



"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 DIÓXIDO DE CARBONO Y SU CORRELACIÓN CON LA
TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA EN FRACCIONAMIENTO ALEDAÑO A CIUDAD
INDUSTRIAL BRUNO PAGLIAI, MÉXICO"**

TESIS

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

PRESENTA

Biol. Carlos Daniel Amaya Fernández

DIRECTOR:

Dr. Arturo García Saldaña

CO-DIRECTOR:

Dr. Agustín Leobardo Herrera May

ASESORAS:

Dra. Fabiola Lango Reynoso

M.C. Irma Angélica García González

ABRIL, 2020

BOCA DEL RÍO, VERACRUZ





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"

Boca del Río, Ver., **25/mayo/ 2020**

ASUNTO: **AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN**

BIOL. CARLOS DANIEL AMAYA FERNÁNDEZ
PASANTE DE LA MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL
PRESENTE

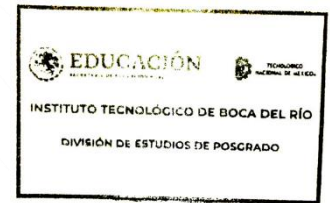
De acuerdo con el fallo emitido por los integrantes del Comité Revisor de la TESIS PARA OBTENCIÓN DE GRADO, desarrollada por usted cuyo título es:

"MONITOREO DE DIÓXIDO DE CARBONO Y SU CORRELACIÓN CON LA TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA EN FRACCIONAMIENTO ALEDAÑO A CIUDAD INDUSTRIAL BRUNO PAGLIAI, 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





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"

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

Número Registro A-0703-130818

En la ciudad de Boca del Río, Ver., siendo las 12:00 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 DIÓXIDO DE CARBONO Y SU CORRELACIÓN CON LA TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA EN FRACCIONAMIENTO ALEDAÑO A CIUDAD INDUSTRIAL BRUNO PAGLIAI, MÉXICO"

Que presenta el (la) alumno(a):

BIOL. CARLOS DANIEL AMAYA FERNÁNDEZ

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



Km. 12 Carr. Veracruz-Córdoba, Boca del Río, Ver. C.P. 94290
Tel. (229) 690 5010 correo: dir01_bdelrio@tecnm.mx
www.tecnm.mx | www.bdelrio.tecnm.mx



Resumen

Las actividades antropogénicas como la quema de combustibles fósiles, la contaminación al ambiente por parte de las industrias y medios de transporte, entre otras, liberan altas cantidades de dióxido de carbono (CO_2) a la atmósfera, mismas que afectan al ambiente y a la salud humana. Así, 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. Se monitoreó el CO_2 , temperatura y humedad relativa utilizando un dispositivo basado en la tarjeta de control Raspberry Pi. Para este monitoreo, se empleó la metodología que indica el Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA) seleccionando cuatro puntos de muestreo. Se realizaron cuatro repeticiones por periodos de una hora en cada punto, colocando el sensor a dos metros de altura de nivel de suelo. Se registraron concentraciones por debajo de los límites permisibles sugeridos por la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA), con una media en las concentraciones de CO_2 del mes de abril de 562.0 y 385.9 ppm en el mes de octubre. Se encontraron diferencias significativas con respecto al monitoreo en ambos meses con un $t = 12.73$ en el mes de abril y 19.97 en mes de octubre; mientras que el valor $p = 0.000$ en ambos meses. La correlación existente en el mes de abril entre las concentraciones de CO_2 con la variable de temperatura registró un valor $R = 0.090$, $p = 0.450$ y $R^2 = 0.0081$; mientras que la correlación entre la humedad relativa y el Dióxido de Carbono fue de $R = 0.409$, $p = 0.000$, y $R^2 = 0.167281$. En el mes de octubre, la correlación existe entre las concentraciones de CO_2 y la temperatura fue de $R = -0.535$, $p = 0.000$, y $R^2 = 0.286225$ mientras que la correlación entre las concentraciones de CO_2 y la humedad relativa fue de $R = 0.575$, $p = 0.000$ y $R^2 = 0.330625$. Por tanto, el objetivo del presente trabajo de investigación fue determinar las concentraciones de dióxido de carbono y su correlación con la temperatura y humedad relativa en el fraccionamiento El Cortijo aledaño a Ciudad Industrial Bruno Pagliai, México.

PALABRAS CLAVE:

Contaminación Ambiental, Dióxido de Carbono, Efectos en la salud del Dióxido de Carbono, Raspberry Pi.

Abstract

Anthropogenic activities such as the burning of fossil fuels, pollution of the environment by industries and means of transportation, among others, release high amounts of carbon dioxide (CO₂) into the atmosphere, which affects the environment and human health. Thus, the use of devices for environmental monitoring are an alternative to obtain real-time data on the levels of atmospheric pollutants present in the environment. CO₂, temperature and relative humidity were monitored using a device based on the Raspberry Pi control card. For this monitoring, the methodology indicated by the National Air Quality Information System (SINAICA by its Spanish acronym) was used, selecting four sampling points. Four repetitions were carried out for periods of one hour at each point, placing the sensor of the device two meters above ground level. Concentrations below the permissible limits suggested by the Occupational Safety and Health Administration (OSHA) were registered, with an average in the concentrations of CO₂ in the month of April of 562.0 and 385.9 ppm in the month of October. Significant differences were found regarding monitoring in both months with a $t = 12.73$ in April and 19.97 in October; while the p value = 0.000 in both months. The correlation existing in the month of April between the CO₂ concentrations with the temperature variable registered a value $R = 0.090$, p value = 0.450 and $R^2 = 0.0081$; while the correlation between relative humidity and CO₂ was $R = 0.409$, p value = 0.000, and $R^2 = 0.167281$. In October, the correlation between CO₂ concentrations and temperature was $R = -0.535$, p value = 0.000, and $R^2 = 0.286225$, while the correlation between CO₂ concentrations and relative humidity was $R = 0.575$, p value = 0.000 and $R^2 = 0.330625$. Therefore, the aim of this research work was to determine the concentrations of carbon dioxide and its correlation with temperature and relative humidity in the El Cortijo subdivision adjacent to Ciudad Industrial Bruno Pagliai, Mexico.

Keywords:

Environmental Pollution, Carbon Dioxide, Carbon Dioxide Health Effects, Raspberry Pi.

Dedicatorias

Les dedico este esfuerzo a mis padres Antonia Fernández Hernández y en especial a Juan Amaya Méndez por sus consejos, amor incondicional, por ser el motor de mi vida, estar siempre en todo momento.

A la I.G.E. Dana Reyes por todos estos años de apoyo siendo un soporte y fuente de superación cada día.

A mis hermanos y sobrinos por motivarme a salir siempre adelante.

A mis amigos y familiares que siempre han estado presente motivando para seguir superándome.

Agradecimientos

Al CONACYT por el apoyo de la beca en la formación del posgrado Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental del ITBOCA.

Al Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Boca del Río por la formación dentro de sus instalaciones y por el apoyo al proyecto de investigación.

A la Universidad Veracruzana Región Veracruz y al Centro de Investigación en Micro y Nanotecnología por recibirme dentro de sus instalaciones y laboratorios.

A mi comité académico conformado por los Dr. Arturo García Saldaña, Dr. Agustín Leobardo Herrera May; la Dra. Fabiola Lango Reinoso, la M.C. Irma Angélica García González; y a mi tutor la Dra. María del Refugio Castañeda Chávez por su confianza y apoyo depositados en mí a lo largo de la maestría.

Al I.M.E José Alfredo Inclán Barragán y el I.Q Carlos Alberto Toledo por sus conocimientos y apoyo del diseño del dispositivo.

A mis compañeros de posgrado generación: enero 2018 – febrero 2020 por sus consejos, sus risas, pero sobre todo por su apoyo a lo largo de este camino.

ÍNDICE

Resumen	i
Abstract	ii
Dedicatorias	iv
Agradecimientos	v
ÍNDICE	i
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	vii
1. INTRODUCCIÓN	8
2. MARCO TEÓRICO	9
2.1 Teorías científicas	9
2.1.1 La atmósfera.....	9
2.1.2 Contaminación atmosférica	10
2.1.3 Efecto invernadero.....	11
2.1.4 Temperatura, humedad y punto de rocío	11
2.1.5 Dióxido de carbono (CO ₂).....	12
2.1.6 Contaminación por dióxido de carbono	12
2.1.7 Efectos en la salud del Dióxido de Carbono (CO ₂).....	12
2.2 Convenios internacionales	14
2.2.1 La Declaración de Estocolmo de 1972	14
2.2.2 Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo adoptado en la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo	15

2.2.3 Convenio de Viena para la protección de la capa de Ozono.....	15
2.2.4 Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de Ozono	16
2.2.5 Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático	17
2.2.6 Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.....	18
2.3 Normatividad de la calidad del aire en México.....	19
2.4 Sistema de medición de calidad del aire.....	20
2.4.1 Métodos de medición de la calidad de aire	20
2.4.1.1 Muestreo pasivo	20
2.4.1.2 Muestreo activo	21
2.4.1.3 Analizadores o monitores automáticos	21
2.4.1.4 Sensores remotos.....	22
2.5 Tecnología Raspberry Pi.....	22
2.5.1 Raspberry Pi	22
2.6 Sensores de dióxido de carbono.....	25
2.6.1 Sensor MQ135.....	26
2.7 Sensor DHT22	29
2.8 Parques Industriales	30
2.8.1 Ciudad Industrial Bruno Pagliai	30
3. MARCO REFERENCIAL	32
3.1 Área de estudio	32
3.2 Antecedentes	35
4 JUSTIFICACIÓN.....	37
5 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	37

5.1 Situación problemática.....	37
5.2 Delimitación del problema.....	38
5.3 Pregunta de investigación.....	38
6 HIPÓTESIS.....	39
7 OBJETIVOS.....	39
7.1 General	39
7.2 Particulares	39
8 MATERIALES Y MÉTODOS.....	39
8.1 Caracterización de la zona de estudio	39
8.2 Medición de los niveles de concentración de dióxido de carbono	42
8.2.1 Toma de datos	42
8.3 Correlación de las variables de temperatura y humedad relativa con el Dióxido de Carbono	43
8.4 Comparación de los datos obtenidos con los niveles permisibles sugeridos por la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA).....	43
8.5 Diseño experimental	44
8.6 Técnicas de muestreo.....	44
8.6.1 Muestreo.....	46
8.7 Análisis estadístico de los datos	49
9 RESULTADOS.....	50
9.1 Monitoreo del mes de abril de 2019.....	50
9.2 Monitoreo del mes de octubre de 2019.....	56
9.3 Tratamiento estadístico	62
9.3.1 Prueba t student	66
9.3.2 Correlación y dispersión	68

10	DISCUSIÓN.....	73
11	CONCLUSIONES.....	75
12	RECOMENDACIONES	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición de gases de la atmósfera (Caballero, Lozano, y Ortega, 2007)	10
Tabla 2. Afectaciones por exposición de dióxido de carbono (CCSSO, 1997; FSG, 2013).....	13
Tabla 3. Normas Oficiales Mexicanas de gases contaminantes atmosféricos	19
Tabla 4. Características de los modelos de Raspberry Pi (Llamas, 2017)	24
Tabla 5. Valores de intercepto y pendiente de sensor MQ135.....	28
Tabla 6. Características del Sensor DHT22 (Crespo, 2016).....	29
Tabla 7. Principales empresas e industrias	31
Tabla 8. Variables medidas por las estaciones del Estado de Veracruz (SEDEMA, 2019).....	38
Tabla 9. Caracterización de fuentes puntuales cercanas a los puntos de muestreo	41
Tabla 10. Características de los meses abril y octubre	45
Tabla 11. Análisis de Varianza por puntos del día 25 de abril	62
Tabla 12. Análisis de Varianza por puntos del día 26 de abril	63
Tabla 13. Análisis de Varianza por puntos del día 27 de abril	63
Tabla 14. Análisis de Varianza por puntos del día 05 de octubre.....	64
Tabla 15. Análisis de Varianza por puntos del día 06 de octubre.....	65
Tabla 16. Análisis de Varianza por puntos del día 07 de octubre.....	65
Tabla 17. Resultados de la Prueba t student	66
Tabla 18. Valores atípicos registrados en los meses de abril y octubre	68
Tabla 19. Correlación de CO ₂ , temperatura y humedad del mes de abril	69
Tabla 20. Correlación de CO ₂ , temperatura y humedad del mes de octubre.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Componentes de una Raspberry Pi (Pi, 2019)	23
Figura 2. Modelos de Raspberry Pi.	25
Figura 3. Sensor MQ135	26
Figura 4. Sensibilidad del sensor MQ135	28
Figura 5. Sensor DHT22	29
Figura 6. Parques industriales y parques logísticos en el estado de Veracruz	30
Figura 7. Ubicación de la Ciudad Industrial Bruno Pagliai, Veracruz	32
Figura 9. Ubicación de la ciudad industrial Bruno Pagliai	34
Figura 10. Sensores de medición de dióxido de carbono (MQ 135) y temperatura- humedad relativa (DHT22) compatibles con la placa Raspberry Pi.....	42
Figura 11. Toma de datos con uso del dispositivo de monitoreo de calidad del aire.	43
Figura 12. Muestreo en el punto 1	47
Figura 13. Muestreo en el punto 2	47
Figura 14. Muestreo en punto 3	48
Figura 15. Muestreo en punto 4	48
Figura 16. Datos obtenidos por puntos el 25 de abril de 2019	51
Figura 17. Datos obtenidos por cada punto de muestreo el 26 de abril de 2019	52
Figura 18. Datos obtenidos por cada punto de muestreo el día 27 de abril de 2019.....	53
Figura 19. Prueba de normalidad de la variable CO ₂ del mes de abril	54
Figura 20. Datos transformados del CO ₂	55
Figura 21. Datos obtenidos por cada punto de muestreo del día 05 de octubre 2019	57
Figura 22. Datos obtenidos por día 06 de octubre 2019	58
Figura 23. Datos obtenidos por día 7 de octubre 2019	59
Figura 24. Prueba de normalidad del mes de octubre	60
Figura 25. Datos transformados del CO ₂ mediante el método de Johnson	61
Figura 26. Gráfica de caja de dióxido de carbono de los meses abril (A) y octubre (O).	67
Figura 27. Dispersión del mes de abril.....	70
Figura 28. Dispersión del mes de octubre	72

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo de la resistencia de carga (RI)	27
Ecuación 2. Cálculo de la resistencia superficial (RS)	27
Ecuación 3. Cálculo del valor en partes por millón (ppm)	27

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire es un problema severo a nivel mundial, en donde cada año cientos de personas padecen enfermedades asociadas con la contaminación del aire (Romero, Diego, y Álvarez, 2006).

Así mismo, Espíndola y Valderrama (2012) reportaron que los Gases de Efecto Invernadero (GEI) forman una capa permanente en la atmósfera la cual impide que toda la radiación solar que es devuelta por la tierra pueda salir, ocasionando que la temperatura que se encuentra bajo la capa aumente; es decir que la energía que llega a la Tierra es devuelta más lentamente siendo mantenida más tiempo junto a la superficie elevando la temperatura (Warrick, Bolin, Döös, y Jäger, 1986; Wiedmann, 2009; Pandey, Agrawal, y Pandey, 2011).

Entre los Gases de Efecto Invernadero (GEI) tenemos al dióxido de carbono el cual se encuentra de manera natural en el ambiente, dependiendo de la ubicación que se encuentre sus concentraciones variarán entre 300 partes por millón (ppm) en zonas rurales y 500 ppm en zonas urbanas (CCSSO, 1997; Manahan, 2007; FSG, 2013). La exposición a 33 000 ppm a un lapso de 15 minutos puede ocasionar afectaciones en la función respiratoria, depresión del sistema nervioso central, desplazamiento del oxígeno entre otras afectaciones (CCSSO, 1997).

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 turgencias (Stern y Stern, 2007; EPA, 2008; Barange y Perry, 2012).

Una de las principales causas de emanaciones de GEI es 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 ambiente, la salud de las poblaciones cercanas e incluso de las que se encuentran distantes (O.P.S, 2000).

En el año de 1994 entró en vigor la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) el cual en 1997 suscribió el Protocolo de Kyoto en donde los países industrializados se comprometieron reducir 5 % las emisiones de contaminantes y un 55 % las

emisiones de dióxido de carbono (CO_2) para disminuir el impacto del cambio climático derivado de las acciones antropogénicas donde se prevé que la temperatura del planeta aumente entre 1.4 y 5.8 °C y los inviernos serán más fríos, así como escasez de agua dulce por el derretimiento de los glaciares (ONU, 1998; Herrán, 2012). Desafortunadamente dichos compromisos han sido insuficientes por lo que en las siguientes Conferencia de las Partes (COP) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático se discutió nuevamente el tema sin alcanzar algún convenio, por lo que sigue sin existir un programa que comprometa a los países contaminantes en la reducción de emisiones por lo que se requiere reforzar los diálogos y cooperación mundial para lograr una economía baja en carbono (Herrán, 2012).

El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2012) reportó que la Ciudad de México cuenta con alrededor de 40 sitios de monitoreo del aire en comparación con el estado de Veracruz que cuenta solamente con tres estaciones ubicadas en Xalapa, Minatitlán y Poza Rica ninguno de estas estaciones miden la concentración de dióxido de carbono (CO_2) (SINAICA, 2018). Por ello es importante implementar un dispositivo de monitoreo ambiental para determinar la calidad del aire a la cual la población asentada en las cercanías del parque ciudad industrial Bruno Pagliai se encuentran expuestas.

Por lo que el objetivo del presente trabajo de investigación fue el monitoreo del dióxido de carbono en el fraccionamiento El Cortijo esto al encontrarse aledañosamente a la ciudad industrial Bruno Pagliai y sus procesos industriales que se llevan a cabo.

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 La atmósfera

La atmósfera es una mezcla de gases (Tabla 1), 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 de gases de la atmósfera (Caballero, Lozano, y Ortega, 2007)

Elemento	% en volumen
Nitrógeno (N ₂)	79
Oxígeno (O ₂)	20
Argón (Ar)	0.9
Vapor de agua (H ₂ O)	0- 4
Ozono (O ₃)	0- 12 ppm
Dióxido de carbono (CO ₂)	0.03 (300 ppm)
Otros gases: Neón (Ne), Helio (He), Metano (CH ₄), Kriptón (Kr), Hidrógeno (H ₂), Óxido nitroso (N ₂ O), Xenón (Xe), Dióxido de nitrógeno (NO ₂), Yodo (I), Monóxido de carbono (CO), Amoníaco (NH ₃)	

2.1.2 Contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica es la emisión al aire de sustancias peligrosas de tal modo que excede 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 dióxido de carbono (CO₂) y otros gases contaminantes afectando la salud, el ecosistema, bienestar humano modificando la temperatura del planeta (Manuel, Arias, Lidia, y Pérez, 1973; Morales, 2006) pudiendo venir de cualquier de cualquier naturaleza (Martínez, Ataz Ernesto, y Díaz, 2004). Además, la contaminación atmosférica afecta las zonas urbanas del mundo, constituyendo un riesgo ambiental para la salud reportándose aproximadamente 3.3 millones de muertes anuales (Lim *et al.*, 2012).

La concentración de los contaminantes atmosféricos se ven afectados por la temperatura, humedad relativa y radiación solar las cuales controlan la velocidad con la que se realizan las reacciones químicas atmosférica (Ramos, Bautista-Margulis, y Valdez-Manzanilla, 2010).

2.1.3 Efecto invernadero

La atmósfera se encuentra constituida por diferentes tipos de gases y aerosoles comportándose de manera diferente, de tal modo que la energía absorbida. La atmósfera 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). Los gases contenidos en la atmósfera que absorben la radiación infrarroja procedente de la Tierra son conocidos como Gases de Efecto Invernadero (GEI) como son el dióxido de carbono, vapor de agua, óxido nitroso, metano, ozono, compuestos orgánicos volátiles.

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.

2.1.4 Temperatura, humedad y punto de rocío

La temperatura es una variable la cual se ve afectada por factores como el sol y el ángulo de incidencia de los rayos solares los cuales dependen de la latitud, vapor de agua y gases de efecto invernadero (Robinson, Robinson, y Soon, 2013).

La humedad es el contenido de agua en la atmósfera, la cual siempre tiene agua en forma de vapor, por lo que el peso del vapor de agua contenido en un volumen de aire se conoce como humedad absoluta

La humedad relativa es la razón entre el contenido efectivo de vapor en la atmósfera y la cantidad de vapor que saturaría el aire a la misma temperatura.

El punto de rocío es la temperatura a la cual empieza a condensarse el vapor de agua contenida en el aire produciendo rocío o niebla.

2.1.5 Dióxido de carbono (CO₂)

También llamado anhídrido carbónico, es un gas incoloro e inodoro, con una concentración más densa que el aire, no tóxico.

Es considerado como uno de los principales gases del efecto invernadero, se encuentra en la naturaleza en concentraciones que oscilan entre los 250 y 550 partes por millón (ppm), a partir de la Revolución Industrial sus concentraciones han ido en incremento. Factores como la Radiación Solar, la lluvia, los vientos dan lugar que estas concentraciones aumenten o se disminuyan (Quereda y Montón Chiva, 1996).

