	33.40	64.10	10	N
50	9.31	32.80	64.60	10.23	31.30	69.60	10.81	30.20	76.10	8.85	33.10	64.70	10	N
51	9.40	32.70	64.70	9.30	31.30	69.30	10.14	30.50	75.50	9.54	32.70	66.80	10	N
52	9.03	32.50	66.00	8.92	31.20	70.50	9.76	30.50	75.60	9.15	32.50	67.00	10	N
53	9.19	32.30	66.90	9.62	31.30	70.10	9.64	30.20	76.00	8.76	32.30	68.50	10	N
54	9.89	32.50	65.90	9.06	31.10	70.90	9.33	30.00	77.30	8.71	32.40	67.90	10	N
55	9.58	32.60	64.50	9.27	31.00	70.70	9.16	30.00	77.80	8.84	32.60	67.20	10	N
56	11.94	32.60	65.50	8.84	31.00	70.70	9.48	30.20	77.80	9.34	32.50	67.50	10	N
57	9.28	32.70	65.40	8.85	31.10	70.60	9.80	30.30	77.20	8.98	32.60	67.60	10	N
58	8.96	32.90	64.40	8.68	30.60	71.80	10.02	30.40	75.70	8.99	32.60	67.30	10	N
59	9.01	32.90	63.90	8.51	30.60	72.20	9.86	30.20	75.50	10.86	32.60	68.40	10	N
60	9.39	32.60	64.60	8.79	30.70	72.30	10.43	30.70	74.00	11.92	32.90	66.20	10	N
61	9.14	32.40	65.30	9.22	30.70	72.80	9.55	30.70	73.40	11.81	32.90	66.00	10	N
62	9.31	32.30	66.10	9.36	30.80	72.80	9.73	30.70	73.20	10.74	32.70	66.80	10	N
63	9.24	32.20	66.60	10.56	30.80	73.10	9.80	30.10	75.50	9.99	32.60	67.80	10	N
64	9.07	32.30	66.50	9.37	30.60	73.90	9.72	29.90	75.80	10.04	32.60	66.90	10	N
65	9.57	32.50	65.40	9.01	30.40	74.70	10.64	29.80	75.90	9.74	32.70	66.90	10	N
66	8.94	32.50	65.10	9.07	30.40	75.10	10.97	29.90	76.30	9.48	32.90	67.20	10	N
67	9.06	32.40	66.40	8.96	30.30	75.50	9.80	30.00	75.90	9.95	33.20	65.40	10	N
68	9.14	32.10	67.30	9.05	30.20	75.60	9.85	30.00	75.80	9.24	33.30	64.60	10	N
69	9.11	32.40	67.20	8.99	30.10	75.90	10.24	30.00	75.70	10.04	33.20	64.90	10	N
70	9.02	32.50	66.70	8.71	30.20	76.20	10.14	30.10	75.30	10.82	33.10	64.60	10	N
71	10.52	32.70	66.10	9.11	30.30	75.70	10.07	30.10	75.30	10.82	32.90	65.00	10	N
72	10.61	31.60	67.30	9.08	30.40	75.20	9.81	30.10	75.30	10.82	32.90	64.40	10	N