

# INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DEL SUR DE GUANAJUATO



## **Análisis estadístico de las emisiones de CO durante la pandemia en los municipios de Guanajuato**

Opción 2: Titulación Integral - Tesis profesional

Elaborada por:

Joanna Zavala Díaz

Que presenta para obtener el título de:

**INGENIERO AMBIENTAL**

Asesor:

Dr. Edgar G. Blanco Díaz

Uriangato, Gto.

Mayo 2023

# **“Análisis estadístico de las emisiones de CO durante la pandemia en los municipios de Guanajuato”**

Elaborada por:

**Joanna Zavala Díaz**

Aprobado por. ....

Dr. Edgar G. Blanco Díaz  
Jefe de División de Ingeniería Ambiental  
Asesor de Tesis Profesional

Revisado por. ....

Ing. Alfredo Torres Martínez  
Docente de la carrera de Ingeniería Ambiental  
Revisor de Tesis Profesional

Revisado por. ....

Ing. José Luis Rocha Pérez  
Docente de la carrera de Ingeniería Ambiental  
Revisor de Tesis Profesional



## LIBERACIÓN DE PROYECTO PARA LA TITULACIÓN INTEGRAL

Uriangato, Gto., 27/Abril/2023

Asunto: Liberación de proyecto para la titulación integral

M.C. José Gabriel Aguilera González  
Director Académico  
ITSUR  
PRESENTE

Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la titulación integral:

|  |                            |
|--|----------------------------|
| Nombre de estudiante y/o egresado(a): Joanna Zavala Díaz   |                            |
| Carrera: Ingeniería Ambiental  | Núm. de control: A16120346 |
| Nombre del proyecto: Análisis estadístico de las emisiones de CO durante la pandemia en los municipios de Guanajuato |                            |
| Producto: Tesis profesional  |                            |

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestras y nuestros egresados.

ATENTAMENTE

Dr. Edgar G. Blanco Díaz  
Jefe de División de Ingeniería Ambiental  
ITSUR

La comisión revisora ha tenido a bien aprobar la reproducción de este trabajo.

|                          |                              |                            |
|--------------------------|------------------------------|----------------------------|
|                          |                              |                            |
| Dr. Edgar G. Blanco Díaz | Ing. Alfredo Torres Martínez | Ing. José Luis Rocha Pérez |



Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato  
COORDINACIÓN  
INGENIERÍA AMBIENTAL

c.c.p.- Expediente

Julio 2017

## Tabla de contenido

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| Capítulo 1 .....                     | 1  |
| Introducción. ....                   | 1  |
| Capítulo 2.....                      | 2  |
| Marco teórico (Antecedentes).....    | 2  |
| Capítulo 3.....                      | 12 |
| Planteamiento del problema .....     | 12 |
| 3.1. Identificación.....             | 12 |
| 3.2. Justificación. ....             | 12 |
| 3.3. Alcance. ....                   | 12 |
| Capítulo 4.....                      | 13 |
| Objetivos.....                       | 13 |
| 4.1. Objetivos generales. ....       | 13 |
| 4.2. Objetivos específicos:.....     | 13 |
| Capítulo 5.....                      | 14 |
| Metodología .....                    | 14 |
| Capítulo 6.....                      | 21 |
| Resultados .....                     | 21 |
| Capítulo 7.....                      | 45 |
| Análisis de Resultados.....          | 45 |
| Capítulo 8.....                      | 52 |
| Conclusiones y trabajo a futuro..... | 52 |
| Referencias bibliográficas .....     | 53 |
| Anexos .....                         | 54 |

## Índice de figuras

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1.</b> Municipios con estaciones de monitoreo ambiental estudiados.....  | 15 |
| <b>Figura 2.</b> Componentes de diagrama de caja.....  | 20 |
| <b>Figura 3.</b> Representación gráfica de los promedios diarios de las ppm de CO en la estación de monitoreo SP en el periodo 2018-2021, Celaya.....                              | 26 |
| <b>Figura 4.</b> Representación gráfica de los promedios diarios de las ppm de CO en la estación de monitoreo BO en el periodo 2018-2021, Irapuato.....                            | 29 |
| <b>Figura 5.</b> Representación gráfica de los promedios diarios de las ppm de CO en la estación de monitoreo TE en el periodo 2018-2021, Irapuato.....                            | 32 |
| <b>Figura 6.</b> Representación gráfica de los promedios diarios de las ppm de CO en la estación de monitoreo CR en el periodo 2018-2021, Salamanca.....                           | 35 |
| <b>Figura 7.</b> Representación gráfica de los promedios diarios de las ppm de CO en la estación de monitoreo NT en el periodo 2018-2021, Salamanca.....                           | 38 |
| <b>Figura 8.</b> Representación gráfica de los promedios mensuales de las ppm de CO en la estación (a) SP de Celaya y en la estación (b) BO, Irapuato en el periodo 2018-2021..... | 41 |
| <b>Figura 9.</b> Representación gráfica de los promedios mensuales de las ppm de CO en la estación (a) TE de Irapuato y en la estación (b) CR, Salamanca.....                      | 43 |
| <b>Figura 10.</b> Representación gráfica de los promedios mensuales de las ppm de CO en la estación NT en el periodo 2018-2021.....  | 44 |