2.1.6 Contaminación por dióxido de carbono

Las fuentes de CO₂ se clasifican en naturales y antropogénicas. Las naturales son la respiración de los animales, plantas, erupciones volcánicas e incendios forestales; mientras que las antropogénicas son las industrias y el uso de combustibles fósiles. Las plantas toman el CO₂ por medio de la fotosíntesis, en donde almacenan el carbono en el follaje, tallo y raíces, convirtiéndose en depósitos naturales de carbono. Cuando la planta muere el carbono almacenado vuelve a liberarse a la atmósfera por lo que además de ser depósitos también son fuentes de carbono (Manuel *et al.*, 1973).

La concentración de dióxido de carbono en la atmósfera está aumentando en forma constante debido al uso de combustibles fósiles. La reducción de las emisiones permitirá que el ciclo total del carbono alcance un equilibrio por medio de los grandes sumideros de carbono como es el caso del océano profundo y los sedimentos (Manahan, 2007).

2.1.7 Efectos en la salud del Dióxido de Carbono (CO₂)

El dióxido de carbono se encuentra de manera natural en el ambiente en concentraciones entre 250 ppm y 550 ppm dependiendo si es en entornos rurales o urbanos (FSG, 2013). Las manifestaciones clínicas que se presentan cuando se está expuesto a altas concentraciones de dióxido de carbono son hiperventilación, sudoración, cefalea, aumento de la temperatura cutánea y compromiso gradual de conciencia (Oyarzún, 2010).

El Centro Canadiense de Seguridad y Salud Ocupacional (1997) y la Fundación para la Salud Geoambiental (2013) reportaron que la exposición a niveles por debajo de 20 000 partes por millón (ppm) no provoca efectos nocivos, mientras que la exposición a concentraciones elevadas

pueden generar algunas afectaciones como se muestra en la Tabla 2. La OSHA, NIOSH, ACGIH establecieron que los límites permisibles de exposición laboral son de 5 000 ppm en una jornada laboral de ocho horas y un máximo de 30 000 ppm en un periodo no excedido de 15 minutos (min) (NJHealth, 2016).

Montaño y Sandoval (1973) mencionaron que de seguir en aumento las concentraciones de dióxido 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.

Tabla 2. Afectaciones por exposición de dióxido de carbono (CCSSO, 1997; FSG, 2013)

Concentración (ppm) de CO₂	Afectación
20 000	No se han reportado afectaciones.
33 000 - 54 000	Profundidad aumentada de la respiración.
65 000 - 75 000	Sensación de inhabilidad para respirar (disnea), aumento de ritmo del pulso, jaqueca, mareos, sudoración, fatiga, desorientación y distorsión visual, disminución de rendimiento mental, irritabilidad.
80 000 - 90 000	Daño en retina, sensibilidad a la luz (fotofobia), movimiento ocular anormal, constricción de campo visual, agrandamiento de puntos ciegos.
100 000	Parpadeo ocular, excitación, actividad muscular aumentada y contracción.
110 000 - 200 000	Dificultad para respirar, audición deficiente, náuseas, vómitos, sensación de estrangulamiento, sudor, estupor, pérdida de conciencia.
200 000 - 300 000	Afectaciones al corazón, visión nocturna disminuida, sensibilidad al color, inconsciencia, convulsiones, la muerte.

2.2 Convenios internacionales

Las constantes afectaciones que el humano ha ocasionado al ambiente, ha llevado a cabo la toma de conciencia con respecto a los daños que el humano ha ocasionado a la naturaleza, promulgando diferentes convenios y tratados para el cuidado y preservación del mismo (Maldonado, 2011), como son: la Declaración de Estocolmo de 1972, Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo adoptado en la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, Convenio de Viena para la protección de la capa de Ozono, Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de Ozono, Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático; Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidad sobre el Cambio Climático,

2.2.1 La Declaración de Estocolmo de 1972

La Declaración de Estocolmo en 1972 (O.N.U, 1972) fue adoptada por la Conferencia de Las Naciones Unidad Sobre el Medio Humano. En ella se reconoce la importancia del medio 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 sugiere que se debe detener la descarga al medio de sustancias contaminantes las cuales pongan en peligro la salud humana y los ecosistemas.

Los dos aspectos del medio ambiente humano (el natural y el artificial), son de gran importancia para el bienestar del hombre y para el goce de los derechos humanos fundamentales, inclusive para el derecho de la vida misma.

Se reconoce que la gran mayoría de los problemas ambientales son llevados a cabo por países en subdesarrollo, por lo que, los países en desarrollo, deben dirigir sus esfuerzos hacia el desarrollo, teniendo en cuenta sus prioridades y la necesidad de salvaguardar y mejorar el ambiente.

Las actividades antropogénicas han llegado a tal nivel que debemos atender con mayor necesidad las consecuencias que estas puedan tener para el ambiente. Por lo que es necesario que los ciudadanos, comunidades, empresas e instituciones en todos los niveles acepten las responsabilidades que les corresponden y que todos participen equitativamente.

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

Se llevó a cabo en Río de Janeiro en junio de 1992 (O.N.U, 2016) . Su principal objetivo es alcanzar el desarrollo sostenible, reconociendo el derecho de los seres humanos a una vida saludable y productiva en armonía con la naturaleza (principio 1) así como también el derecho soberano de los estados para el aprovechamiento de los recursos naturales haciendo valer la responsabilidad de los mismos por la conservación del ambiente para que dichas actividades causen daño al medio ambiente de otros estados (principio 2); por lo que se contemplan acciones las cuales deben ser adoptadas en los diferentes tipos de ámbitos.

Se señala la necesidad de erradicar la pobreza (principio 5) y modificar los patrones de consumo y producción que resultan ambientalmente insostenibles (principio 8). Reconociendo la situación en la que se encuentran los países en desarrollo (principio 6) y las responsabilidades comunes frente a la salud y la integridad de los ecosistemas, fundamentando las distintas contribuciones a la degradación ambiental global (principio 7).

Se reconoce las afectaciones que trae consigo el desarrollo económico sobre el ambiente. Señalando la necesidad de un sistema económico internacional que permita el crecimiento económico y desarrollo sostenible de los países (principio 12), exhortando a los países a internalizar los costos ambientales y crear instrumentos económicos partiendo del principio de el que contamina paga (principio 16).

Se establecen como medidas de cautela para la protección del ambiente, la aplicación del principio de precaución (principio 15), y la evaluación de los impactos ambientales (principio 17), cuando exista algún riesgo de daños de consideración al medio ambiente.

2.2.3 Convenio de Viena para la protección de la capa de Ozono

El Convenio de Viena para la protección de la capa de Ozono (PNUMA, 2001) se compone de 21 artículos y 2 anexos, donde se busca proteger la salud humana y el medio ambiente de los efectos ocasionados por las actividades humanas que puedan modificar o afectar la capa de ozono.

Buscando que la aplicación del presente convenio sea basada mediante consideraciones científicas y técnicas con el fin de investigar y evaluar los procesos que puedan afectar la capa de ozono, los efectos sobre la salud y otros efectos biológicos que pueda traer consigo.

Obligando a la cooperación 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.

México fue ratificado el 14 de septiembre de 1987, alentando a la cooperación intergubernamental para la investigación, observación sistemática de la capa de ozono y el intercambio de información para su eventual eliminación del empleo y uso de sustancias que agotan la capa de ozono como es el caso de los Clorofluorocarbonos (CFCs) (SEMARNAT, 2015).

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

El Protocolo de Montreal busca la ratificación universal para proteger la capa de ozono de sustancias que agotan la capa de ozono (SAO) y evitar daños a la salud y al medio ambiente. Fijando plazos máximos para la eliminación en la producción y consumo de las fuentes agotadoras de la capa de ozono (O.N.U, 2019b).

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.

De 1987 a finales del 2014 se ha logrado eliminar más del 98 % de las sustancias agotadoras de ozono (SAO) controladas, trayendo consigo la reversión gradual de los daños que se le ha generado a la capa de ozono (P.N.U.D, 2019).

De igual manera de 1989 al 2013, se ha logrado reducir las emisiones acumuladas de dióxido de carbono (CO₂) a 135 000 millones de toneladas.

Por lo que el Fondo Multilateral para la Aplicación del Protocolo de Montreal (FMAPM) ayuda a los países en desarrollo para la eliminación de las sustancias agotadoras de ozono en convenio con el PNUD (organismo encargado de la ejecución del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) financiado por el FMAPM) financia programas en países con una economía en transición como es el caso de la transferencia de tecnologías, asistencia técnica, formulación y aplicación de estrategias, facilitación de alianzas entre el sector público y privado (P.N.U.D, 2019).

Entre los resultados obtenidos por el PNDU se ha logrado eliminar 67 870 toneladas de SAO y 5 080 millones de toneladas de dióxido de carbono. 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.

2.2.5 Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático

En la 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 (O.N.U, 1992).

Esto 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.

Actualmente 197 países han ratificado la Convención con el objetivo de prevenir una interferencia humana peligrosa con el sistema climático (O.N.U, 2019a).

2.2.6 Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

En Kyoto, Japón, se acordó el Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) (ONU, 1998), donde compromete a los países industrializados y a los países en transición hacia una economía de mercado a alcanzar objetivos cuantificados de reducción de emisiones (O.N.U, 2019a).

Los países dentro del CMNUCC se comprometieron a reducir su emisión total de seis gases de efecto invernadero, durante el período 2008 - 2012 (el primer período de compromiso), en un promedio de 5.2 % por debajo de los niveles de emisión de 1990, con objetivos específicos que varían de país en país. El Protocolo de Kyoto entró en vigor el 16 de febrero de 2005 y tiene 193 Partes (Soledad, 2011).

Tiene la finalidad de promover el desarrollo sostenible, donde las partes incluidas deben cumplir los compromisos de limitación y reducción de emisiones contaminantes.

Obligando a los países desarrollados con el fin de disminuir sus emisiones de contaminantes (O.N.U, 2019a).

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.

Se busca el fomento de reformas que limiten o reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero, tomar medidas para limitar o reducir las emisiones de gases efecto invernadero. La limitación y/o reducción de las emisiones de metano.

Se consideran gases de efecto invernadero al dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC), hexafluoruro de azufre (SF₆).

2.3 Normatividad de la calidad del aire en México

En el año 2012, la organización mundial de la salud (OMS) estima que produjeron 3.7 millones de muertes a nivel mundial debido a fuentes de contaminación urbana y rural (COFEPRIS, 2017a). Dado a esto, es que se lleva a cabo el control de los niveles de contaminantes atmosféricos.

En México, la Secretaría de Salud es el responsable de evaluar los impactos de la contaminación atmosférica en la salud y establecer los límites permisibles de concentración de contaminantes existentes en la atmósfera (COFEPRIS, 2017a; SEDEMA, 2018b). Para el monitoreo de la calidad del aire se emplean las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) que describen los límites permisibles para los contaminantes criterio, siendo periódicamente revisadas para reflejar la información reciente sobre los efectos en la salud (SEDEMA, 2018b). De acuerdo con la COFEPRIS (2017b) y la SEDEMA (2018b), las normas oficiales mexicanas vigentes para calidad del aire se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Normas Oficiales Mexicanas de gases contaminantes atmosféricos

Contaminante	NOM
Dióxido de azufre (SO ₂)	NOM-022-SSA1-2010
Monóxido de carbono (CO)	NOM-021-SSA1-1993
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	NOM-023-SSA1-1993
Ozono (O ₃)	NOM-020-SSA1-2014
Partículas menores a 10 micrómetros (PM ₁₀)	NOM-025-SSA1-2014
Partículas menores a 2.5 micrómetros (PM _{2.5})	NOM-025-SSA1-2014
Plomo (Pb)	NOM-026-SSA1-1993

Como se puede observar en la Tabla 3, no existe una norma oficial mexicana que regule las emisiones de dióxido de carbono, a excepción de la norma oficial mexicana NOM-163-

SEMARNAT-ENER-SCFI-2013 la cual regula las emisiones de dióxido de carbono provenientes de los escapes de vehículos y su equivalencia en términos de rendimiento de combustible, aplicable a vehículos automotores.

2.4 Sistema de medición de calidad del aire

Es el conjunto de recursos humanos, técnicos y administrativos empleados para monitorear la calidad del aire permitiendo su evaluación, conocer los niveles de contaminación atmosférica, verificar datos (INE-SEMARNAT, 2003). Debiendo responder de manera eficiente y confiable a los objetivos del monitoreo o muestreo y las necesidades de información establecidas por las normatividad federal o local vigente en materia de calidad del aire (Martínez, Bolívar Ana P, y Romieu, 1996).

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).

En el 2012, la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, (SEMARNAT) expidió la Norma Oficial Mexicana (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.

2.4.1 Métodos de medición de la calidad de aire

De acuerdo con Martínez *et al.* (1996) y SINAICA (2018), la medición de contaminantes atmosféricos se puede llevar a cabo mediante diversos métodos como son: Muestreo pasivo; Muestreo activo; Analizadores o monitores automáticos; Sensores remotos; y Bioindicadores.

2.4.1.1 Muestreo pasivo

En el muestreo pasivo se colecta un contaminante específico por medio de adsorción y/o absorción en un sustrato químico seleccionado.

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.

2.4.1.2 Muestreo activo

Los muestreos activos 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 (h), se requiere análisis de laboratorio.

2.4.1.3 Analizadores o monitores automáticos

Los analizadores o monitores automáticos permiten llevar a cabo mediciones de forma continua para concentraciones horarias y menores, en donde las muestras colectadas son analizadas utilizando métodos como espectroscopia y cromatografía de gases, por lo que se tienen 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.

Se tiene la ventaja de 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.

2.4.1.4 Sensores remotos

Los 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.

2.5 Tecnología Raspberry Pi

Las placas Raspberry Pi son tecnologías de bajo costo las cuales por su fácil manejo y bajo costo permiten llevar a cabo proyectos de programación e investigación con la finalidad de promover la programación en las escuelas y países en desarrollo tecnológico.

A continuación, se mencionan algunas características y diferencias.

2.5.1 Raspberry Pi

La Raspberry Pi es un miniordenador de placa simple de bajo costo el cual fue desarrollado en Reino Unido por la Raspberry Pi Foundation con la misión 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 1).

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 2).

En la Tabla 4 podemos observar algunas características de los modelos de Raspberry Pi.

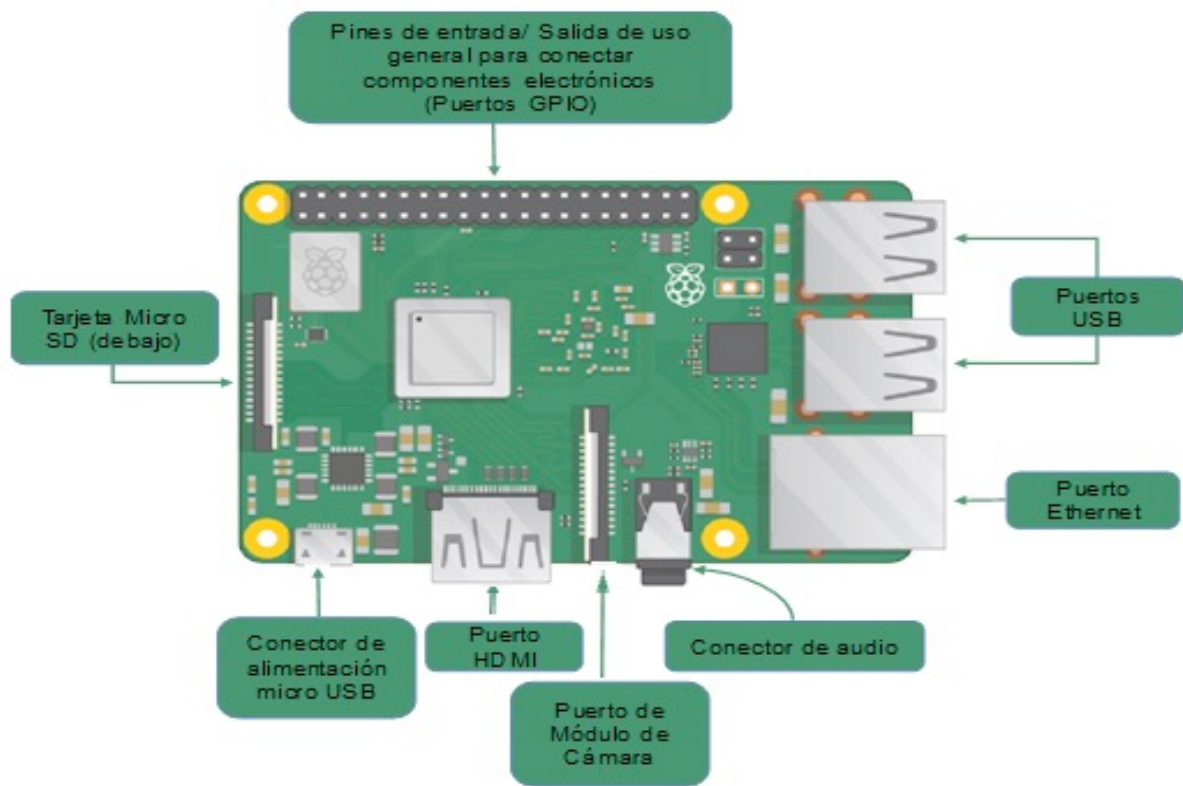


Figura 1. Componentes de una Raspberry Pi (Pi, 2019)

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 4. 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
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
Peso	45 g	45 g	45 g	9 g	9g
Consumo	700 mA	820 mA	1400 mA	350 mA	350 mA

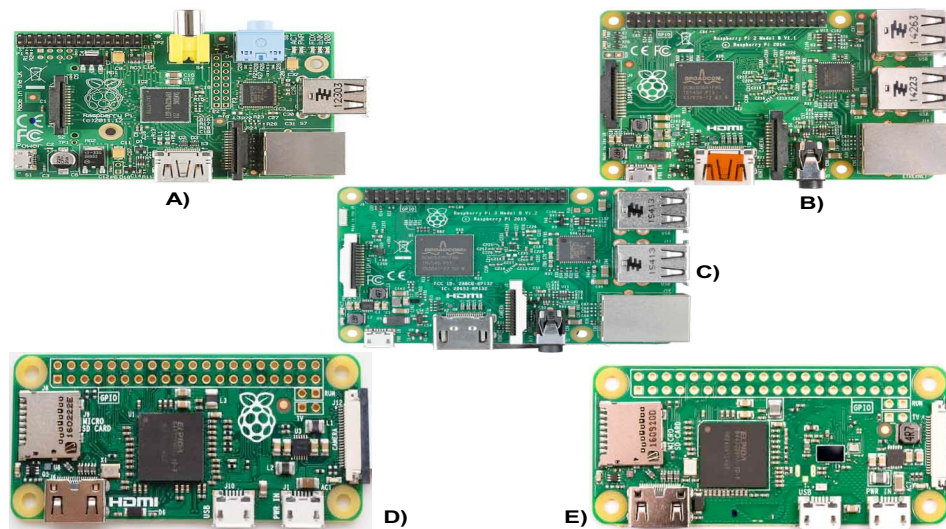


Figura 2. Modelos de Raspberry Pi. A) Modelo Raspberry Pi 1; B) Modelo Raspberry Pi 2; C) Modelo Raspberry Pi 3; D) Modelo Raspberry Pi Zero; E) Modelo Raspberry Pi Zero W. F (Llamas, 2017)

2.6 Sensores de dióxido de carbono

Los sensores de dióxido de carbono son instrumentos que se utilizan para determinar la presencia de algún gas específico registrándolo en partes por millón (ppm).

Su funcionamiento depende del sistema que emplea para su medición. A continuación se mencionan los tipos de sensores y sus características (Mechatronics, 2016; Ohms, 2016).

- Sensores semiconductores: sensores con semiconductores de óxido metal. Funcionan con una película sensible al gas que está compuesta principalmente por cristales de óxido-metal del tipo n- normalmente es dióxido de estaño (SnO_2), óxido de indio (InO_3), óxido de wolframio (WO_3), entre otros. La reacción química ocurre cuando el gas hace contacto con el sensor provocando que la resistencia eléctrica en el sensor decrezca. Son muy eficientes en un rango amplio de ambientes húmedos.
- Sensores infrarrojos: presentan una estabilidad y son altamente selectivos del gas a medir. Disponen de un dispositivo emisor y un dispositivo receptor. Donde el receptor recibe una pequeña fracción de luz del dispositivo emisor una vez que se ha oscurecido el espacio entre ellos activando la alarma.

- Puntuales: tanto el dispositivo receptor como el emisor se encuentran ubicados en una única cámara, aunque separados por una pantalla. De tal modo que cuando entra humo a la cámara, el haz de luz se refracta hacia el receptor encendiendo la cámara.
- Sensores ultrasónicos: ocupan emisiones ultrasónicas para detectar cambios en el ruido de fondo del ambiente en donde se encuentren, se utilizan principalmente para detectar fugas en tuberías.
- Electroquímicos: 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.

Contienen una malla de hilos de acero y debajo de esta malla se encuentra confinado el elemento de sensado la cual sirve como filtro para retener partículas suspendidas protege las bobinas encapsulados de igual manera mantiene el sensor intacto de las altas temperaturas.

Por su bajo costo y fácil manejo el sensor MQ135 fue el que se ocupó en el presente trabajo de investigación.

2.6.1 Sensor MQ135

Es un sensor de amplio alcance de detección de respuesta rápida y alto nivel de sensibilidad (Figura 3). Se emplea para la medición del aire de los gases dióxido de carbono (CO_2), alcohol, amoníaco (NH_3), óxido de nitrógeno (NO_x), benceno.



Figura 3. Sensor MQ135 (CDMXElectrónica, 2019).

Para su funcionamiento requiere un previo precalentamiento de 24 horas y un suministro de 5 volts (V) para la toma de datos, su rango de medición va de 10 a 10 000 ppm (Bernal, Flóres, y San Juan, 2015).

Para la interpretación de los niveles de voltaje sean expresados en ppm se requieren los siguientes cálculos (Boboa y Alberto, 2013):

Ecuación 1. **Cálculo de la resistencia de carga (RI)**

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

$$RI = Rs(\text{en aire limpio}) * e^{\frac{\log \frac{\text{intercepto}}{\text{ppm en aire limpio}}}{\text{pendiente}}} \dots\dots\dots \text{Ecuación 1}$$

Donde:

RI= Resistencia de carga

Rs= Resistencia superficial

Ecuación 2. **Cálculo de la resistencia superficial (RS)**

$$Rs = \frac{Vc - VRI}{VRI} * RI \dots\dots\dots \text{Ecuación 2}$$

Donde:

Rs= Resistencia superficial

VRI= Voltaje de salida

Vc= Voltaje de entrada

RI= Resistencia de carga

Ecuación 3. **Cálculo del valor en partes por millón (ppm)**

$$\text{ppm} = \text{Intercepto} * \frac{Rs^{\text{Pendiente}}}{R0} \dots\dots\dots \text{Ecuación 3}$$

Donde:

ppm= Partes por millón;

Rs=Resistencia superficial;

R0=Resistencia interna.

Los valores de la pendiente y el intercepto (Tabla 5) se obtuvieron de la Data Sheet del sensor MQ135 (se anexa Data Sheet).

Tabla 5. Valores de intercepto y pendiente de sensor MQ135

Gas	Intercepto	Pendiente
CO ₂	113.7105289	-3.019713765

En la figura 4 se observan las características de sensibilidad del MQ135.

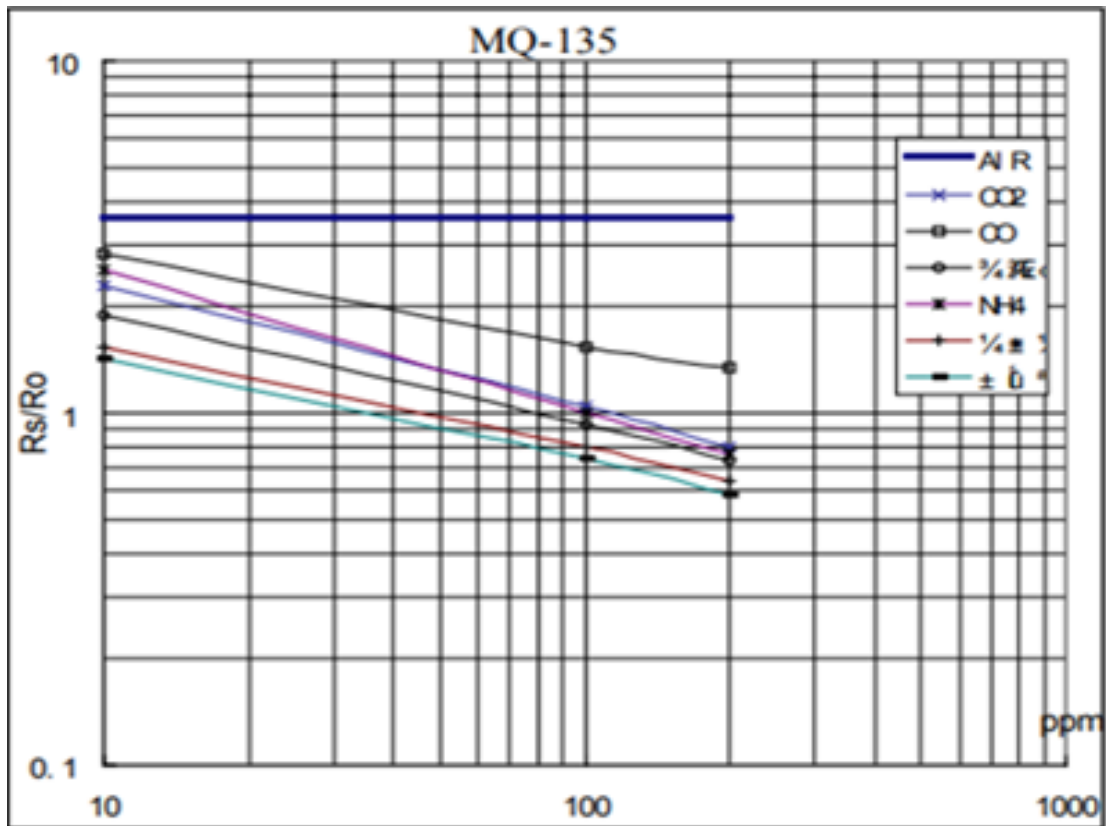


Figura 4. Sensibilidad del sensor MQ135 a una temperatura de 20 °C y humedad del 65 % (Datasheet, 2019)

2.7 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 5. Sensor DHT22 para medir temperatura y humedad (Crespo, 2016).

Son calibrados en laboratorios por lo que las lecturas se obtienen cada dos segundos (Tabla 6) presentando una gran confiabilidad (Crespo, 2016; Palacios, 2016).

Tabla 6. 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 °C a 80 °C
Precisión de medición de Temperatura	$< \pm 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Resolución Temperatura	0.1 °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 Parques Industriales

Un parque industrial es un terreno delimitado para el asentamiento y actividades de las industrias, que cuenta con servicios básicos, infraestructura, permisos y tecnologías necesarias en base a las necesidades de la industria (SEDEMA, 2006; SEDECOP, 2019).

El estado de Veracruz cuenta con 13 parques industriales y 2 parques logísticos (Figura 6) y uno en construcción, abarcando una superficie total de 11 726.75 hectáreas.

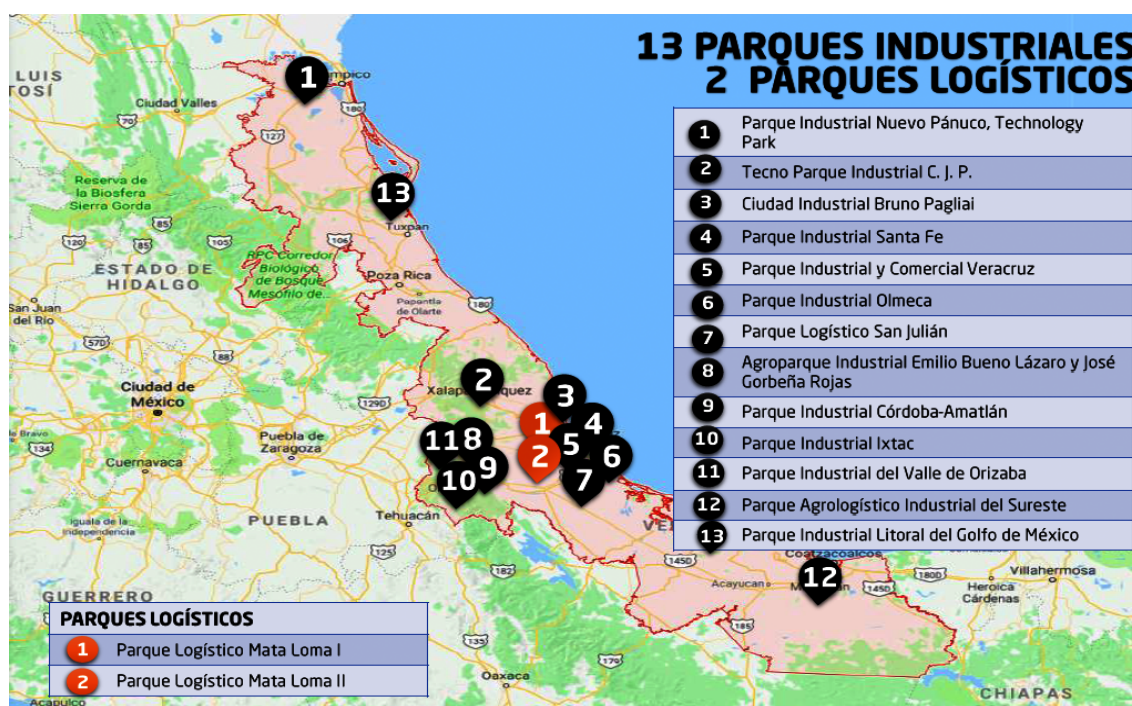


Figura 6. Parques industriales y parques logísticos en el estado de Veracruz (SEDECOP, 2019)

2.8.1 Ciudad Industrial Bruno Pagliai

La ciudad industrial Bruno Pagliai se encuentra ubicada en el estado de Veracruz ($96^{\circ} 13' 54.69''$ W, $19^{\circ} 9' 48.59''$ N), cuenta con 411.4 hectáreas con un total de 319 empresas establecidas donde sus principales actividades (Tabla 7) son la industria metal-mecánica, construcción, agroquímica, transformación de materia, farmacéutica, petróleo y gas, comercio y almacén entre otros (SEDECOP, 2019).

Tabla 7. Principales empresas e industrias y sus actividades comerciales de la ciudad industrial
Bruno Pagliai (Pagliai, 2014)

Industria	Categoría	Actividad comercial
Adoblock	Construcción	Fabricación
Aluplast	Industria	Fabricación
Amsa Andamios y Gradas	Construcción	Fabricación
Bloquera del Golfo	Construcción	Fabricación
Cia Manufacturera de Veladoras	Abarrotes	Fabricación
Clean Bag	Industria	Fabricación
Codocover	Industria	Fabricación
Cooper Cameron	Industria	Fabricación
Discos y Cortes de México	Metalurgia	Fabricación
Draki de México	Abarrotes	Fabricación
Durman Esquivel	Industria	Fabricación
Empresa Mexicana de Manufacturas	Industria	Fabricación
Envases Universales	Contenedores	Fabricación
Fundición del Golfo	Industria	Fabricación
Green Pack	Plástico	Fabricación
Herramientas Truper	Ferretería	Fabricación

En la Figura 7 se observa la Ciudad Industrial Bruno Pagliai y algunas de las empresas que se encuentran ubicadas en ella.



Figura 7. Ubicación de la Ciudad Industrial Bruno Pagliai, Veracruz

3. MARCO REFERENCIAL

3.1 Área de estudio

El fraccionamiento El Cortijo se encuentra localizado en el puerto de Veracruz (19.1544335, -96.2306347), cuenta con aproximadamente 20 hectáreas (ha) de terreno donde podemos encontrar casas de interés social. La población es de aproximadamente 660 personas/km², con un nivel socioeconómico de clase media baja (D+).

Existen un estimado de 200 habitantes menores de 14 años, 300 entre los 15 y 29 años de edad con un número aproximado de 200 personas entre las edades de 30 y 59 años de edad (Marketdatamexico, 2019).

De acuerdo con MarketDataMéxico (2019), el fraccionamiento El Cortijo cuenta con un output económico estado de \$130 millones de pesos mexicanos anuales, de los cuales \$93 millones de pesos mexicanos corresponden a ingresos generados por los hogares mientras que \$33 millones de pesos corresponden a ingresos obtenidos por los establecimientos que operan en el fraccionamiento.

Se establecieron cuatro puntos de muestreo los cuales llevan las etiquetas de P1, P2, P3 y P4 (Figura 8) respectivamente, esto mediante el método de selección aleatorio simple marcado por la SINAICA (2018).

Donde cada punto de muestreo cuenta con las siguientes características:

- Punto1 (P1), se encuentra localizado en localizado (19.156362,-96.221350) comenzando el fraccionamiento El Cortijo, aquí el tránsito de vehículos es constante con un estimado de 50 vehículos/ minuto (min).
- Punto 2 (P2), a diferencia del punto P1 este se encuentra aproximadamente 150 metros (m) retirado de la calle principal (19.1547521,-96.2210647), el paso de vehículos es menor contabilizando un aproximado de 20 vehículos/ min; no cuenta con áreas verdes.
- Punto 3 (P3), se encuentra localizado en las coordenadas 19.152886, -96.221368 como característica a diferencia de los puntos mencionados anteriormente se encuentra aproximadamente 200 m retirados de la calle principal, se contabilizó el paso de aproximadamente 12 vehículos/ min, cuenta con la presencia de un área con vegetación.
- Punto 4 (P4), se encuentra localizado en los límites del fraccionamiento (19.1518809, -96.2239052) donde la presencia de tránsito vehicular es de 5 vehículos/ min, existe una menor urbanización y mayor área con abundante vegetación.

A 3.5 km se localiza el parque Ciudad Industrial Bruno Pagliai (Figura 9) que cuenta con la infraestructura, permisos y tecnologías necesarios para su operación. Se encuentra ubicado en el kilómetro 97 de la carretera Xalapa- Veracruz, en el puerto de Veracruz con las coordenadas 19.1626458, -96.2349397. Cuenta con una superficie de 411.4 ha y un total de 319 empresas establecidas.

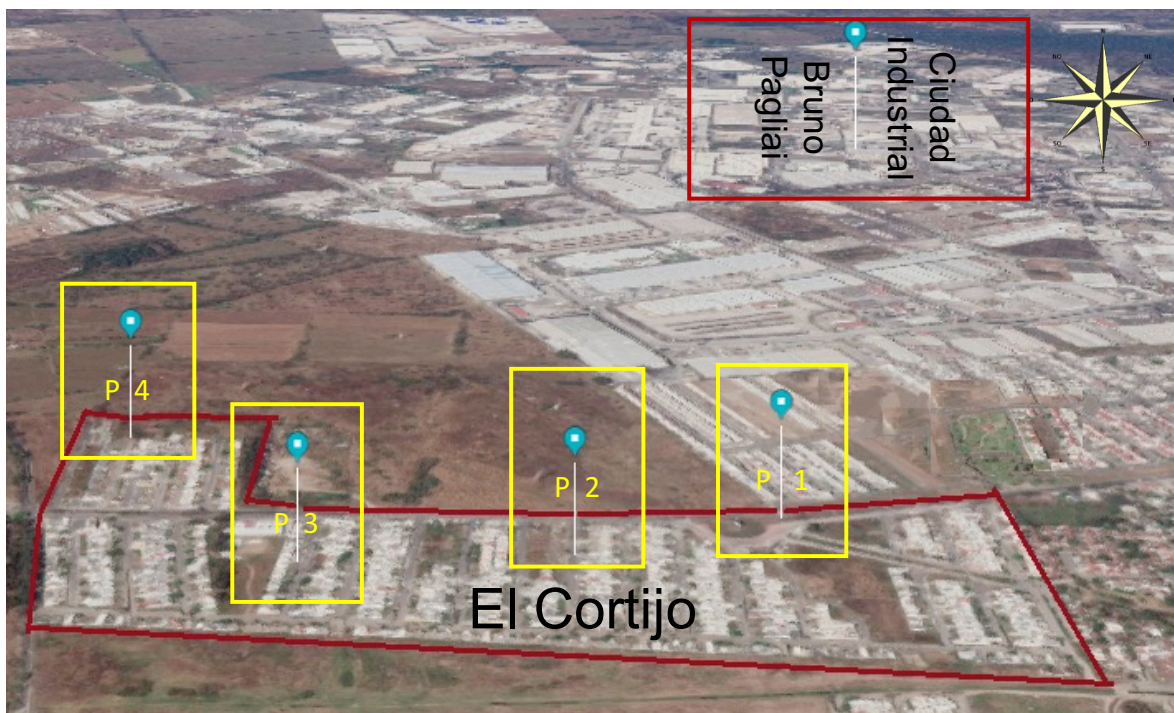


Figura 8. Ubicación de los puntos de muestreo en el fraccionamiento El Cortijo



Figura 9. Ubicación de la ciudad industrial Bruno Pagliai (círculo rojo) y del fraccionamiento El Cortijo (rectángulo azul)

3.2 Antecedentes

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).

La SINAICA (2018) determinó contaminación del aire es 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

Motivo por ello, 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 México, se elaboraron Normas Oficiales Mexicanas (NOM) por conducto de la Secretaría de Salud en donde se fijaron los valores máximos permisibles par los contaminantes atmosféricos, los cuales representan un riesgo para salud humana (SEMARNAT, 2013), desafortunadamente no existe una NOM que regule las emisiones de dióxido de carbono en las industrias.

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, 2019).

Por otro lado, en el 2016 el Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH) realizó recomendaciones médicas en caso de presentar síntomas o exposición excesiva, donde se debe determinar los efectos cerebrales, cambios en memoria, concentración, patrones de sueño y el estado de ánimo (irritabilidad y retraimiento ambiental), realizar exámenes en ojos y de visión (CCSSO, 1997).

Es por ello que la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA), el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH) y la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH) emitieron los límites máximos y mínimos de exposición laboral sugeridos en donde el promedio aceptado es 5 000 ppm y el máximo es de 30 000 ppm el cual no debe ser excedido más de quince minutos (NJHealth, 2016)

Para la medición de las concentraciones de dióxido de carbono se puede realizar mediante el uso de sensores y placas de bajo costo como es la Raspberry Pi, en donde Álvarez Rodrigo (2015) realizó la toma de datos con sensores de diferente naturaleza instalados en algunos puntos de Mérida mediante el uso de tecnología de bajo costo, como es el caso de la Raspberry Pi.

Del mismo modo Bravo Granda, Belduma, y Alberto (2017) diseñaron una red de sensores inalámbricos para el monitoreo del tránsito vehicular y la contaminación de CO₂ dentro de un sector urbano donde se analizó el comportamiento vehicular a partir de mediciones de concentración de dióxido de carbono y niveles de ruido, medidos en porcentaje por millón (ppm) y decibelios (dB).

Dicha red inalámbrica se compone de cuatro nodos sensores los cuales envían los datos de forma inalámbrica hacia un coordinador el cual por medio de una interfaz gráfica desarrollada en JAVA se puede observar el comportamiento de la medición y almacenarla en un servidor web vinculado a MySQL.

4 JUSTIFICACIÓN

La creciente urbanización y el desarrollo económico han dado como resultado la construcción de fraccionamientos en zonas aledañas a las zonas industriales las cuales emanan una gran cantidad de gases contaminantes a la atmósfera siendo dispersos por las corrientes de aire desconociendo los niveles de contaminantes a los cuales se encuentran expuestos. Esto aunado a que en México no existe una Norma Oficial Mexicana ni un sistema de monitoreo de la calidad del aire que regule ni evalúe las emisiones de dióxido de carbono. Pocos trabajos se encuentran en donde se hayan realizado este tipo de monitoreo en la zona de estudio.

Por lo que en el presente trabajo de investigación se realizó el monitoreo de dióxido de carbono para determinar las concentraciones a las cuales se encuentran expuestas las personas que habitan en el fraccionamiento El Cortijo aledaño a la ciudad industrial Bruno Pagliai.

5 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

5.1 Situación problemática

El fraccionamiento El Cortijo se encuentra localizado a 3.5 km del parque ciudad industrial Bruno Pagliai el cual cuenta con 319 empresas establecidas de las cuales sus principales actividades puntuales de contaminación son la industria metal - mecánica, de transformación, farmacéuticas, comercio, servicios y almacén. Entre otras fuentes de contaminación como son la afluencia de vehículos que transitan en la ciudad industrial y en las periferias; negocios de preparación de alimentos mediante la quema de carbón y leña; y fuentes naturales como son la quema de pastizales. Dichas actividades emanan a la atmósfera una gran cantidad de gases contaminantes como son dióxido de carbono, dióxido de sulfuro (SO_2), dióxido de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), partículas Pm_{10} y $\text{Pm}_{2.5}$, ácido nítrico (HNO_3), dióxido de azufre (SO_2), las cuales se ven influenciadas por las condiciones meteorológicas como son los vientos, la temperatura y la humedad relativa.

Estas condiciones meteorológicas originan que estos gases se desplacen llegando a los fraccionamientos lo que puede ocasionar afectaciones a la salud y al ambiente.

Es por eso que, es necesario recalcar que el estado de Veracruz cuenta solamente con tres estaciones de monitoreo de la calidad del aire localizadas en Xalapa, Minatitlán y Poza Rica por su elevado costo de adquisición, mantenimiento y requerimiento de espacio donde puedan ser instalados; esto aunado que ninguna de ellas monitorea las concentraciones de dióxido de

carbono (Tabla 8) ni tampoco existe una NOM que regule las emisiones de dióxido de carbono de las actividades industriales.

Tabla 8. Variables medidas por las estaciones del Estado de Veracruz (SEDEMA, 2019)

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 el Fraccionamiento El Cortijo que encuentra ubicado a 3 km del parque Ciudad Industrial Bruno Pagliai para conocer las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) presentes.

Temporal

La investigación se realizó en los meses de abril y octubre de 2019.

5.3 Pregunta de investigación

¿Cuáles son los niveles de concentración de dióxido de carbono existentes en el Fraccionamiento El Cortijo aledaño a la Ciudad Industrial Bruno Pagliai y cuál es la correlación con la temperatura y humedad relativa?