**Figura 11.** Representación gráfica de los promedios mensuales de las temperaturas en la (a) estación SP, Celaya y en la estación (b) BO, Irapuato en el periodo 2018-2021.....49

**Figura 12.** Representación gráfica de los promedios mensuales de las temperaturas en la estación (a) TE Irapuato y en la estación (b) CR, Salamanca en el periodo 2018-2021.....50

**Figura 13.** Representación gráfica de los promedios mensuales de las temperaturas en la estación NT, Salamanca en el periodo 2018-2021.....51

## Índice de tablas

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1.</b> Ubicación de las estaciones en los municipios.....  | 14 |
| <b>Tabla 2.</b> Resultados de los valores que representan la suma de los valores ppm CO obtenidos del código RStudio de cada una de las estaciones de monitoreo de los municipios Celaya, Irapuato y Salamanca..... | 22 |
| <b>Tabla 3.</b> Resultados del método LSD de Fisher municipio de Celaya estación de SP.....   | 23 |
| <b>Tabla 4.</b> Resultados del método LSD de Fisher municipio de Irapuato estación de BO.....   | 23 |
| <b>Tabla 5.</b> Resultados del método SD de Fisher municipio de Irapuato estación de TE.....  | 23 |
| <b>Tabla 6.</b> Resultados del método LSD de Fisher municipio de Salamanca estación de CR.....  | 24 |
| <b>Tabla 7.</b> Resultados del método LSD de Fisher municipio de Salamanca estación de NT.....  | 24 |
| <b>Tabla 8.</b> Resultados del ANOVA estación SP.....   | 27 |
| <b>Tabla 9.</b> Resultados de análisis LSD de Fisher para la estación SP con $\alpha=0.05$ .....  | 27 |
| <b>Tabla 10.</b> Resultados del ANOVA estación BO.....  | 30 |
| <b>Tabla 11.</b> Resultados de análisis de LSD de Fisher para la estación BO con $\alpha=0.05$ .....  | 30 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 12.</b> Resultados del ANOVA estación TE.....   | 33 |
| <b>Tabla 13.</b> Resultados de análisis de LSD de Fisher para la estación TE con $\alpha=0.5$ .....  | 33 |
| <b>Tabla 14.</b> Resultados del ANOVA estación CR.....   | 36 |
| <b>Tabla 15.</b> Resultados de análisis de LSD de Fisher para la estación CR con $\alpha=0.05$ ..... | 36 |
| <b>Tabla 16.</b> Resultados del ANOVA estación NT.....   | 39 |
| <b>Tabla 17.</b> Resultados de análisis de LSD de Fisher para la estación NT con $\alpha=0.1$ .....  | 39 |



## **Resumen**

El objetivo de la investigación es analizar el efecto agregado de las medidas de distanciamiento social y restricciones que se implementaron a causa de la pandemia por COVID-19 en las emisiones de CO en el estado de Guanajuato. Se realizó un análisis estadístico de emisiones de CO en las estaciones de calidad de aire SP en el municipio de Celaya, en el municipio de Irapuato las estaciones BO y TE, en el municipio de Salamanca las estaciones de CR y NT. Los resultados obtenidos en este trabajo muestran que estadísticamente la estación TE y NT no tienen una diferencia significativa en las emisiones reportadas en las estaciones de monitoreo de calidad de aire. En las estaciones de monitoreo de calidad del aire SP, BO y CR estudiadas, hubo una reducción de emisiones durante el periodo de confinamiento, aceptando así la hipótesis planteada, aun así, hubo un incremento en las emisiones de las partículas de CO durante los años 2020 y 2021.