6 HIPÓTESIS

Los niveles de concentración de dióxido de carbono existentes en el fraccionamiento El Cortijo aledaño a la Ciudad Industrial Bruno Pagliai son medianamente elevadas, debido al a las fuentes puntuales y actividades antropogénicas que se llevan a cabo en la Ciudad Industrial Bruno Pagliai, y están en función de la temperatura y humedad relativa.

7 OBJETIVOS

7.1 General

Evaluar los niveles de las concentraciones de dióxido de carbono y su correlación con la temperatura y humedad relativa en el fraccionamiento El Cortijo aledaño a la Ciudad Industrial Bruno Pagliai.

7.2 Particulares

OP1: Caracterizar la zona de estudio;

OP2: Medir los niveles de concentración de dióxido de carbono;

OP3: Correlacionar las variables de temperatura y humedad relativa con el dióxido de carbono;
y

OP4: Comparar los datos obtenidos con los niveles permisibles sugeridos por la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA).

8 MATERIALES Y MÉTODOS

8.1 Caracterización de la zona de estudio

Caracterización de fuentes de contaminación atmosférica

De acuerdo con la SEMARNAT(2018), las fuentes de contaminación atmosférica son las actividades, operaciones o procesos que tienen la capacidad de producir y emanar contaminantes a la atmósfera. Estos se clasifican en cuatro tipos que son: fuentes puntuales, fuentes móviles, fuentes de área y fuentes naturales o biogénicas.

- Fuentes puntuales: pueden ser estacionarias o estar en un punto fijo como ejemplo tenemos las industrias, fábricas, etc.

- Fuentes móviles: en esta podemos encontrar aquellas fuentes de transporte y vehículos automotrices.
- Fuentes de área: son todas aquellas actividades que en conjunto afectan la calidad del aire como son el uso de madera, actividades agrícolas, quema de carbón, tintorerías.
- Fuentes naturales o biogénicas: son el resultado de los procesos de fenómenos naturales como son las emisiones producidas por volcanes, océanos, respiración entre otras.

Si el contaminante es perjudicial para la salud y bienestar de las personas es catalogado como contaminante criterio, si no es perjudicial se le considera como contaminante no criterio.

En la Tabla 9 de acuerdo con la caracterización de la zona, se muestran algunas fuentes de contaminación atmosférica las cuales pueden llegar a tener influencia con los datos obtenidos con el dispositivo de monitoreo ambiental.

Tabla 9. Caracterización de fuentes puntuales cercanas a los puntos de muestreo

Fuentes	Características
Puntuales	La ciudad industrial cuenta con 319 establecimientos, de las cuales 17 su actividad comercial es de fabricación, 18 son de distribución principalmente.
Móviles	Por las operaciones y procesos que se llevan a cabo en la ciudad industrial; los equipos, materiales y producto final requiere ser transportados a su destino por los cual se emplean vehículos. Se contabilizó un estimado de 95 unidades de carga. Así como también se pudo contabilizar la circulación de un aproximado de 50 vehículos/ min en la ciudad industrial. En el fraccionamiento el cortijo se contabilizó el circular de 30 vehículos/ min entre lo que destacan vehículos particulares y camiones urbanos.
De Área	En el fraccionamiento El Cortijo se observó un negocio de venta de pollos asados al carbón, nueve locales de alimentos de cocción mediante la quema de leña y/o carbón y seis fogones para uso doméstico.
Naturales o biogénicas	Durante los días de monitoreo se pudo observar la quema de un pastizal por las altas temperaturas presentadas.

8.2 Medición de los niveles de concentración de dióxido de carbono

La metodología empleada para la medición de los niveles de concentración de dióxido de carbono fue acorde a los manuales realizados por el Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA). El método que se empleó es el método automático, esto debido a que permite realizar mediciones de manera continua, determinando la concentración de gases contaminantes (ppm) en el aire basándose en las propiedades del mismo.

Se seleccionaron los sensores de medición (Figura 10) de dióxido de carbono (MQ135), temperatura y humedad relativa (DHT22) compatibles con la placa Raspberry Pi.

Posteriormente se ensambló e implementó el dispositivo de monitoreo de calidad de aire con similitud a un dispositivo elaborado por los estudiantes José Inclán Barragán, Carlos Alberto Toledo Barrios y Carlos Daniel Amaya Fernández de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental en las instalaciones del Tecnológico Nacional de México/ ITBOCA el cual se encuentra en proceso de patente.

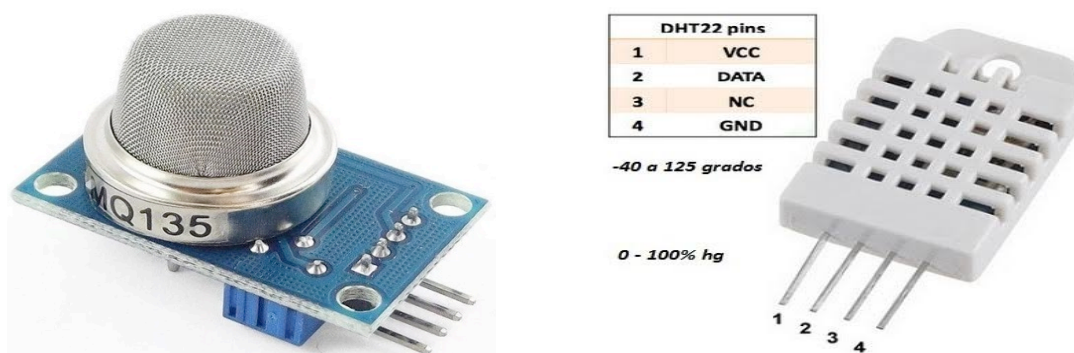


Figura 10. Sensores de medición de dióxido de carbono (MQ 135) y temperatura- humedad relativa (DHT22) compatibles con la placa Raspberry Pi (Mechatronics, 2016).

Los datos obtenidos fueron guardados en una micro sd donde posteriormente se realizó su análisis estadístico mediante el software R versión 3.6.2.

8.2.1 Toma de datos

La toma de datos de las emisiones se obtuvieron de acuerdo a los manuales del Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA), mediante el uso de un dispositivo de monitoreo ambiental automático a una altura de 2 metros de manera continua (Figura 11).



Figura 11. Toma de datos con uso del dispositivo de monitoreo de calidad del aire.

8.3 Correlación de las variables de temperatura y humedad relativa con el Dióxido de Carbono

Para llevar a cabo la correlación de las variables de temperatura y humedad relativa con el dióxido de carbono con los datos obtenidos mediante los sensores DHT22, se empleó el software R.

Esto para poder determinar la relación existente entre dichas variables.

8.4 Comparación de los datos obtenidos con los niveles permisibles sugeridos por la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA)

Las concentraciones de dióxido de carbono registradas mediante el dispositivo de monitoreo de calidad del aire se compararon con los niveles permisibles sugeridos por la Administración de

Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA), esto debido a que en México no existe una NOM que indique los niveles permisibles sugeridos a los cuales puedan estar expuestos las personas.

8.5 Diseño experimental

La escala de representatividad del monitoreo es de tipo vecindario o local, esto debido a que la fuente más probable de contaminación se encuentra en un rango estimado entre los 500 m a 4 km del punto donde se llevarán a cabo los muestreos.

Se empleó la técnica de muestreo Aleatorio Simple esto para que la selección de las muestras n de la 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.

Para la obtención del número de sitios de medición, la zona se dividió nuevamente en base a la distribución de los contaminantes.

Para la medición y captura de datos se llevada a cabo en los cuatro tratamientos (P1, P2, P3 y P4), se obtuvieron 24 datos/ h por tratamiento, posteriormente se tomó un dato por cada diez minutos; es decir, seis datos/ h por cada tratamiento. Este proceso acorde a la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SSA1-1993 (cabe recordar que no existe una Norma Oficial Mexicana para la medición de la calidad del aire con respecto al dióxido de carbono por lo que tomó en consideración más cercana en cuanto tipo de gas contaminante, siendo el monóxido de carbono la de mayor similitud), donde nos menciona que se deben de tomar al menos tres datos por hora en cada punto de muestreo.

8.6 Técnicas de muestreo

El método de muestreo a emplear fue el método automático, para posteriormente realizar un muestreo aleatorio simple donde se determinó como punto cero a la ciudad industrial Bruno Pagliai.

Los muestreos se realizaron durante tres días seguidos en los meses de abril y octubre donde se puede observar en la Tabla 10 la característica de dichos meses (WeatherSpark, 2019).

Tabla 10. Características de los meses abril y octubre

Mes	Características
Abril	Aumento de temperatura entre los 30 °C y 35 °C, nubosidad aumenta entre los 30 % a 38 %. Precipitación aumenta entre 13 % y 16 %. Promedio de lluvia 35 milímetros. La humedad relativa ronda entre 82 % y 94 %. Mientras que la velocidad y dirección del viento oscila entre los 14.8 km/ h y 13.6 km/ h con dirección predominante al este.
Octubre	Disminución de temperatura entre los 19 °C y 33 °C. La nubosidad disminuye de 77 % al 52 %. Del mismo modo la precipitación disminuye entre 62 % y 35 %. El promedio de lluvia disminuye de 221 mm a un promedio entre 82 mm y 23 mm. De igual manera, la humedad disminuye de 97 % a 84 %. Mientras que la velocidad de viento aumenta de 14.5 km/ h a 15.7 km/ h con dirección predominante hacia el Norte.

Muestreo del mes de abril los días del 25, 26 y 27 (tres repeticiones):

Muestras obtenidas con base en la SINAICA:

- 6 datos en el Punto 1;
- 6 datos en el Punto 2;
- 6 datos en el Punto 3; y
- 6 datos en el Punto 4.

Teniendo un total de 24 datos seleccionados entre los 4 tratamientos, donde se realizará una muestra de media por cada punto de muestreo.

Muestreo mes de octubre los días del 5, 6 y 7 (tres repeticiones):

Muestras obtenidas:

- 6 datos en el Punto 1;
- 6 datos en el Punto 2;
- 6 datos en el Punto 3; y
- 6 datos en el Punto 4.

Teniendo un total de 24 datos seleccionados entre los 4 tratamientos, donde se realizará una muestra de media por cada punto de muestreo.

8.6.1 Muestreo

De acuerdo con la SINAICA (2018), un muestreo de la calidad del aire es la medición de la contaminación existente en el aire, esto se lleva a cabo mediante la toma de muestras de manera continua. La muestra obtenida se determina la concentración de contaminantes para posteriormente ser sometida a un análisis y caracterización.

El método que se empleó es el automático lo cual nos permite obtener mediciones de forma continua y en tiempo real. Los muestreos se realizaron en el fraccionamiento El Cortijo tomando en cuenta los manuales de la SINAICA en donde los puntos elegidos a muestrear fueron aleatorios simples para la selección de muestras n de la población finita N sin considerar la fuente del contaminante, para que cada muestra tenga la misma oportunidad de ser elegida, la altura a donde se obtuvo la medición fueron de dos metros.

Los puntos donde se tomaron las mediciones se seleccionaron de manera aleatoria teniendo como características:

- Punto 1 (19.156362,-96.221350). Se encuentra al inicio del fraccionamiento El Cortijo, donde se puede constatar una alta actividad antropogénica y de paso de vehículos (Figura 12).
- Punto 2 (19.1547521,-96.2210647). Este punto es una zona de casas de interés social en el cual podemos encontrar un taller de motos y circulan un aproximado de 5 vehículos por minuto, no hay presencia de fogones ni quema de madera o carbón, se encuentra localizado aproximadamente 150 metros de distancia de la calle principal del fraccionamiento el cortijo (Figura 13).
- Punto 3 (19.152886, -96.221368). Se encuentra ubicado en una zona donde existe ligero paso vehicular contando un estimado de 8 vehículos/ min y se puede observar la presencia de fogones de leña y abundante vegetación (Figura 14).
- Punto 4 (19.1518809,-96.2239052). Este punto se encuentra en las afueras del fraccionamiento El Cortijo, el paso de vehículos se pudo contabilizar un aproximado de 3 vehículos por minuto y las actividades antropogénicas como son el uso de leña y carbón fue nula en comparación con los puntos mencionados anteriormente; a 50 metros de distancia se encuentra localizado una pequeña área verde (Figura 15).



Figura 12. Muestreo en el punto 1
(19.156362,-96.221350)



Figura 13. Muestreo en el punto 2
(19.1547521,-96.2210647)



Figura 14. Muestreo en punto 3
(19.152886, -96.221368)



Figura 15. Muestreo en punto 4
(19.1518809,-96.2239052)

8.7 Análisis estadístico de los datos

Para el análisis estadístico se utilizó el software estadístico R versión 3.6.2 donde se realizaron las siguientes pruebas estadísticas:

- La prueba de normalidad se realizó para poder determinar si los datos siguen o no una distribución normal. Donde un nivel de significancia (denotado como α o alfa) de 0.05 indica un riesgo de 5 % que los datos no siguen una distribución normal, cuando los datos si siguen una distribución normal.

Cuando el valor p es menor que o igual ($p \leq \alpha$) al nivel de significancia, los datos no siguen una distribución normal por lo que se rechaza la hipótesis nula.

Si el valor de p es mayor que ($p > \alpha$) el nivel de significancia, no se puede concluir que los datos no siguen una distribución normal por lo que la hipótesis nula no se puede rechazar.

- La gráfica de cajas se realizó para obtener la distribución de la muestra y la variabilidad de los datos, así como también nos permite identificar los valores atípicos. Estos valores atípicos son los valores de datos que se encuentran muy distantes de otros valores, los cuales pueden afectar los resultados de los análisis. Cuando el tamaño de la muestra (número de observaciones) es grande, se tiene más certeza para detectar un valor atípico.
- Se realizó una prueba de t de student para poder determinar si existen diferencias significativas entre las muestras con un nivel de confianza de 95 %. Si existe diferencia significativa, se procede a realizar un análisis de varianza para posteriormente realizar una prueba de ANOVA. En caso de no existir diferencia significativa el análisis estadístico se da por finalizado.
- Se graficó la interacción de las medias muestrales existentes para poder comparar las diferencias significativas existentes de dióxido de carbono en cada uno de los tratamientos.
- Posteriormente se llevó a cabo una correlación de Pearson de las variables dióxido de carbono, temperatura y humedad relativa para determinar si existe una correlación positiva o negativa entre dichas variables. Esta correlación mide tanto la fuerza como la dirección de la relación lineal entre dos variables; donde los valores de correlación se pueden ubicar entre - 1 y + 1.

Es decir, si las dos variables tienen a aumentar o disminuir al mismo tiempo, el valor de la correlación es positivo; si una variable aumenta mientras la otra variable disminuye, el valor de correlación es negativo.

- La gráfica de dispersión se realizó para poder evaluar visualmente la relación existente entre las variables correlacionadas.

9 RESULTADOS

Se realizaron cuatro repeticiones por cada día muestreado en puntos diferentes de una hora cada uno. El dispositivo registró un dato por minuto. Se eligió un dato cada diez minutos, teniendo como resultado seis datos por cada punto y un total de 24 datos en un día. Todos los muestreos se realizaron en un mismo horario; comprendido entre las 10:00 – 14:00 h.

9.1 Monitoreo del mes de abril de 2019

❖ Monitoreo 25 de abril del 2019

Las condiciones ambientales oscilaron con una temperatura entre los 27.1 y 28.6 °C; la humedad relativa rondó entre el 77.1 % y 83.1 % (Figura 16) mientras que las concentraciones de dióxido de carbono registradas fueron entre 397.93 ppm y 1703.31 ppm; la velocidad de viento fue de 46.3 km/ h.

❖ Monitoreo 26 de abril de 2019

La temperatura se mantuvo entre los 25.40 y los 28.20 °C con una humedad entre 76. 90 % y 90.30 % (Figura 17). Mientras que las concentraciones de dióxido de carbono rondaron entre las 450 ppm y las 1 163.55 ppm con una velocidad de viento de 31.5 km/ h.

❖ Monitoreo 27 de abril 2019

La temperatura varió entre los 26.60 y los 29.60 °C con una humedad entre los 55.40 % y 59.90 % respectivamente, la velocidad del viento registrada fue de 24.1 km/ h, las concentraciones de dióxido de carbono registradas rondaron entre los 142.11 ppm y las 436.63 ppm (Figura 18).

Posteriormente se realizó la prueba de normalidad (Figura 19) con los datos obtenidos para determinar si los datos siguen o no una distribución normal, se observó que no se siguen una distribución normal, por lo cual se realizó una prueba de transformación de Johnson (Figura 20) con el programa estadístico R versión 3.6.2.

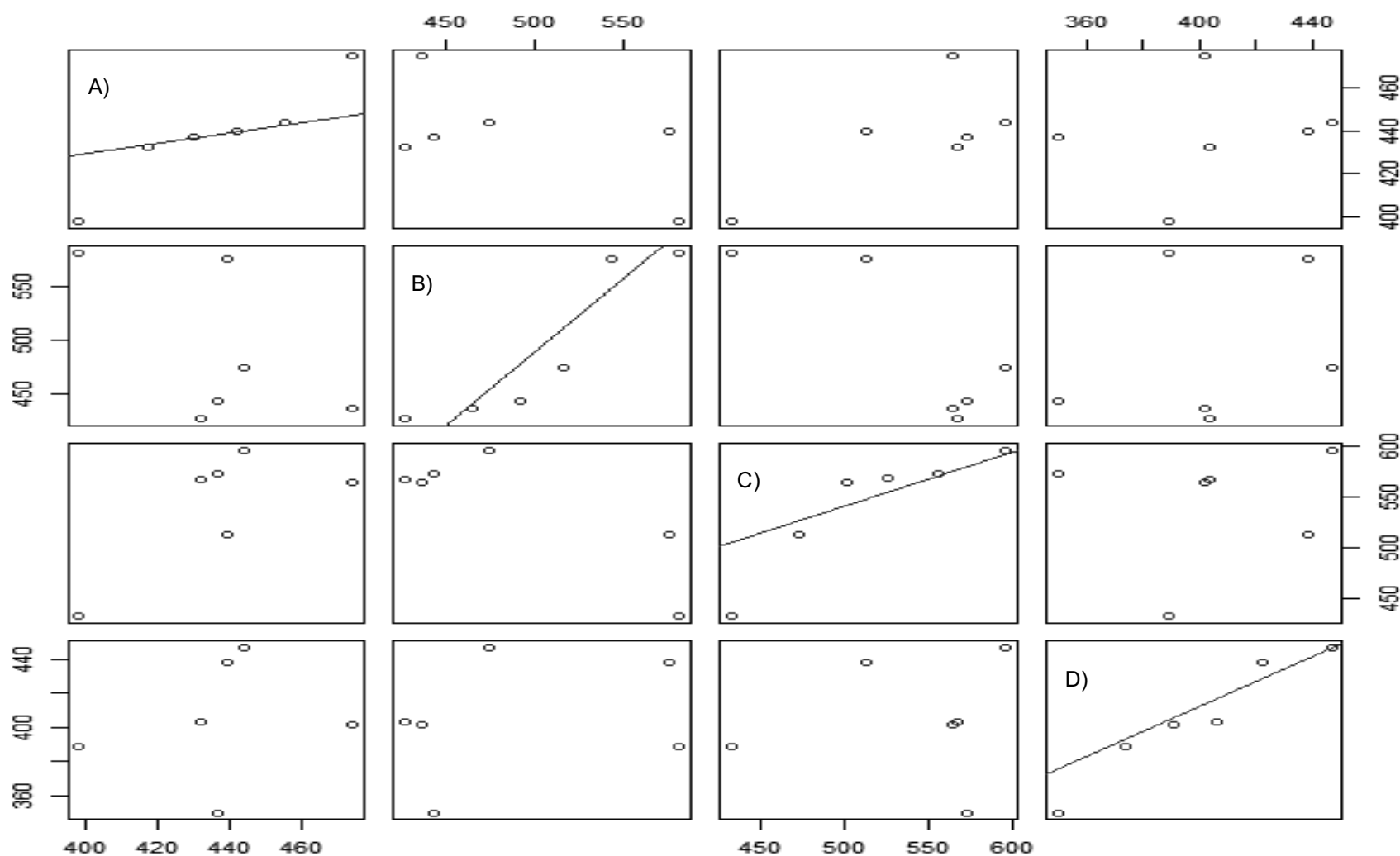


Figura 16. Datos obtenidos por puntos el 25 de abril de 2019 de las concentraciones del Dióxido de Carbono, donde P1 (A), las concentraciones obtuvieron una mínima de 397.93 y una máxima de 474.54 ppm; P2 (B) presentó una máxima de 581.67 y una mínima de 426.68 ppm; P3 (C) registró una máxima de 596.41 y mínima de 432.39 ppm; y P4 (D) registró una mínima de 388 ppm y una máxima de 446.99 ppm

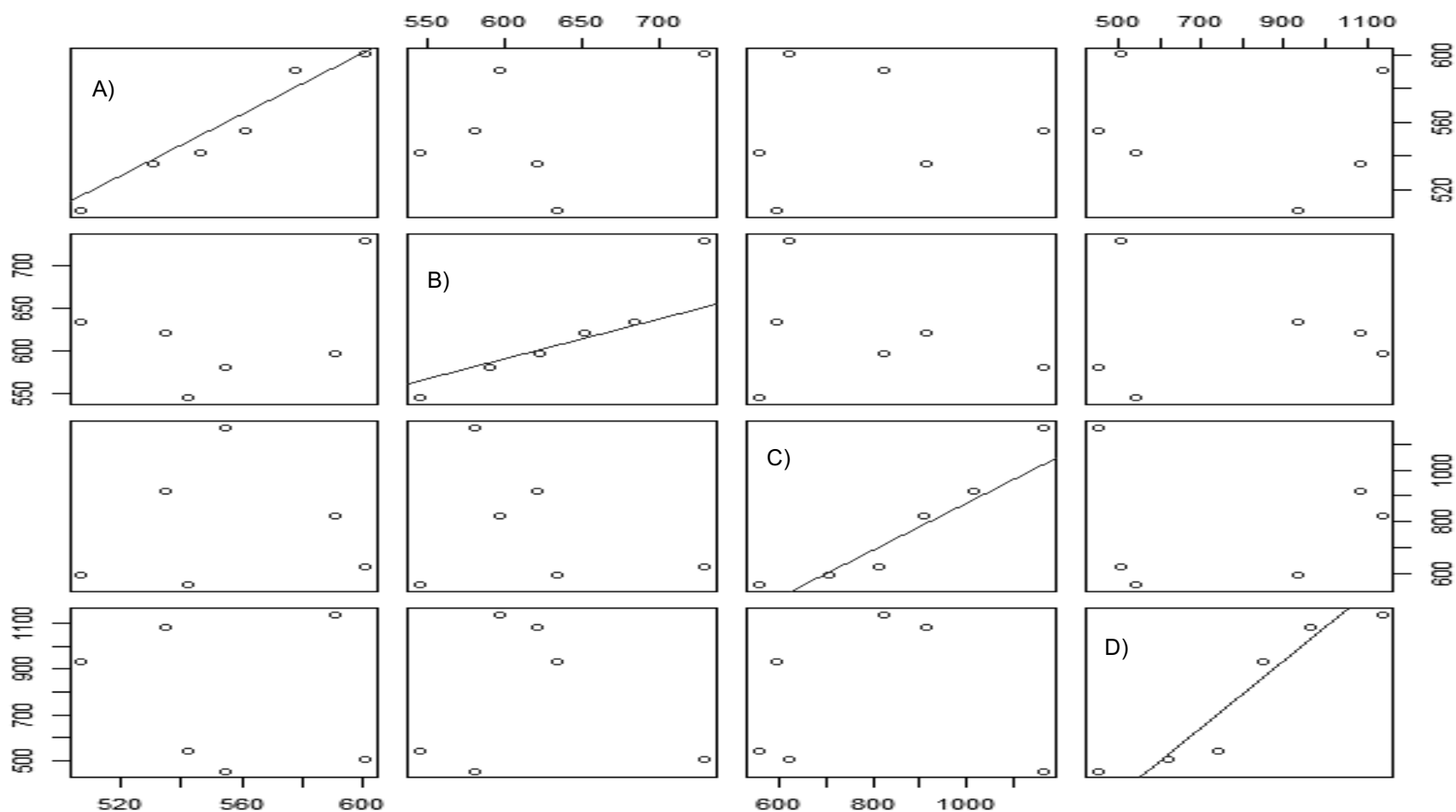


Figura 17. Concentraciones de Dióxido de Carbono por cada punto de muestreo el 26 de abril de 2019, donde P1 (A) registró una máxima de 600. 76 ppm y una mínima de 541 ppm; el P2 (B) registró una máxima de 728. 40 y una mínima de 545. 58 ppm; el P3 (C) con una máxima de 1 163. 55 y una mínima de 556. 57 ppm; el P4 (D) registró una mínima de 451. 47 y una máxima de 1 136. 81 ppm

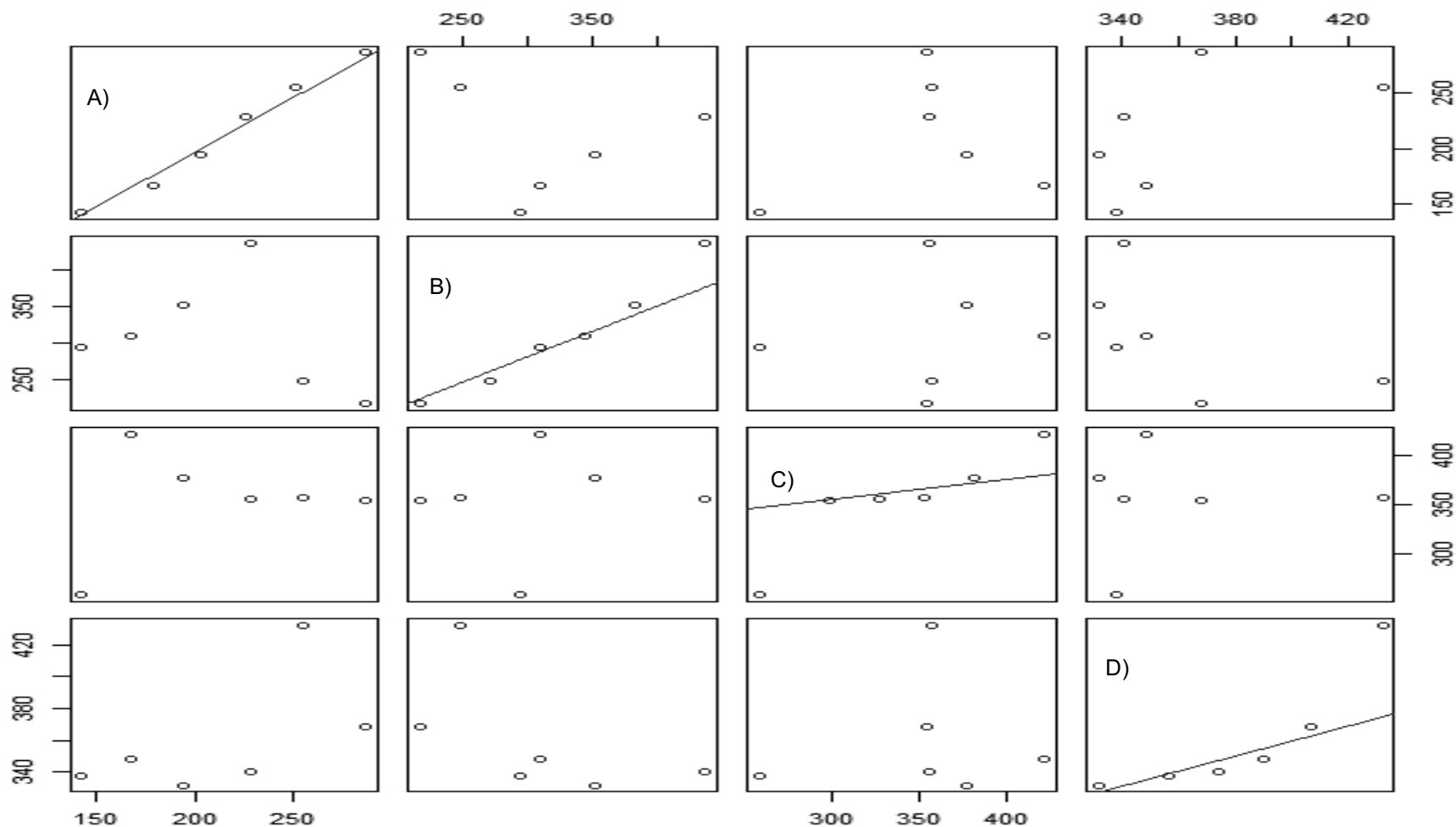


Figura 18. Concentraciones de Dióxido de Carbono por cada punto de muestreo del día 27 de abril de 2019, donde los valores registrados para el P1 (A) se obtuvo un valor máximo de 287.06 y un mínimo de 142.11 ppm. Para P2 (B), se registró una máxima concentración de 436.63 y una mínima de 216.45 ppm; Para P3 (C) la concentración máxima fue de 421.20 ppm y la mínima de 258.40 ppm. El P4 (D) con un máximo de 432.42 y la mínima de 331.51 ppm

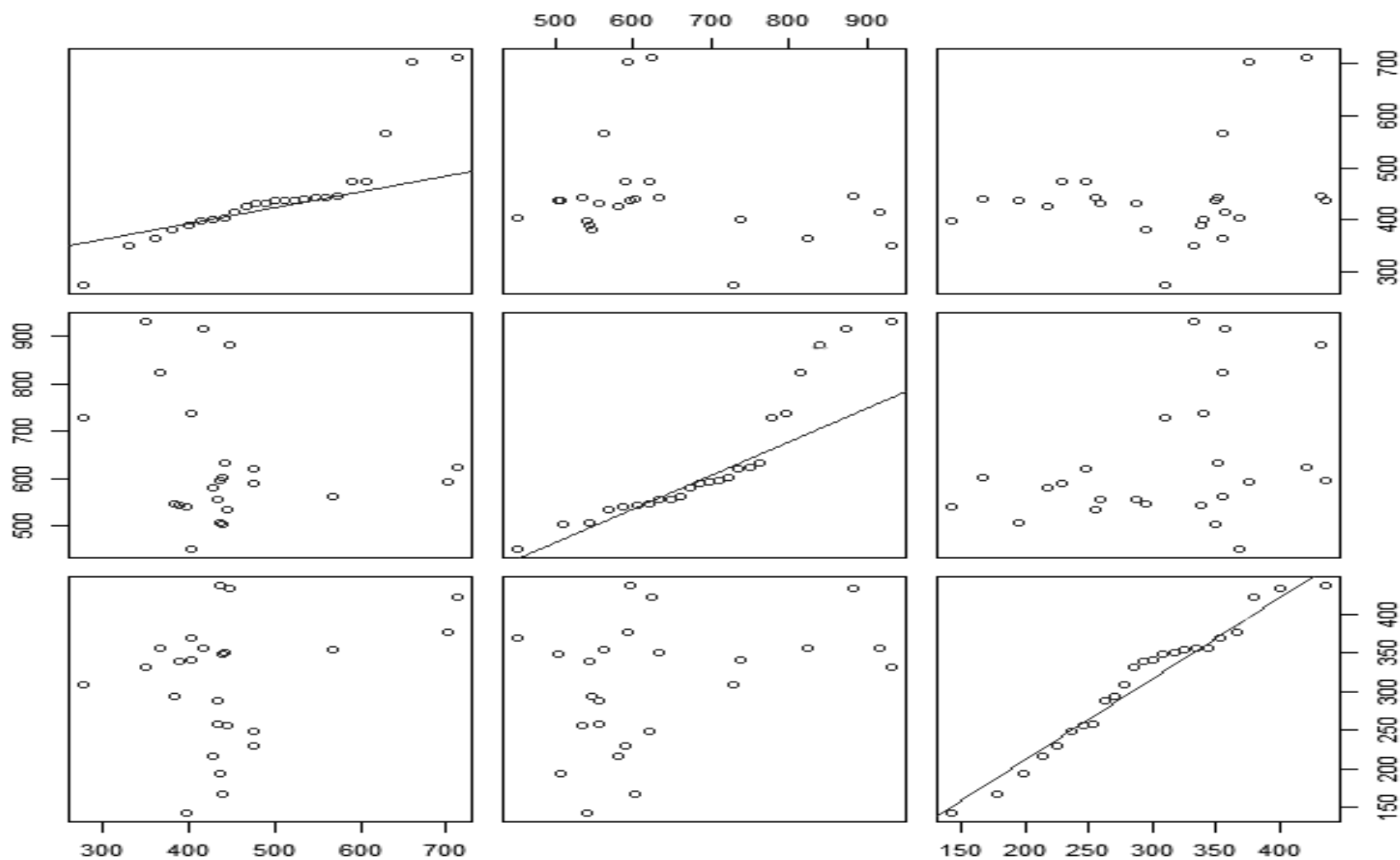


Figura 19. Prueba de Normalidad de la variable CO₂ del mes de abril de 2019, en donde se puede observar que los datos obtenidos no presentan una distribución normal

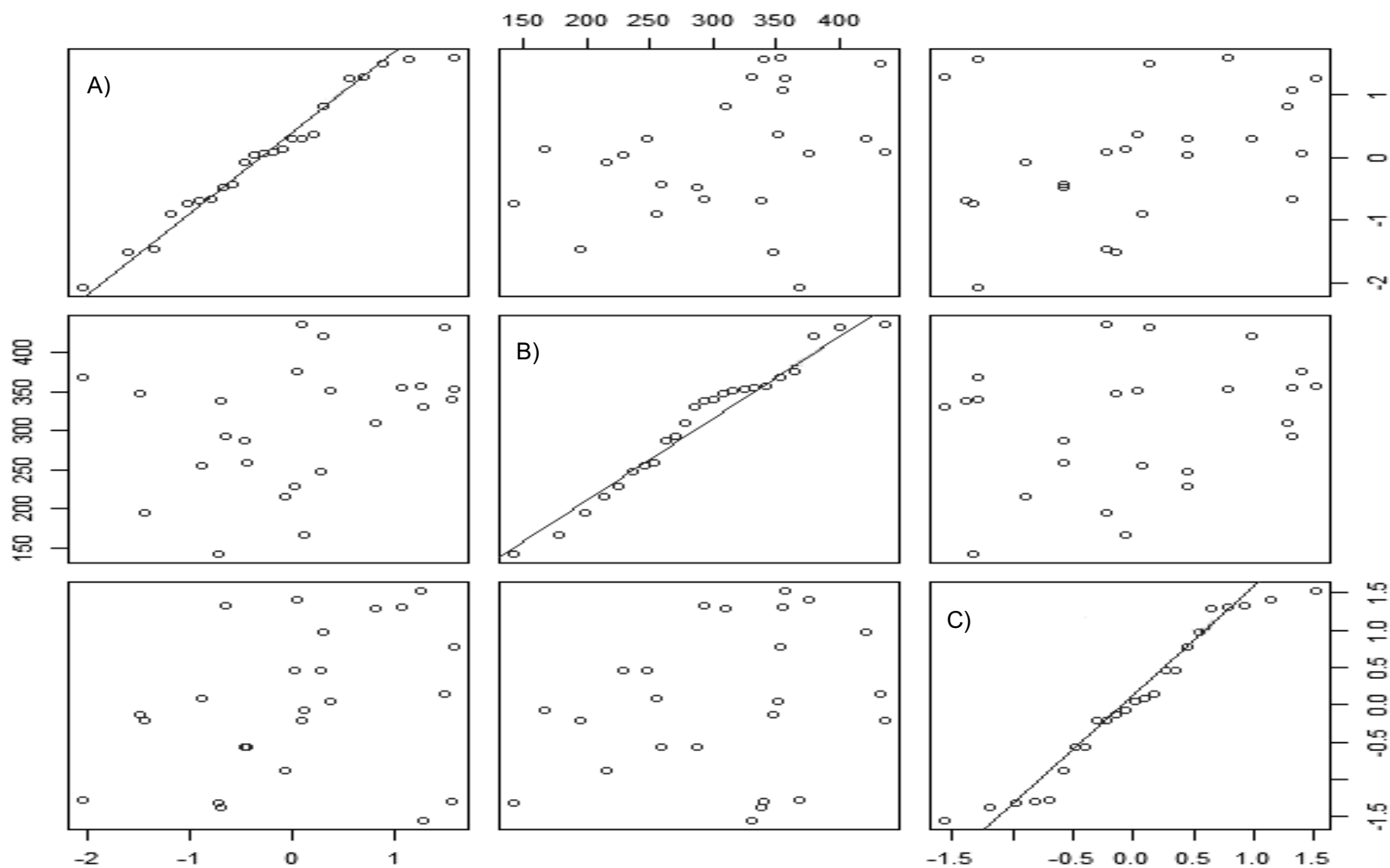


Figura 20. Datos transformados del CO₂ mediante el método de Johnson, donde A) corresponden al día 25 de abril, B) al 26 de abril y C) al 27 de abril; en los tres días se observa una distribución normal de los datos.

9.2 Monitoreo del mes de octubre de 2019

El muestreo se realizó los días cinco, seis y siete de octubre del 2019 en un mismo horario; comprendido entre las 10:00 – 14:00 h. Siguiendo el mismo procedimiento realizado durante el mes de abril.

❖ Monitoreo de 5 de octubre de 2019

Se realizó la toma de datos en los cuatro puntos de muestreo, donde los parámetros de las variables ambientales de temperatura oscilaron entre los 30.70 °C y 32.60 °C, la humedad registrada fue entre los 29.20 % y 41.20 % con una velocidad del viento de 25.9 km/ h; mientras que la concentración de dióxido de carbono registrada se mantuvo entre los 201.05 ppm y 424. 32 ppm (Figura 21).

❖ Monitoreo 6 de octubre de 2019

Se presentó una temperatura que rondó entre los 30.30 °C y los 32.50 °C con una humedad máxima de 50 % y una mínima de 38 % donde la velocidad del viento fue de 33.3 km/ h y las concentraciones de dióxido de carbono con una mínima de 310.84 ppm y una máxima de 423.88 ppm (Figura 22).

❖ Monitoreo 7 de octubre de 2019

Como se puede observar en la Figura 23, la temperatura presentó una máxima de 28.80 °C y una mínima de 26.90 °C, la humedad que se presentó fue con una máxima de 86.10 % y una mínima de 77.90 % con una velocidad del viento de 33.3 km/ h y las concentraciones de dióxido de carbono que se presentaron con una máxima de 1140. 59 ppm y la mínima de 338.16 ppm.

Se realizó la prueba de distribución de normalidad (Figura 24) de los datos obtenidos durante los tres días de monitoreo para determinar si los datos siguen una o no una distribución normal. Al no existir una distribución normal, se procedió a realizar una prueba de transformación de Johnson (Figura 25).

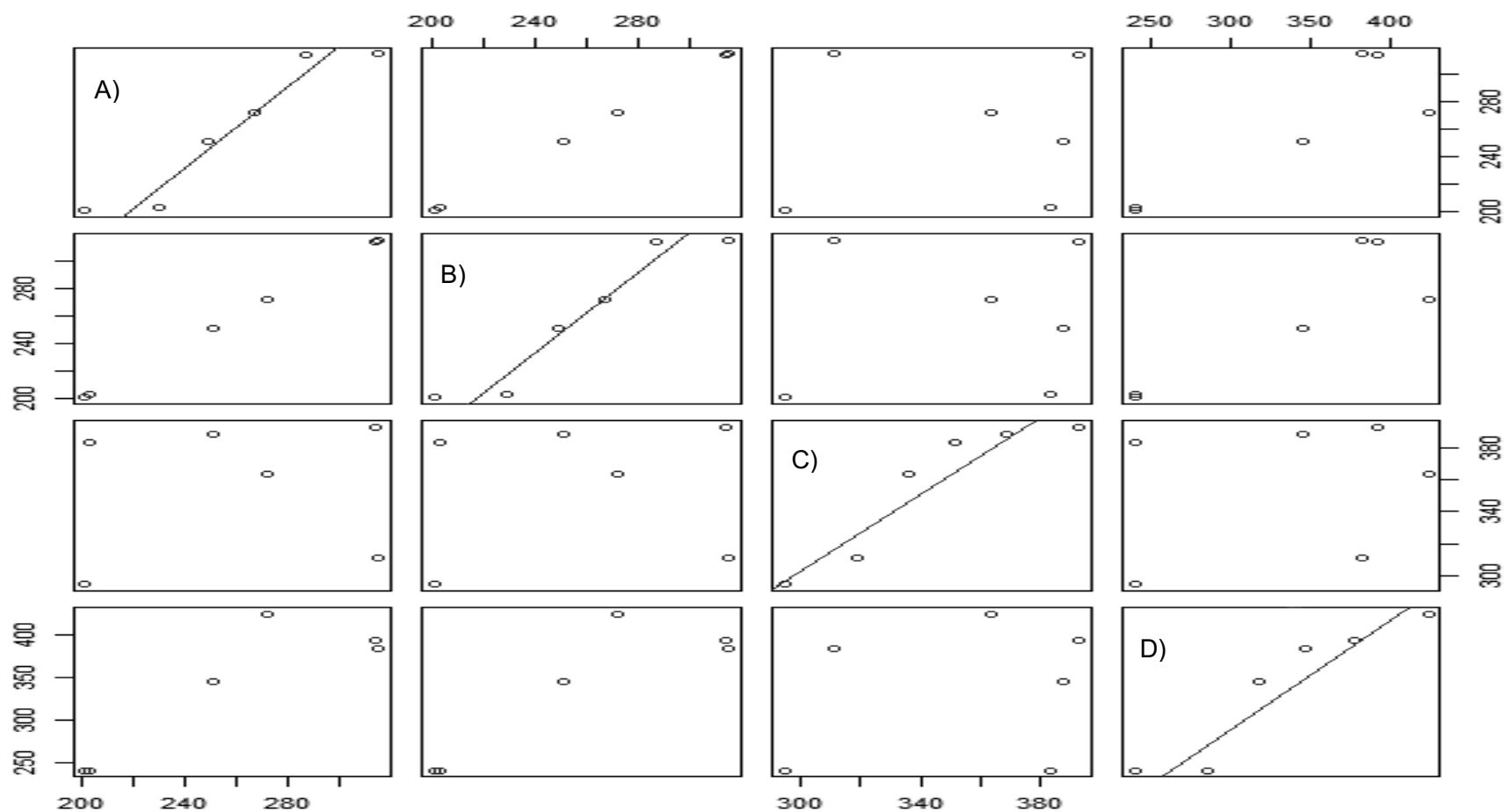


Figura 21. Datos obtenidos por cada punto de muestreo del día 05 de octubre 2019, donde los valores registrados para el P1 (A) se obtuvo un valor máximo de 315. 06 y un mínimo de 201. 05 ppm. Para P2 (B), se registró una máxima concentración de 315. 06 y una mínima de 201. 05 ppm; Para P3 (C) la concentración máxima fue de 392. 96 y la mínima de 294. 64 ppm. El P4 (D) con un máximo de 424. 32 y la mínima de 240. 78 ppm