## **Abstract**

The objective of this research is to analyze the combined effect of social distancing measures and COVID-19 restrictions on CO emissions in Guanajuato state. Statistical analysis of CO emissions was conducted at air quality stations in the municipalities of Celaya, Irapuato, and Salamanca. Results showed that there was no statistically significant difference in reported emissions at the TE and NT stations. However, there was a reduction in emissions at the SP, BO, and CR stations during the confinement period, supporting the proposed hypothesis. It is worth noting that there was an increase in CO particle emissions during 2020 and 2021.

**Palabras claves** (*keywords*)

Monóxido de carbono (CO), análisis estadístico, ANOVA, estaciones de monitoreo.

**Glosario:**

ppm: Pequeñas partículas valores promedio en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

ppb: Partes por mil millones es una unidad de medida, cantidad de sustancia que hay por cada mil millones de unidades del conjunto.

## **Dedicatoria**

El presente trabajo está dedicado a mis padres, mis amigos, maestros y a todas las personas que durante este tiempo de mi carrera universitaria estuvieron conmigo y me apoyaron incondicionalmente para llegar a terminar mi vida profesional y personal.

## **Capítulo 1**

### **Introducción.**

La exposición al aire contaminado tiene implicaciones sociales y económicas importantes, siendo quizá una de las más relevantes la de ser la principal causa ambiental de muertes prematuras a nivel mundial. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS; WHO por sus siglas en inglés), en 2012 la contaminación del aire fue responsable de 3.7 millones de muertes en el planeta (11% por enfermedad pulmonar obstructiva crónica, 6% por cáncer de pulmón; 40% por enfermedad isquémica del corazón, 40% por accidente cerebrovascular y alrededor de 3% por infección respiratoria aguda).<sup>1</sup>

Las emisiones de monóxido de carbono (CO) que diariamente se producen y son arrojadas al ambiente contribuyen significativamente al aumento de enfermedades respiratorias y su principal fuente de emisión es el sector de transporte, debido a la combustión incompleta de gas, petróleo, gasolina, carbón y aceites. Además, al emitirse a la atmósfera, el CO afecta varios procesos que contribuyen al cambio climático.

En marzo de 2020, la Organización Mundial de la Salud (OMS) declara pandemia global por la extensión y propagación del COVID-19, un mes después, en el estado de Guanajuato y el resto de México se comienza con medidas estrictas de distanciamiento social y con la disminución de actividades en general.<sup>2</sup>

Se tiene la hipótesis que durante el confinamiento los niveles de concentración de CO disminuyeron en el estado de Guanajuato. En el presente trabajo se realizará un análisis estadístico de las emisiones de monóxido de carbono (CO) durante la pandemia COVID-19 en los municipios del estado de Guanajuato.

## **Capítulo 2**

### **Marco teórico (Antecedentes).**

La meteorología y las tendencias a largo plazo en las concentraciones de contaminantes del aire pueden oscurecer los resultados de las políticas a corto plazo implementadas para mejorar la calidad del aire. Este estudio presenta los cambios en CO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> con base en sus anomalías durante los confinamientos parciales, se excluyeron los días con condiciones de estancamiento y fuertes lluvias para reducir el impacto de los cambios climáticos extremos. Se utilizaron observaciones satelitales de NO<sub>2</sub> y CO para contrastar los resultados obtenidos desde tierra, en la primera fase del confinamiento solo el NO<sub>2</sub> mostró descensos significativos ( $p < 0,05$ ) de entre el 10 y el 23 % debido a reducciones en las emisiones de los vehículos de motor. Por el contrario, el O<sub>3</sub> aumentó ( $p < 0,05$ ) entre un 16 y un 40 % en los mismos sitios donde disminuyó el NO<sub>2</sub>. Durante la fase dos, se observaron disminuciones significativas ( $p < 0,05$ ) de NO<sub>2</sub> (43 %), PM<sub>10</sub> (20 %) y PM<sub>2.5</sub> (32 %) en respuesta al confinamiento total. Aunque las concentraciones de O<sub>3</sub> fueron más bajas en la Fase 3 que durante la Fase 2, no disminuyeron ( $p < 0.05$ ) desde la línea de base en ningún sitio a pesar del cierre total. Las observaciones satelitales confirmaron que el NO<sub>2</sub> disminuyó y el CO se estabilizó durante el cierre total. Los cambios en los contaminantes del aire durante el cierre podrían sobreestimarse entre 2 y 10 veces sin tener en cuenta las influencias de la meteorología y las tendencias a largo plazo en las concentraciones de contaminantes. La calidad del aire mejoró significativamente durante el cierre debido a la reducción de las emisiones de NO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub> a pesar de los aumentos en O<sub>3</sub>, lo que resultó en beneficios para la salud de la población del área metropolitana de la ciudad de México (MCMA). Las medidas implementadas durante los confinamientos por el COVID-19 brindan información valiosa para reducir la

contaminación del aire a través de una variedad de estrategias de reducción de emisiones distintas de las de los vehículos motorizados.<sup>4</sup>