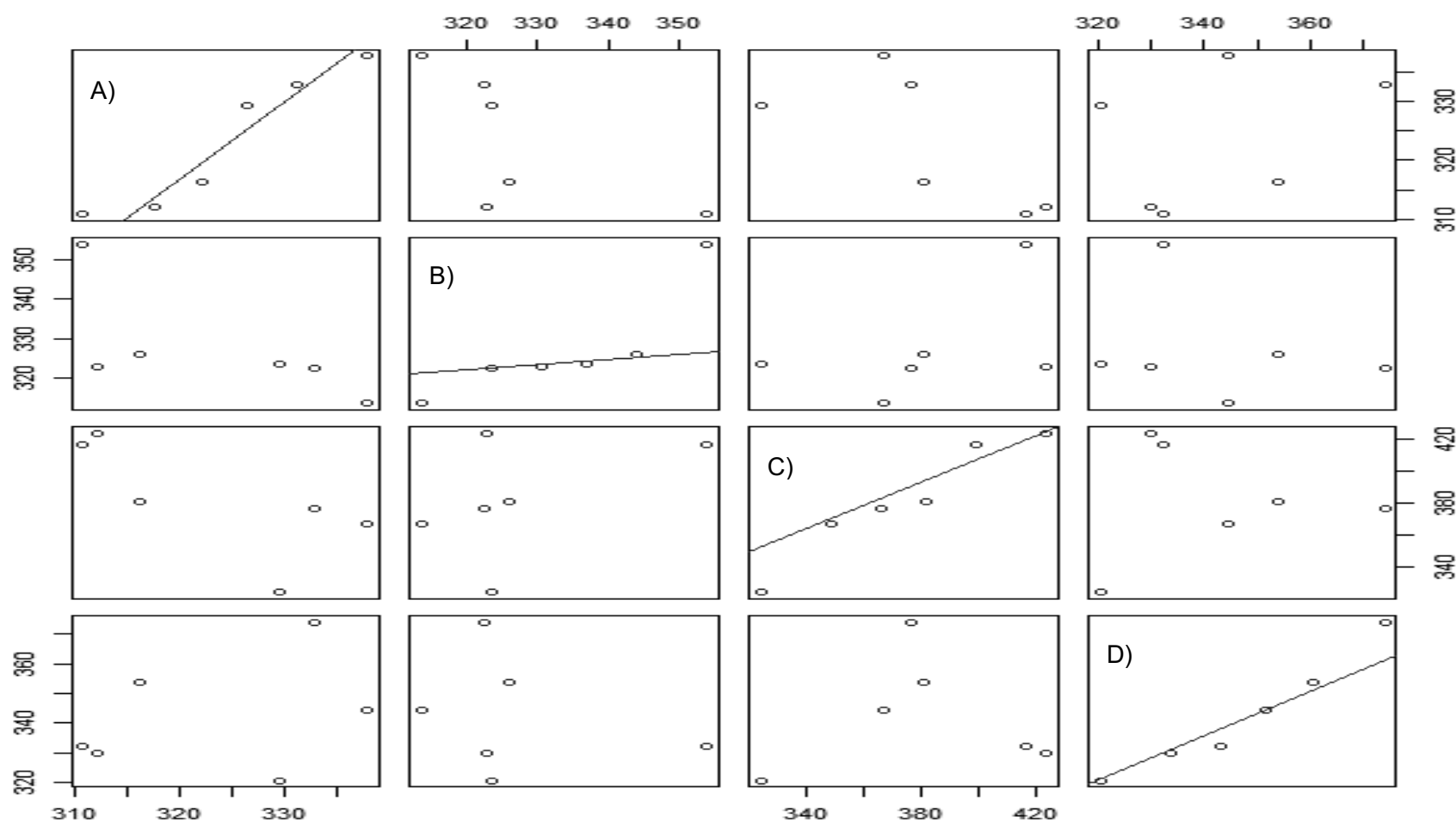


Figura 22. Datos obtenidos por día 06 de octubre 2019. Donde los valores registrados para el P1 (A) se obtuvo un valor máximo de 337.78 y un mínimo de 310.84 ppm. Para P2 (B), se registró una máxima concentración de 353.78 y una mínima de 313.78 ppm; Para P3 (C) la concentración máxima fue de 423.88 y la mínima de 324.27 ppm. El P4 (D) con un máximo de 374.06 y la mínima de 320.50 ppm

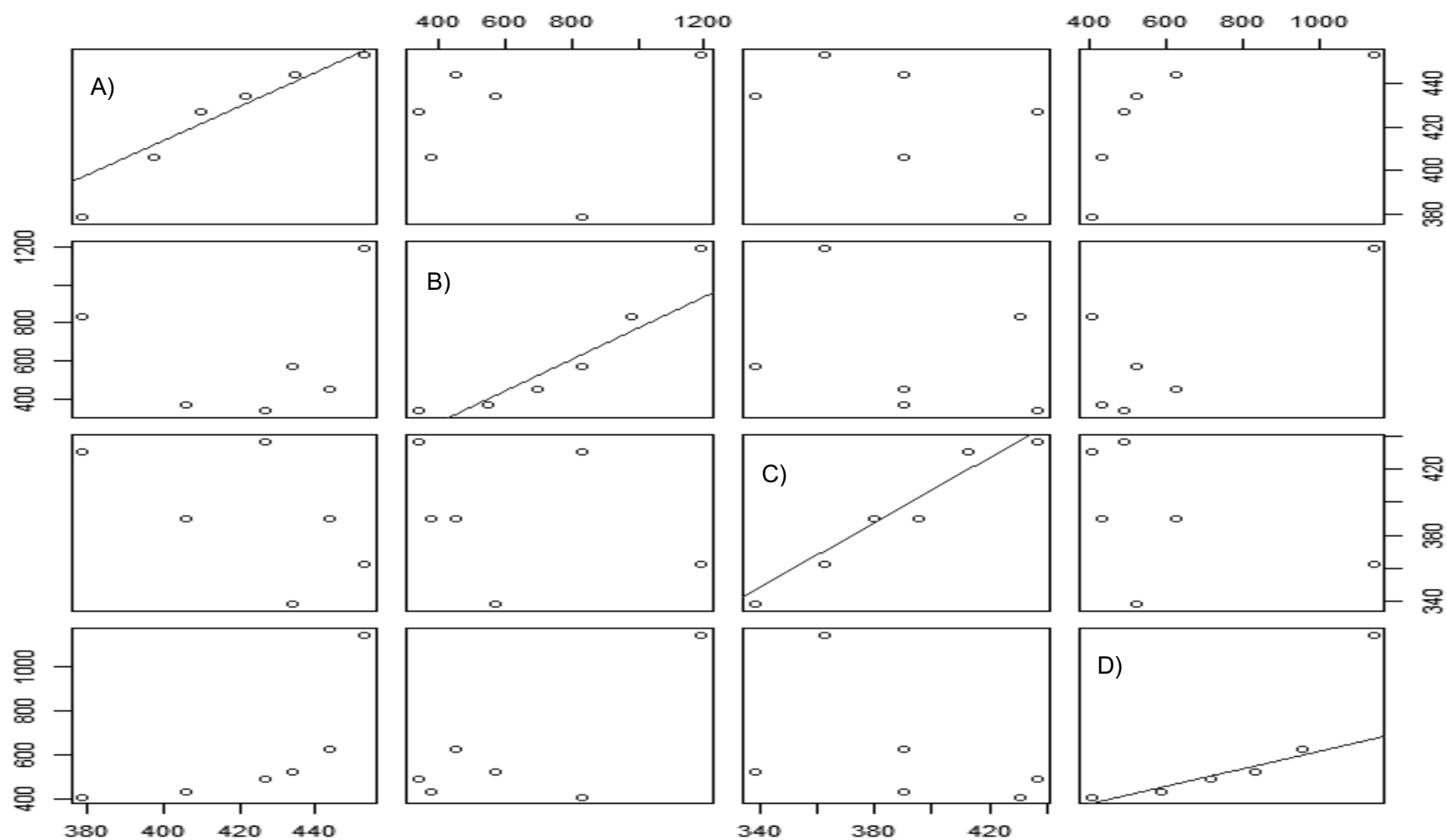


Figura 23. Datos obtenidos por día 7 de octubre 2019. Donde los valores registrados para el P1 (A) se obtuvo un valor máximo de 452. 97 y un mínimo de 378. 59 ppm. Para P2 (B), se registró una máxima concentración de 1 190. 93 y una mínima de 338. 16 ppm; Para P3 (C) la concentración máxima fue de 436. 72 y la mínima de 338. 16 ppm. El P4 (D) con un máximo de 1 140. 59 y la mínima de 405. 94 ppm

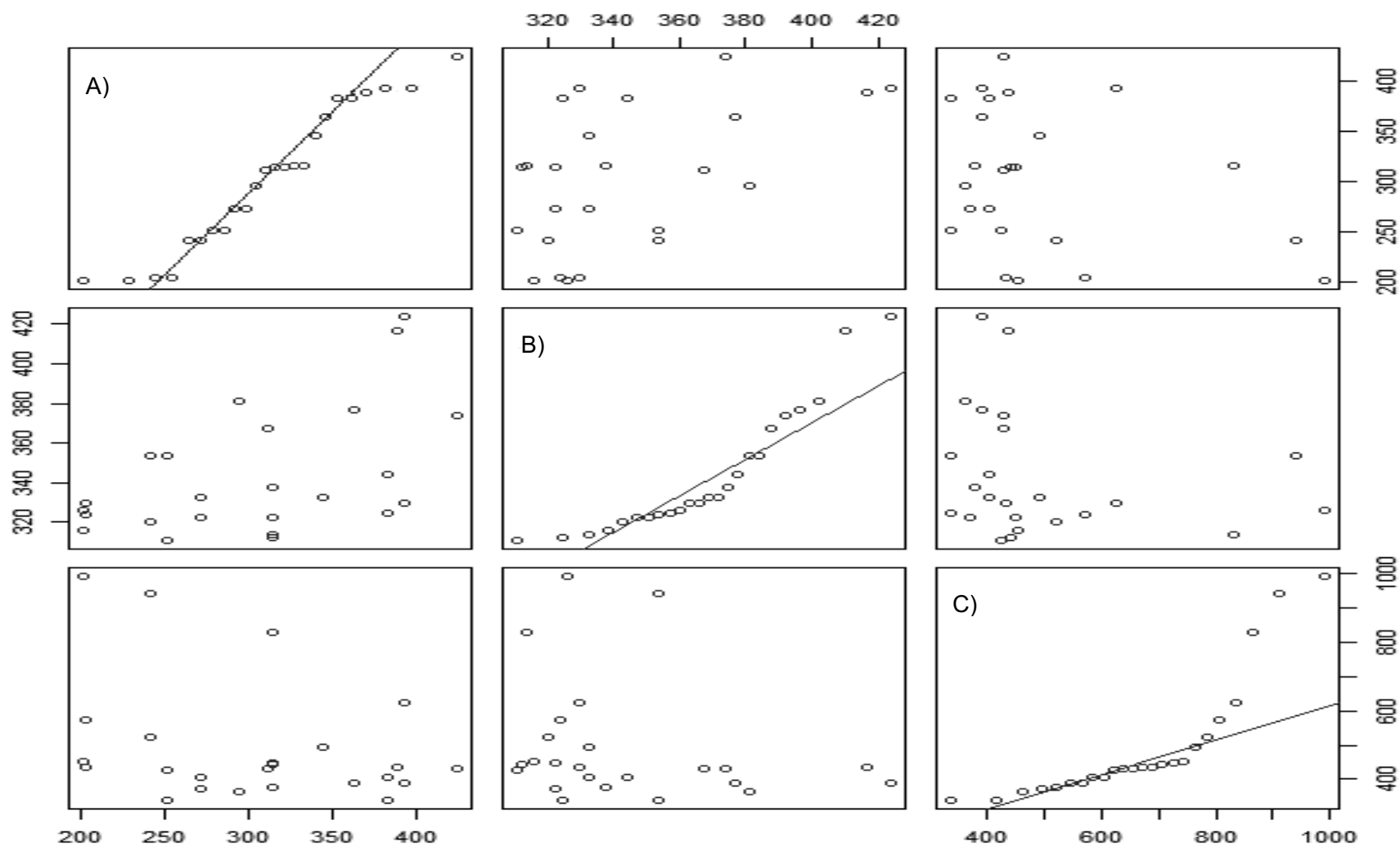


Figura 24. Prueba de normalidad del mes de octubre del 2019. Donde A) corresponde al día 05 de octubre; B) para el 06 de octubre y C) corresponde al 07 de octubre. Se observa que los datos obtenidos no presentaron una distribución normal

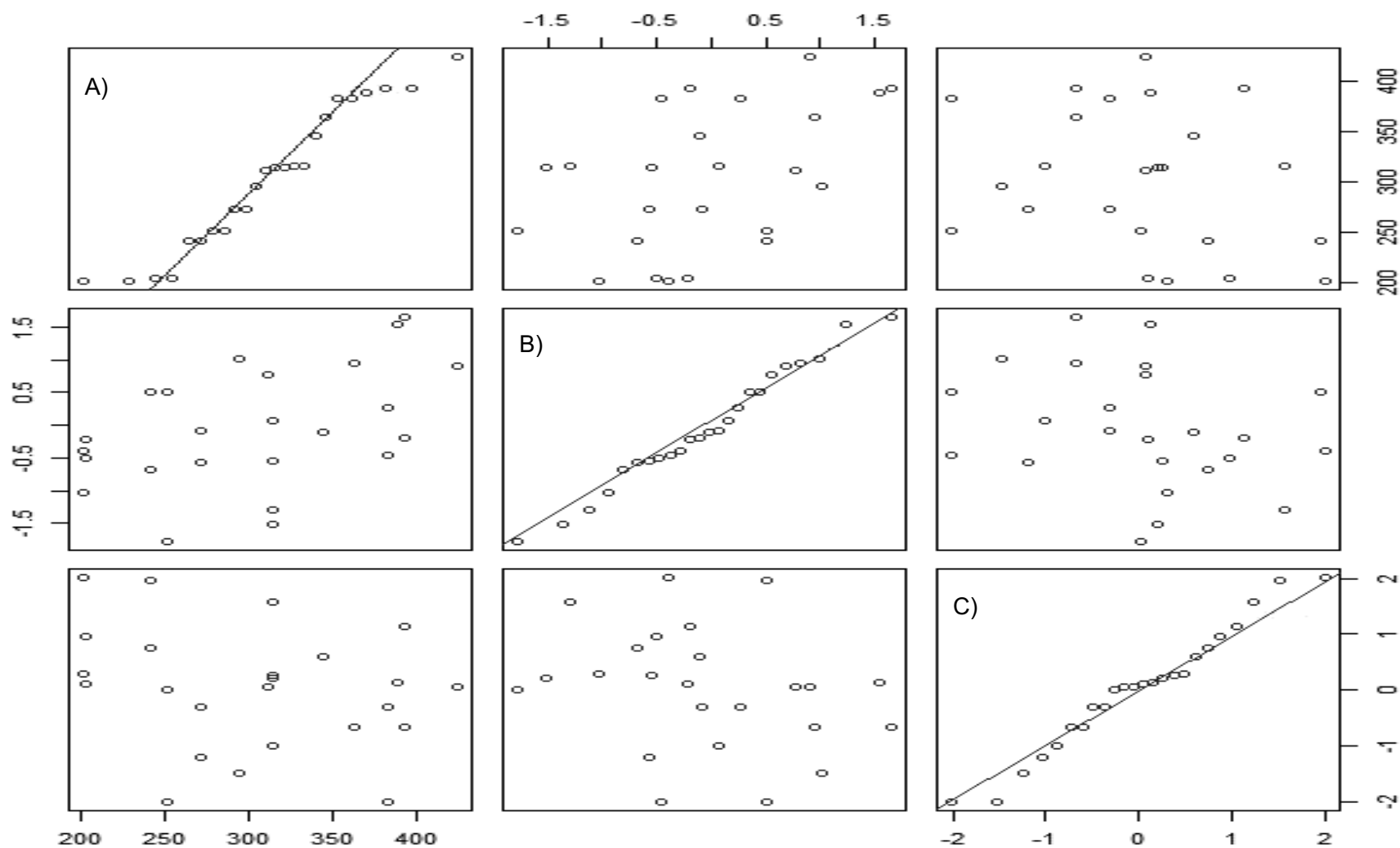


Figura 25. Datos transformados del CO₂ mediante el método de Johnson. Donde A) corresponde al día 05 de octubre; B) para el 06 de octubre y C) corresponde al 07 de octubre. Se observa que los datos obtenidos no presentaron una distribución normal

9.3 Tratamiento estadístico

Una vez que se obtuvo los datos se procede a realizar el tratamiento estadístico de cada punto por día y por mes donde corroboró que tuvieran una distribución normal, al no existir se procede realizar la prueba de transformación de Johnson para corroborar la distribución normal de los datos; posteriormente se procedió a realizar el tratamiento estadístico donde para cada punto se realizó la prueba de ANOVA y para los meses se realizó la prueba de t de Student.

❖ 25 de abril de 2019

En la Tabla 11 se muestra el análisis de varianza, resumen de modelo y las medias de las concentraciones de dióxido de carbono de cada punto de muestreo.

Tabla 11. Análisis de Varianza por puntos del día 25 de abril

Fuente	GL	Valor F	S	Factor	N	Media	Desv. Est.	IC de 95 %
Factor	3	4. 03	449. 649	P1	6	437.5	24. 5	(54. 6, 820. 5)
Error	20	Valor P	R- cuad.	P2	6	740	458	(357, 1 123)
Total	23	0.022	37. 66 %	P3	6	1200	773	(817, 1 582)
Desv. Est. agrupada	449. 647			P4	6	404. 8	35. 2	(21. 9, 787. 7)

Donde se obtuvo una media en el P1 de 437. 5, P2= 740; P3= 1 200, P4= 404. 8 con un índice de confianza del 95 %.

❖ 26 de abril de 2019

En la Tabla 12 se muestra el análisis de varianza, resumen de modelo y las medias de las concentraciones de dióxido de carbono de cada punto de muestreo del día 26 de abril.

Obteniendo una media de 555. 0 para el P1, 617. 7 para el P2, 779. 3 para el P3 y 775 para el P4 con un índice de confiabilidad del 95 %.

Tabla 12. Análisis de Varianza por puntos del día 26 de abril

Fuente	GL	Valor F	S	Factor	N	Media	Desv. Est.	IC de 95 %
Factor	3	1. 96	197. 974	P1	6	555. 0	35. 3	(386. 5, 723. 6)
Error	20	Valor P	R- cuad.	P2	6	617. 7	62. 4	(449. 2, 786. 3)
Total	23	0. 153	22. 68 %	P3	6	779. 3	235. 4	(610. 7, 947. 9)
Desv. Est. agrupada	197. 974			P4	6	775	310	(606 , 943)

❖ 27 de abril de 2019

En la Tabla 13 se muestra los datos obtenidos por la ANOVA de cada punto del día 27 de abril de las concentraciones de dióxido de carbono.

Tabla 13. Análisis de Varianza por puntos del día 27 de abril

Fuente	GL	Valor F	S	Factor	N	Media	Desv. Est.	IC de 95 %
Factor	3	8. 32	57. 8574	P1	6	212. 4	54. 8	(163. 1, 261. 7)
Error	20	Valor P	R- cuad	P2	6	309. 1	78. 2	(259. 9, 358. 4)
Total	23	0. 001	55. 50 %	P3	6	353. 7	53. 2	(304. 5, 403. 0)
Desv. Est. agrupada	57. 8574			P4	6	359. 8	37. 8	(310.6, 409. 1)

Registrando una media de 212. 4 en el P1, 309. 1 en el P2; 353. 7 en el P3; y 359. 8 para el P4 con un índice de confianza del 95 % y una desviación estándar agrupada de 57. 8574.

❖ 05 de octubre de 2019

En la Tabla 14 se muestran los datos obtenidos por medio del Análisis de Varianza de cada punto de muestreo realizado el día 05 de octubre del 2019.

Tabla 14. Análisis de Varianza por puntos del día 05 de octubre

Fuente	GL	Valor F	S	Factor	N	Media	Desv. Est.	IC de 95 %
Factor	3	4.69	57. 5261	P1	6	259. 5	50. 8	(210. 5, 308. 5)
Error	20	Valor P	R- cuad	P2	6	259. 5	50. 8	(210. 5, 308. 5)
Total	23	0. 012	41. 31 %	P3	6	355. 6	42. 3	(306. 6, 404. 6)
Desv. Est. agrupada	57. 5261			P4	6	337. 8	79. 3	(288. 8, 386. 8)

Donde la media osciló entre los 259. 5 y 355. 6 mientras que la desviación estándar se encontró entre los 42. 3 y los 79. 3 con índice de confiabilidad del 95 %.