Al igual que las partículas finas conocidas como PM<sub>2.5</sub>, el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) se emiten al quemar combustibles fósiles, principalmente en la industria, los vehículos y las calderas domésticas. En el primer trimestre del 2020, cuando la pandemia de COVID-19 se extendió por todo el mundo y los gobiernos comenzaron a cerrar negocios y transporte, los satélites detectaron fuertes descensos en los niveles de NO<sub>2</sub> en comparación con el mismo período en 2019 en los EE.UU. la caída de NO<sub>2</sub> ha sido más pronunciada en las ciudades y a lo largo de los principales corredores de transporte. Los cierres impuestos apresuradamente por la India han sido devastadores y han dejado a cientos de miles de trabajadores migrantes sin hogar ni trabajo. Pero en Delhi, donde el aire normalmente es asfixiante, los niveles tanto de PM<sub>2.5</sub> como del gas nocivo dióxido de nitrógeno cayeron más del 70 por ciento.<sup>5</sup>

Los 34 países considerados habían estado bloqueados durante un promedio de 62 días, con China (113 días) e Italia (84 días) experimentando los bloqueos más largos y México experimentando los bloqueos más cortos (50 días). Durante las fechas de confinamiento, las concentraciones de NO<sub>2</sub> a nivel del suelo fueron, en promedio, un 60 % (media ponderada de la población con un IC del 95 %: 48 a 72 %) más bajas de lo que hubiéramos esperado dado el clima prevaleciente y la época del año (tiempo del año corregido por el clima). De manera similar, PM<sub>2.5</sub> disminuyó un 31 % (17 a 45 %), mientras que O<sub>3</sub> aumentó un 4 % (-2 a 10 %) En términos absolutos esto equivale a una disminución de 11 µg·m<sup>-3</sup> (9 µg·m<sup>-3</sup> a 14 µg m<sup>-3</sup>) en NO<sub>2</sub> y una disminución de 12 µg·m<sup>-3</sup> (7 µg·m<sup>-3</sup> a 18 µg·m<sup>-3</sup>) disminución en PM<sub>2.5</sub>. El aumento de 4 µg·m<sup>-3</sup> en O<sub>3</sub> (1 µg·m<sup>-3</sup> a 8 µg·m<sup>-3</sup>) fue menor en magnitud y menos significativo. Estos resultados reflejan la dirección del cambio encontrado en las tendencias generales para la dinámica de contaminantes a nivel del suelo y

derivada de satélite. También corroboran los hallazgos preliminares (no revisados por pares) de estudios en China (14), España (15) y los Estados Unidos (16) que han documentado disminuciones locales en las concentraciones de contaminantes durante el confinamiento.<sup>6</sup>

Las disminuciones en la exposición al NO<sub>2</sub> obtenidas de los datos del monitor terrestre coinciden con el endurecimiento de los bloqueos por COVID-19 medidos por el índice de rigurosidad en 213 de las 252 regiones consideradas, lo que representa el 93 % de la población en los países considerados. Estos impactos son estadísticamente significativos al nivel del 5% en 120 de estas regiones, que representan el 70% de la población. Esto significa que, en estas regiones, la hipótesis nula de que no hubo cambios en los niveles de contaminación del aire ambiental debido al aumento en el índice de rigurosidad puede rechazarse con un 95% de confianza. En 163 de 252 regiones, que cubren el 69% de la población, los datos del monitor terrestre sugieren que las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> disminuyeron con una mayor rigurosidad del confinamiento. El efecto es estadísticamente significativo al nivel del 5% en 77 de estas regiones según nuestra prueba estadística. En China, los cambios resultantes en las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> ascienden a -36 % (IC del 95 %, -69 a -2,4 %) en comparación con los valores esperados en el contrafactual. En Japón, el cambio relativo en los niveles de PM<sub>2.5</sub> durante el período de estudio es de -17 % (95 % IC, -24 a -10 %), mientras que Corea del Sur experimentó un -16 % (95 % IC, -42 a - 9.7%) cambio en PM<sub>2.5</sub>. Por el contrario, en Europa y los Estados Unidos, encontramos que los niveles ambientales de PM<sub>2.5</sub> no cambiaron con restricciones de bloqueo más estrictas: encontramos un cambio de +8.5 % (95 % IC, -85 a +88 %) en PM<sub>2.5</sub> en Europa durante el período de estudio, y un cambio de +1,4 % (IC 95 %, -21 a +24 %) en los Estados Unidos. Solo 7 de 106 regiones en Europa (2 % de la población