❖ 06 de octubre de 2019

Se llevó a cabo el análisis de ANOVA de las lecturas registradas en cada uno de los cuatro puntos del día 06 de octubre del 2019, donde en la Tabla 15 se muestran los resultados obtenidos.

Donde se puede observar que el valor obtenido de la media en P1 contó con el valor menor con 323. 21, mientras que P3 registró el valor mayor con 381. 6; la desviación estándar agrupada fue de 22. 3849 contando con índice de confianza del 95 %.

Tabla 15. Análisis de Varianza por puntos del día 06 de octubre

Fuente	GL	Valor F	S	Factor	N	Media	Desv. Est.	IC de 95 %
Factor	3	8. 53	22. 3849	P1	6	323. 21	11. 54	(304. 15, 342. 27)
Error	20	Valor P	R- cuad	P2	6	327. 09	13. 72	(308. 02, 346. 15)
Total	23	0. 001	56. 12 %	P3	6	381. 6	36. 2	(362. 6, 400. 7)
Desv. Est. agrupada	22. 3849			P4	6	342. 51	19. 36	(323. 45, 361. 57)

❖ 07 de octubre de 2019

En la Tabla 16 se observan los datos obtenidos mediante el Análisis de Varianza de cada uno de los cuatros puntos del día 07 de octubre del 2019.

Tabla 16. Análisis de Varianza por puntos del día 07 de octubre

Fuente	GL	Valor F	S	Factor	N	Media	Desv. Est.	IC de 95 %
Factor	3	1. 87	215. 590	P1	6	423. 7	27. 3	(240. 1, 607. 3))
Error	20	Valor P	R- cuad	P2	6	625	329	(442, 809)
Total	23	0. 167	21. 91 %	P3	6	391. 4	38. 2	(207. 8, 575. 0)
Desv. Est. agrupada	215. 590			P4	6	603	274	(419, 786)

Donde el valor obtenido en la media registró un valor mínimo de 391. 4 en P3 y un valor máximo en P4 con 603, la desviación estándar agrupada registró un valor de 215. 590.

9.3.1 Prueba t student

Se realizó la prueba para comparar las medias de las concentraciones de dióxido de carbono en los meses de abril y octubre, y poder determinar si existe diferencias significativas de la contaminación registrada en ambos meses. El intervalo de confianza empleado fue del 95 % (Tabla 17).

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 ; H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Dónde : μ_1 : media de CO₂ abril, μ_2 : media de CO₂ octubre

Tabla 17. Resultados de la Prueba t student

Muestra	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para μ	Valor t	Valor p
CO₂ Abril	72	562.0	374.5	44.1	(473.9, 650.0)	12.73	0.000
CO₂ Octubre	72	385.9	163.9	19.3	(347.3, 424.4)	19.97	0.000

Como se observa en la Tabla 17, en los meses de ambos meses existe un error estándar de la media elevado, esto debido a los valores atípicos que se presentaron los días de muestreo (Tabla 12). El valor de p en ambos meses es igual a 0.000, el cual es menor que el nivel de significancia de 0.05; por lo que se concluye que, existe diferencias entre las medias de CO₂ de ambos meses.

La Figura 26 de cajas de los meses de abril y octubre nos muestra los intervalos de confianza de 95 % para la mediana de las concentraciones de dióxido de carbono registradas en los meses de abril y octubre.

En la Tabla 18, se observan los Valores atípicos registrados en los meses de abril y octubre. Donde, en el mes de abril presentó seis valores atípicos, estos representan elevadas concentraciones de dióxido de carbono registradas por el dispositivo siendo la mayor de

2 416.41. Siendo la causa más probable que se registró una quema de pastizal a escasos 150 metros del punto de muestreo. Por el otro lado, el mes de octubre presentó cinco valores atípicos en donde el de valor más alto fue de 1 190.90.

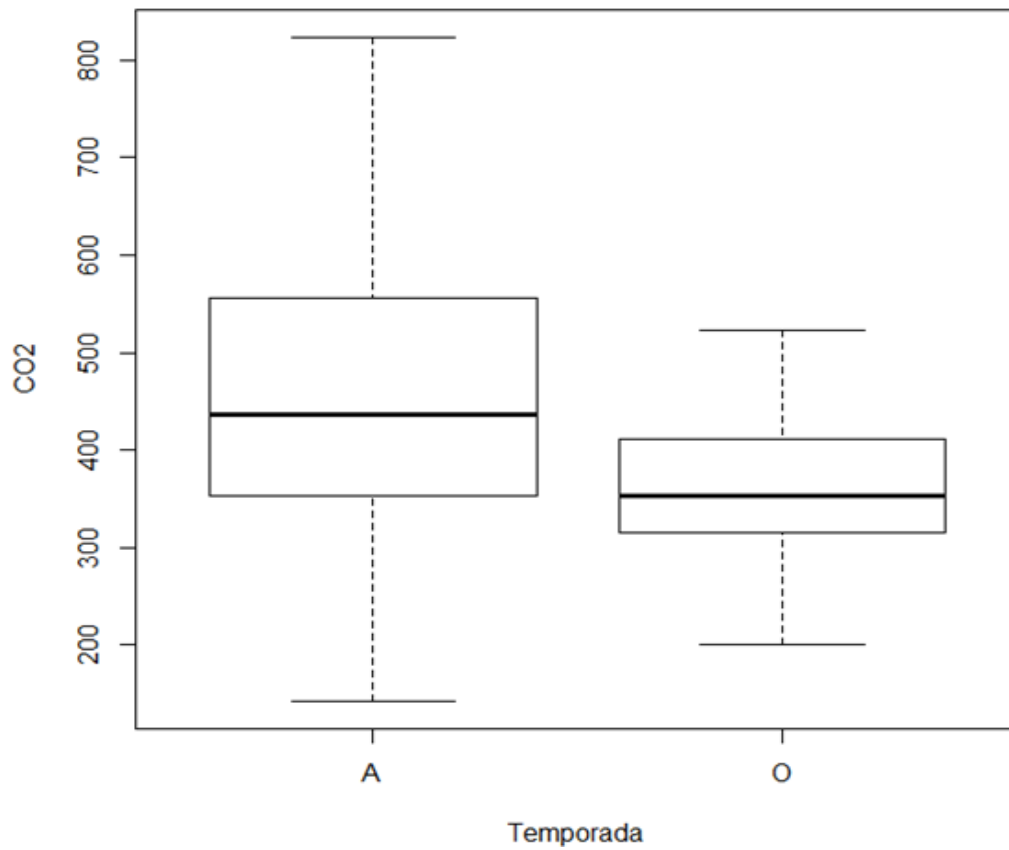


Figura 26. Gráfica de caja de dióxido de carbono de los meses abril (A) y octubre (O).

Tabla 18. Valores atípicos registrados en los meses de abril y octubre

	Valor Atípico abril	Valor Atípico octubre
1	2416.41	1190.93
2	1703.31	1140.59
3	1364.69	829.15
4	1275.80	625.19
5	1136.81	573.46
6	1081.55	

9.3.2 Correlación y dispersión

Se realizó el coeficiente de relación de Pearson para examinar la fuerza existente y la dirección lineal entre las variables temperatura, humedad relativa con las concentraciones de dióxido de carbono existentes durante los meses de abril (Tabla 13 y Figura 27) y octubre (Tabla 14 y Figura 28) en el fraccionamiento El Cortijo.

En la Tabla 19 se observa la correlación existente entre las variables de temperatura, humedad relativa con el dióxido de carbono durante el mes de abril, en el cual la correlación existente entre las variables Dióxido de Carbono y temperatura registró un coeficiente de correlación de Pearson es de 0.090, el valor $p = 0.450$ y el valor de R^2 es de 0.0081. Lo que nos indica que el valor de p es mayor que el nivel de significancia, de 0.05, por lo que no se cuenta con suficiente evidencia para concluir que la correlación es estadísticamente significativa.

Mientras que de los datos obtenidos de la correlación entre las variables CO_2 y humedad relativa se tuvo un valor $R = 0.409$, valor de $p = 0.000$, y un valor de R^2 de 0.167281, lo que nos permite concluir que la correlación existente es estadísticamente significativa.

Por último, tenemos la correlación existen entre la temperatura y la humedad relativa, donde se obtuvo un valor de $R = -0.394$, valor de $p = 0.001$, valor de $R^2 = 0.155236$, lo que nos indica que

la correlación existente entre ambas variables es negativa, es decir, que a medida que la temperatura aumenta la humedad relativa disminuye.

Tabla 19. Correlación de CO₂, temperatura y humedad del mes de abril

		CO₂ Abril	Temperatura Abril
Temperatura Abril	Correlación de Pearson (R)	0.090	1
	Valor de <i>p</i>	0.450	1
	Coeficiente de determinación (R²)	0.0081	1
Humedad Abril	Correlación de Pearson (R)	0.409	-0.394
	Valor de <i>p</i>	0.000	0.001
	Coeficiente de determinación (R²)	0.167281	0.155236

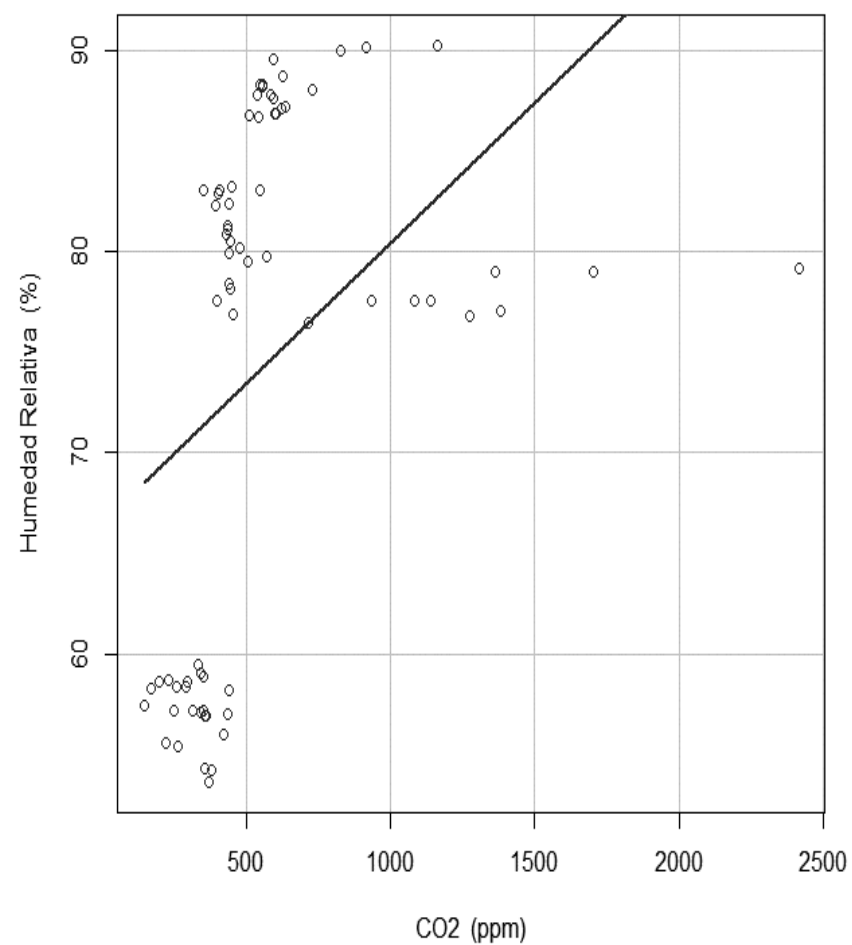
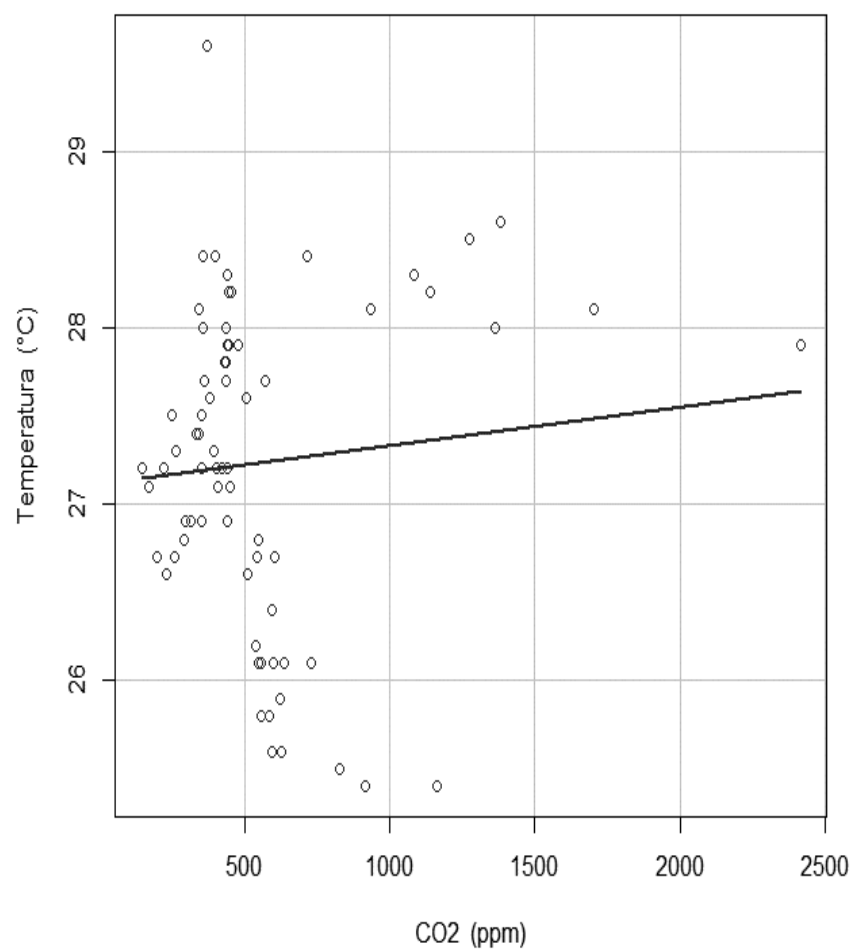


Figura 27. Dispersión del mes de abril de las variables temperatura y humedad relativa en relación con las concentraciones de Dióxido de Carbono

En la Tabla 20 se observa la correlación existente entre las variables temperatura y humedad relativa con la concentración de dióxido de carbono durante el mes de octubre y la correlación entre la temperatura y la humedad relativa. Donde en la correlación de Pearson existente entre el dióxido de carbono y la temperatura es de -0.535, el valor de $p = 0.000$, y el valor de $R^2 = 0.286225$, donde valor de P es menor que el nivel de significancia, lo que nos permite concluir que la correlación es estadísticamente significativa. Por otro lado, tenemos la correlación entre las concentraciones de Dióxido de Carbono y la humedad relativa donde el valor de $R = 0.575$, el valor de $p = 0.000$ y el valor de $R^2 = 0.330625$; lo que nos indica que existe una relación positiva moderada entre las variables, y con un valor de P que nos indica que la correlación es estadísticamente significativa. De igual manera se llevó a cabo la correlación entre las variables de humedad relativa con la temperatura del mes de octubre, obteniendo un valor de $R = -0.977$, valor de $p = 0.000$, y un coeficiente de determinación R^2 de 0.954529. Lo que nos indica que la correlación de Pearson existente entre la humedad relativa y la temperatura es negativa; es decir, que a medida que aumenta la temperatura disminuye el porcentaje de humedad relativa, mientras que el valor de p nos indica que el coeficiente de correlación entre ambas variables es significativo.

Tabla 20. Correlación de CO₂, temperatura y humedad del mes de octubre.

		CO ₂ Octubre	Temperatura Octubre
Temperatura Octubre	Correlación de Pearson (R)	-0.535	1
	Valor de p	0.000	1
	Coeficiente de determinación (R^2)	0.286225	1
Humedad relativa Octubre	Correlación de Pearson (R)	0.575	-0.977
	Valor de p	0.000	0.000
	Coeficiente de determinación (R^2)	0.330625	0.954529

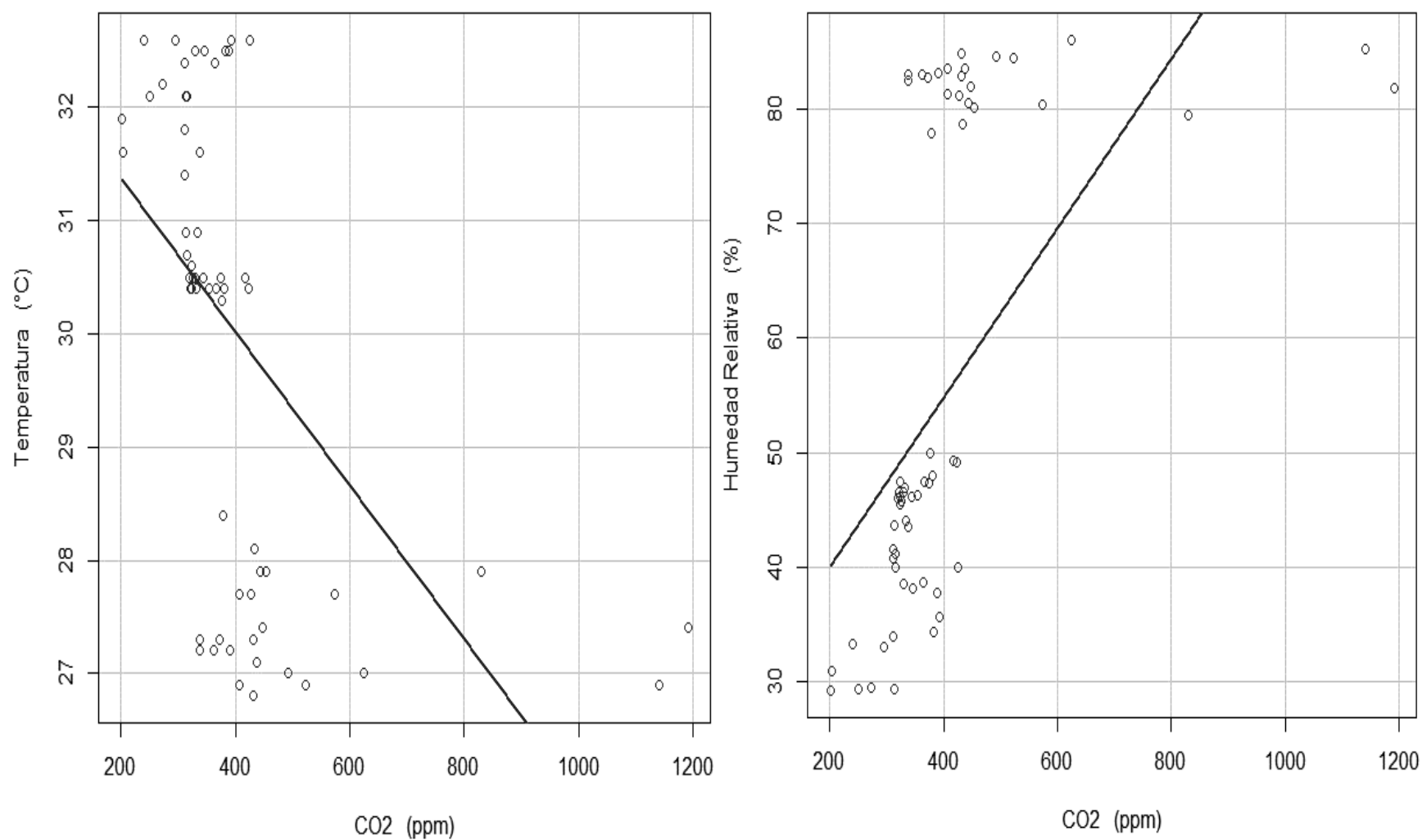


Figura 28. Dispersión del mes de octubre de las variables temperatura y humedad relativa en relación con las concentraciones de Dióxido de Carbono

10 DISCUSIÓN

El desarrollo económico y la creciente urbanización han llevado al desarrollo de fraccionamientos residenciales cercanos a los parques industriales, tal como es el caso del fraccionamiento El Cortijo. De acuerdo con Marketdatamexico (2019), la población del Cortijo se compone principalmente en un rango de edades entre los 15 y 59 años de edad. Sus principales fuentes de empleo provienen de los establecimientos y negocios que se encuentran en el fraccionamiento y en otros casos de los que brinda la Ciudad Industrial Bruno Pagliai. La Ciudad Industrial Bruno Pagliai, de acuerdo con la Secretaría de Desarrollo Económico y Portuario (SEDECOP, 2019) y MarketDataMéxico (2018), cuenta con un total de 319 empresas, lo cual coincide con lo reportado, establecidas con una derrama económica de \$51 000 millones dando trabajo a 30 000 personas. Romero *et al.* (2006) reportaron que los procesos industriales emanan a la atmósfera una gran cantidad de sustancias gaseosas y particuladas procedentes de la producción y del uso de combustibles para la obtención de energía para dichos procesos del mismo modo para el transporte. Entre dichos gases contaminantes se encuentran el dióxido de carbono, dióxido de azufre, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, ozono, plomo entre otras.

Lo anterior hace necesario el monitoreo de la calidad del aire mediante el uso de tecnologías de bajo costo como es la placa Raspberry Pi, tal como lo realizado por Burbano, Gamboa, y Sánchez (2017) en Colombia. Éstos desarrollaron e implementaron un sistema inalámbrico para el monitoreo de variables atmosféricas con el uso de tecnologías de bajo costo tales como son Arduino y Raspberry Pi el cual se compuso de dos módulos. Uno de ellos para el registro de variabilidad de gases y el otro para la transferencia y tratamiento de los datos donde se obtuvieron picos en la mañana y en la tarde. Del mismo modo en Ecuador Ortiz Espinosa (2018) desarrolló un sistema de monitoreo de contaminación del aire con redes sensoriales inalámbricas en tiempo real ocupando sensores de dióxido de carbono, partículas de polvo registrando una concentración promedio de 1 097 ppm y una desviación estándar de 207. 70 de dióxido de carbono. En comparación con el dispositivo de monitoreo de la calidad del aire empleado en este trabajo de investigación, el cual cuenta con tecnología Raspberry Pi, y para la medición de las variables atmosféricas se compone de sensores de Dióxido de Carbono y temperatura y humedad relativa, donde el valor promedio de la media en el mes de abril fue de 562.0 con una desviación estándar de 374. 5, mientras que en el mes de octubre la media de Dióxido de Carbono obtenida fue de 385. 9 y la desviación estándar fue de 163. 5

Mientras que Tovar, López, y Molina (2017) realizaron el monitoreo de contaminantes atmosféricos de $PM_{2.5}$, PM_{10} y CO_2 en conjunto con las variables meteorológicas temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento en la ciudad de Guanajuato. Lo realizaron para el monitoreo del material particulado siguiendo la NOM-025-SSA1-2014. Al no existir una NOM para el monitoreo de Dióxido de Carbono, ellos establecieron tres puntos para el monitoreo por un tiempo de 30 minutos en cada punto. Obtuvieron concentraciones de Dióxido de Carbono de 471.42 ppm en el punto llamado Mina de Rayas seguido por La Venada con 464.82 ppm y con una menor concentración Casa Colorada con una concentración de 464.82 ppm. Por el contrario, en este trabajo se establecieron cuatro puntos de muestreo, tomando muestras cada hora en cada punto de muestreo. Así mismo, Espinosa Romero, Rodríguez, y Gamboa (2017) llevaron a cabo el monitoreo de $PM_{2.5}$ y CO_2 en la división de ciencias biológicas Tabasco. Obtuvieron un test con un 95 % de confiabilidad, reportando que en el laboratorio de humedales se generó la más alta concentración de CO_2 con una ligera correlación de Pearson entre la temperatura con la humedad relativa. Esto comparado con los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación donde al no existir una NOM para el monitoreo del Dióxido de Carbono se siguieron los protocolos marcados por los manuales de la SINAICA (2018). Se registraron valores atípicos de 2 416.41; 1 703.31 y 1 364.69 ppm de CO_2 en mes de abril, mientras que en el mes de octubre se obtuvieron valores atípicos de 1 190.93; 1 140.59 y 829.15 ppm de CO_2 . La correlación existente entre las variables Dióxido de Carbono y temperatura registró un coeficiente de correlación de Pearson es de 0.090, el valor $p=0.450$ y el valor de R^2 de 0.0081. Mientras la correlación entre las variables CO_2 y humedad relativa tuvo un valor R de 0.409, valor de $p=0.000$, y un valor de $R^2=0.167281$, lo que nos permite concluir que la correlación existente es muy baja. Mientras que en el mes de octubre la correlación entre las concentraciones de Dióxido de Carbono y la temperatura fue de $R=-0.535$, valor de $p=0.000$, y el valor de $R^2=0.286225$; por donde valor de p es menor que el nivel de significancia, por tanto, existe una correlación baja. Por otro lado, tenemos la correlación entre las concentraciones de Dióxido de Carbono y la humedad relativa donde el valor de $R=0.575$, valor $p=0.000$ y el valor de $R^2=0.330625$; lo que nos indica que existe una relación positiva moderada entre las variables.

Como se mencionó anteriormente, en México no existe una Norma Oficial Mexicana que regule las emisiones de dióxido de carbono por lo que se tomó en consideración que la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (2018) y la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (2019) emitieron los límites máximos y mínimos de exposición en donde el promedio aceptado fue de 5 000 ppm donde los niveles de concentración de dióxido de carbono

registrados por el dispositivo en el mes de abril oscilaron entre los 2 416. 41 y las 200 ppm mientras que en el mes de octubre las concentraciones rondaron entre las 200 y 1 200 ppm encontrándose por debajo de los límites sugeridos.

11 CONCLUSIONES

Con base en la en respuesta a la Hipótesis General planteada para la solución del problema de investigación, se concluyó que se rechaza la Hipótesis, debido a que las concentraciones registradas en el fraccionamiento El Cortijo se encontraron por debajo de los límites permisibles de la OSHA.

De acuerdo con la caracterización realizada en la zona de estudio, se hace mención que las concentraciones de Dióxido de Carbono registradas en el fraccionamiento El Cortijo no provienen en su totalidad de la ciudad industrial Bruno Pagliai, si no también se ven influenciadas por las actividades antropogénicas realizadas dentro del mismo fraccionamiento. Por lo que es necesario la realización constante del monitoreo de la calidad del aire para saber en tiempo real los niveles de concentración de partículas existentes a las cuales los residentes del mencionado fraccionamiento se encuentran expuestos.

Ante lo que se ha mencionado anteriormente los dispositivos de monitoreo de la calidad del aire que se ocupan actualmente tienen un alto costo en la adquisición y mantenimiento aunado que se requieren de amplios espacios para su instalación. Por otro lado, existen alternativas como los dispositivos de bajo costo, fácil manejo e instalación y de monitoreo constante los cuales de igual manera nos permiten saber en tiempo real las concentraciones de las variables a medir con una confiabilidad del 95 %.

Tal como es el caso del dispositivo que se realizó y operó durante el presente trabajo de investigación que en comparación con los equipos de monitoreo de la calidad del aire convencionales el costo generado estimado fue de \$ 8 000; esto aunado a su fácil transporte, instalación, y tiempo de operación constante brindando una confiabilidad del 95 % en la toma de datos de las concentraciones de dióxido de carbono, temperatura y humedad relativa. Estas características hacen que sea una gran herramienta en cuanto a la medición de la calidad del aire.

Por otro lado, es necesario que en México sea creada una NOM la cual regule las emisiones de dióxido de carbono en los procesos industriales; ante esta falta, se tomó en consideración los

valores límites sugeridos por la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA). La cual nos sugiere que el máximo límite permisible es de 5 000 ppm (0.5 %) por un periodo de ocho horas por lo que al comparar las concentraciones de dióxido de carbono registradas por el dispositivo de monitoreo de la calidad del aire donde la máxima registrada fue de 2 416. 41 ppm se determinó que dichos valores obtenidos se encuentran debajo de los límites sugeridos.

Mientras que la correlación existente del Dióxido de Carbono con los parámetros ambientales de temperatura y humedad relativa en donde se pudo observar que la concentración de las partículas de Dióxido de Carbono disminuye al aumentar la temperatura mientras que al aumentar la humedad se incrementa la concentración de Dióxido de Carbono.

Cabe mencionar que existe poca información y estudios con respecto a la calidad del aire en el estado de Veracruz, ante lo cual esta área de investigación es una gran oportunidad para la investigación científica.

12 RECOMENDACIONES

Se recomienda la implementación de una veleta de velocidad y dirección del viento para determinar la dirección a la cual se desplazan las concentraciones de dióxido de carbono con relación a la dirección del viento.

Así como también la realización de un mayor número de estudios de 24 horas para determinar poder determinar si las concentraciones de Dióxido de Carbono por las noches y madrugadas al bajar la temperatura estos aumentan; del mismo modo se recomienda la instalación de una red de monitoreo con las modificaciones sugeridas en los fraccionamientos que se encuentran aledaños a la ciudad industrial Bruno Pagliai para identificar hacia donde se desplazan las concentraciones con respecto a la velocidad y dirección del viento, del mismo modo, añadir otros tipos de sensores para realizar un estudio más completo de la calidad del aire.

13. REFERENCIAS

- ACGIH. (2019). Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH). Disponible en: <https://www.acgih.org/search?query=co2> Consultado en: junio 2019
- Alejandro, C. L. (2013). Guía de Raspberry Pi. Disponible en: <https://hardlimit.com/guia-raspberry-pi/> Consultado en: marzo 2019
- 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
- Barange, M., y 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., y León, G. (2007). Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM*.
- Bernal, D. C. C., Flóres, M. A. N., y San Juan, D. P. (2015). Medición y registro en tiempo real de concentración de gases contaminantes y niveles de ruido en sectores específicos de una población.
- Boboa, C., y Alberto, O. (2013). *Implementación de un sistema de monitoreo de gases contaminantes que afectan a la ciudad de Esmeraldas*.
- Bravo Granda, B. A., Belduma, B., y Alberto, L. (2017). *Diseño de una red de sensores inalámbricos para el monitoreo del tránsito vehicular y la contaminación CO2 dentro de un sector urbano*.
- Burbano, C., Gamboa, C. E., y Sánchez, C. W. (2017). Desarrollo e Implementación de un Sistema Inalámbrico de Monitoreo de Variables Atmosféricas con Herramientas de Software y Hardware Libre. *DESARROLLO E INNOVACIÓN EN INGENIERÍA*, 226.
- Caballero, M., Lozano, S., y Ortega, B. (2007). Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. *Revista digital universitaria*, 8(10), 2-12.
- CCSSO. (1997). Centro Canadiense de Seguridad y Salud Ocupacional. Dióxido de Carbono-Efectos en la Salud. Disponible en: http://www.ccsso.ca/oshanswers/chemicals/chem_profiles/carbon_dioxide/health_cd.html Consultado en: noviembre 2018
- COFEPRIS. (2017a). Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS). Normas Oficiales Mexicanas (NOM) de Calidad del Aire Ambiente. Disponible en:

- <https://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/4-normas-oficiales-mexicanas-nom-de-calidad-del-aire-ambiente> Consultado en: octubre 2019
- COFEPRIS. (2017b). Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. Efectos a la salud por la contaminación del aire ambiente. Disponible en: <https://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/3-efectos-a-la-salud-por-la-contaminacion-del-aire-ambiente> Consultado en: diciembre 2018
- Crespo, E. (2016). DHT. Disponible en: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/tag/dht/> Consultado en: mayo 2019
- EPA. (2008). United States Environmental Protection Agency. Disponible en: <https://www.epa.gov/ghgemissions> Consultado en: febrero 2019
- Espíndola, C., y Valderrama, J. O. (2012). Huella del carbono. Parte 1: conceptos, métodos de estimación y complejidades metodológicas. *Información tecnológica*, 23(1), 163-176.
- Espinosa Romero, D., Rodríguez, M. T. G., y Gamboa, M. J. R. (2017). Monitoreo de PM2. 5 y CO2 en los diferentes laboratorios del edificio CICART de la División de Ciencias Biológicas.
- FSG. (2013). Fundación para la Salud Geoambiental. Dióxido de carbono (CO2). Disponible en: <https://www.saludgeoambiental.org/dioxido-carbono-co2> Consultado en: diciembre 2018
- García, A. (2017). Arduino vs Raspberry Pi: ¿Cuál es la mejor placa para iniciarse? Disponible en: <https://www.adslzone.net/2017/03/24/arduino-vs-raspberry-pi-cual-es-la-mejor-placa-para-iniciarse/> Consultado en: junio 2019
- Garduño, R. (1998). *El veleidoso clima*: Secretaría de Educación Pública.
- Herrán, C. (2012). *El cambio climático y sus consecuencias para América Latina*: Friedrch-Ebert-Stiftung.
- INE-SEMARNAT. (2003). Programa Nacional de Monitoreo Atmosférico. *CENICA*.
- 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. Disponible en: <https://www.gob.mx/inecc> Consultado en: diciembre 2018
- Jodeute. (2017). Teoría contaminación atmosférica. Universidad de la Rioja. . Disponible en: <https://www.docsity.com/es/teoria-contaminacion-atmosferica/2022204/> Consultado en: mayo 2019
- 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. Disponible en: <https://www.luisllamas.es/modelos-de-raspberry-pi/> Consultado en: mayo 2019
- Maldonado, R. M., Y; Domínguez. J. (2011). Compendio de Convenios y Tratados Internacionales Ambientales Ratificados por Guatemala. *CALAS*.

- Manahan, S. (2007). Introducción a la química ambiental.(p. 725). *México. Reverte Ediciones SA de CV.*
- Manuel, N., Arias, M., Lidia, A., y Pérez, S. (1973). CONTAMINACIÓN: Biblioteca Salvat de Grandes Temas, Salvat Editores SA.
- Marketdatamexico. (2019). Colonia Fracc El Cortijo, Veracruz, en Veracruz de Ignacio de la Llave. Disponible en: <https://www.marketdatamexico.com/es/article/Colonia-Fracc-El-Cortijo-Veracruz-Veracruz-Ignacio-la-Llave> Consultado en: Septiembre 2019
- MarketDataMéxico. (2018). Colonia Ciudad Industrial Bruno Pagliai, Veracruz, en Veracruz de Ignacio de la Llave. Disponible en: <https://www.marketdatamexico.com/es/article/Colonia-Ciudad-Industrial-Bruno-Pagliai-Veracruz-Veracruz-Ignacio-la-Llave> Consultado en: julio 2019
- MarketDataMéxico. (2019). Colonia Fracc El Cortijo, Veracruz, en Veracruz de Ignacio de la Llave. Disponible en: <https://www.marketdatamexico.com/es/article/Colonia-Fracc-El-Cortijo-Veracruz-Veracruz-Ignacio-la-Llave> Consultado en: septiembre 2019
- Martínez, Ataz Ernesto, y Díaz, d. M. M. Y. (2004). *Contaminación atmosférica*: Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha.
- Martínez, Bolívar Ana P, y Romieu, I. (1996). Introducción al monitoreo atmosférico. Disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/intromon/intromon.html> Consultado en: mayo 2019
- Mechatronics, N. (2016). Tutorial sensores de gas MQ2, MQ3, MQ7 y MQ135. Disponible en: https://naylampmechatronics.com/blog/42_Tutorial-sensores-de-gas-MQ2-MQ3-MQ7-y-MQ13.html Consultado en: Octubre 2019
- 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. Disponible en: <https://www.nj.gov/health/> Consultado en: noviembre 2018
- O.N.U. (1972). Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano.
- Declaración de estocolmo sobre el medio ambiente humano. Disponible en: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/TratInt/Derechos%20Humanos/INST%2005.pdf> Consultado en: septiembre 2019
- O.N.U. (1992). Convención Marco de las Naciones Unidad sobre el Cambio Climático. 27.
- O.N.U. (2016). Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Disponible en: <https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/documents/declaracionrio.htm> Consultado en: octubre 2019
- O.N.U. (2019a). Cambio climático. Retrieved from <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/climate-change/index.html>

- O.N.U. (2019b). Manual del Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la Capa de Ozono. Decimotercera. Disponible en: <https://ozone.unep.org/sites/default/files/Handbooks/MP-Handbook-2019-Spanish.pdf>
- O.P.S. (2000). *Organización Panamericana de la Salud. La salud y el ambiente en el desarrollo sostenible: Organización Panamericana de la Salud*: OPS.
- Ohms. (2016). ¿Cómo funcionan los sensores de gas? Retrieved from <https://blog.330ohms.com/2016/07/11/como-funcionan-los-sensores-de-gas/#>
- ONU. (1998). Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. Disponible en: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf> Consultado en: febrero 2019
- Ortiz Espinosa, D. R. (2018). *Sistema de monitoreo de contaminación del aire con redes de sensores inalámbricos en tiempo real*. Quito.
- OSHA. (2018). *Administración de Seguridad y Salud Ocupacional Departamento de Trabajo de los EE. UU.* (pp. 44). Retrieved from <https://search.osha.gov/search?affiliate=usdoloshapublicwebsite&query=co2>
- Oyarzún, M. (2010). Contaminación aérea y sus efectos en la salud. *Revista chilena de enfermedades respiratorias*, 26(1), 16-25.
- P.N.U.D. (2019). Protocolo de Montreal. Disponible en: <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development/environment-and-natural-capital/montreal-protocol.html> Consultado en: octubre 2019
- Pagliai, B. (2014). Directorio empresas. Disponible en: <http://brunopagliai.com/directorio.php> Consultado en: Octubre 2019
- 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
- Pandey, D., Agrawal, M., y Pandey, J. S. (2011). Carbon footprint: current methods of estimation. *Environmental monitoring and assessment*, 178(1-4), 135-160.
- Pi, R. (2019). Empezando con la Raspberry Pi. Disponible en: <https://www.raspberrypi.org/> Consultado en: mayo 2019
- PNUMA. (2001). *Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono* Ambient, P. d. I. N. U. p. e. M. (Ed.) (pp. 32). Retrieved from <https://unep.ch/ozone/spanish/vc-text-sp.pdf>
- Quereda, S. J., y Montón Chiva, E. (1996). Dióxido de carbono y clima en el litoral mediterráneo. *Investigaciones geográficas*, n° 16, 1996; pp. 5-20.
- Ramos, H., S, Bautista-Margulis, R., y 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.
- Robinson, A. B., Robinson, N. E., y Soon, W. (2013). Efectos Ambientales de los Incrementos Atmosféricos de Dióxido de Carbono. *Recuperado el*, 12.

- Romero, P. M., Diego, O. F., y Álvarez, T. M. (2006). La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. *Revista cubana de higiene y epidemiología*, 44(2), 0-0.
- SEDECOP. (2019). Secretaría de Desarrollo Económico y Portuario. Veracruz, Inversiones sin precedentes. Disponible en: <http://www.veracruz.gob.mx/desarrolloeconomico/wp-content/uploads/sites/3/2019/01/Infraestructura-Industrial-de-Veracruz.pdf> Consultado en: octubre 2019
- SEDEMA. (2006). Disposiciones reglamentarias del Parque Industrial Bruno Pagliai. Disponible en: https://sistemas.cgever.gob.mx/2003/Normatividad_Linea/reglamentos/108_REGLAMEN%20INTERNO%20PARQUE%20INDUSTRIAL%20BRUNO%20PAGLIAI.pdf Consultado en: octubre 2019
- SEDEMA. (2018a). La calidad del aire. Disponible en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=%27ZaBhnmI=%27> Consultado en: noviembre 2018
- SEDEMA. (2018b). Normatividad. Disponible en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=%27ZaBhnmI=&dc=%27Yw==> Consultado en: octubre 2019
- SEDEMA. (2019). Veracruz Gobierno del Estado. Monitoreo Atmosférico. Disponible en: <http://www.veracruz.gob.mx/medioambiente/monitoreo/> Consultado en: diciembre 2018
- SEMARNAT. (2012). *NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-156-SEMARNAT-2012, Establecimiento y operación de Sistemas de Monitoreo de la Calidad del Aire*. DOF: 16/07/2012.
- SEMARNAT. (2013). Calidad del aire: una práctica de vida. Cuadernos de divulgación ambiental.
- SEMARNAT. (2015). Convención de Viena para la Protección a la Capa de Ozono. Disponible en: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/convencion-de-viena-para-la-proteccion-a-la-capa-de-ozono> Consultado en: octubre 2019
- SEMARNAT. (2018). Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Fuentes de Contaminación Atmosférica. Retrieved from <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/fuentes-de-contaminacion-atmosferica>
- SINAICA. (2018). Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire. . Disponible en: <https://sinaica.inecc.gob.mx/index.php> Consultado en: diciembre 2019
- Soledad, A. A., Appleton; Joanna, Dafoe; Peter, Doran; Ph.D.; Elena, Kosolapova; Velma, McColl; Leila, Mead; Eugenia, Recio. (2011). Boletín de Negociaciones de la Tierra. Síntesis de la Conferencia de Durban sobre el Cambio Climático12. Retrieved from kimo@iisd.org website: <https://enb.iisd.org/vol12/enb12534s.html>
- Stern, N., y Stern, N. H. (2007). *The economics of climate change: the Stern review*: cambridge University press.
- Tovar, K. I. L., López, Z. A. G., y Molina, A. Z. (2017). MONITOREO DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS (PM 2.5, PM 10 Y CO 2) Y VARIABLES METEOROLÓGICAS (TEMPERATURA, HUMEDAD RELATIVA, VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL

- VIENTO) EN LA CIUDAD DE GUANAJUATO. *JÓVENES EN LA CIENCIA*, 3(2), 347-352.
- Warrick, R. A., Bolin, B., Döös, B. R., y Jäger, J. (1986). *The Greenhouse Effect, Climatic Change, and Ecosystems*: Wiley.
- WeatherSpark. (2019). El clima típico de cualquier lugar del mundo. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/> Consultado en: octubre 2019
- Wiedmann, T. (2009). Carbon footprint and input–output analysis—an introduction. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09535310903541256> Consultado en: marzo 2019
- Yassi, A., Kjellstrom, T., Dekok, T., y Guidotti, T. (2002). Salud ambiental básica. *México DF: PNUMA*.