Europea) y cuatro estados en los Estados Unidos (11 % de la población de EE. UU.) tienen cambios estadísticamente significativos en la concentración de PM<sub>2.5</sub> al nivel del 5 %. Para el ozono, 146 de las 252 regiones a nivel mundial, que representan el 46% de la población analizada, muestran disminuciones en la concentración en respuesta a las medidas de bloqueo. En 45 de estas regiones, las disminuciones en las concentraciones de ozono promedio ponderadas por la población son estadísticamente significativas al nivel del 5%. Los cambios son mayores en Corea del Sur (-28 %; 95 % IC, -43 a -13 % en comparación con el contrafactual) y Japón (-5,4 %; 95 % IC, -12 a +1,0 % de cambio). Los resultados en los Estados Unidos, China y Europa no muestran cambios estadísticamente significativos en el ozono: los Estados Unidos tienen un cambio de -0,82 % (IC del 95 %, -5,6 a +4,0 %) en las concentraciones de ozono, y China y Europa tienen cambios de +0,45 % (IC del 95 %, -25 a +24 %) y -3,1 % (IC del 95 %, -17 a +9,4 %), respectivamente.<sup>7</sup>

El crecimiento constante de la población en las zonas urbanas ha traído consigo la concentración de las actividades económicas y productivas, que bajo ciertas circunstancias agudizan problemáticas como las relacionadas con la mala calidad del aire. En particular, la exposición al aire contaminado tiene implicaciones sociales y económicas importantes, siendo quizá una de las más relevantes la de ser la principal causa ambiental de muertes prematuras a nivel mundial. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS; WHO por sus siglas en inglés), en 2012 la contaminación del aire fue responsable de 3.7 millones de muertes en el planeta (11% por enfermedad pulmonar obstructiva crónica, 6% por cáncer de pulmón; 40% por enfermedad isquémica del corazón, 40% por accidente cerebrovascular y alrededor de 3% por infección respiratoria aguda).<sup>1</sup>

Utilizando los datos del satélite Observatorio Orbital de Carbono 2 de la NASA y el modelo atmosférico del Sistema de Observación de la Tierra Goddard de la NASA, identificaron varias razones para obtener este resultado, las emisiones de dióxido



de carbono (CO<sub>2</sub>) cayeron un 5,4% en 2020. Primero, mientras que la caída de 5,4% en las emisiones fue significativa, el crecimiento de las concentraciones atmosféricas estuvo dentro del rango normal de variación de un año a otro causada por procesos naturales. Además, el océano no absorbió tanto CO<sub>2</sub> de la atmósfera como lo ha hecho en los últimos años, probablemente como una respuesta inesperadamente rápida a la reducción de la presión del CO<sub>2</sub> en el aire de la superficie del océano. Las caídas de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) relacionadas con la pandemia de COVID-19 llevaron rápidamente a una reducción global del ozono. Al reducir las emisiones de (NO<sub>x</sub>) aunque fuera beneficioso para limpiar la contaminación del aire, la pandemia también limitó la capacidad de la atmósfera para limpiarse de otro gas de efecto invernadero importante: el metano. Molécula por molécula, el metano es mucho más eficaz que el CO<sub>2</sub> para atrapar el calor en la atmósfera. Las estimaciones de qué cantidades de emisiones de metano se redujeron durante la pandemia son inciertas porque algunas causas humanas, como el mantenimiento deficiente de la infraestructura de los campos petrolíferos, no están bien documentadas; pero un estudio calculó que la reducción fue del 10%. No obstante, el metano creció un 0,3% el año pasado, una tasa más rápida que en cualquier otro momento de la última década. Con menos (NO<sub>x</sub>), hubo menos radicales hidroxilos para eliminar el metano, por lo que este permaneció en la atmósfera por más tiempo. En particular, las emisiones volvieron a niveles casi previos a la pandemia para finales de 2020, a pesar de la reducción de la actividad en muchos sectores de la economía. “Esto sugiere que reducir la actividad en estos sectores industriales y residenciales no es práctico en el corto plazo” como una forma de reducir las emisiones, señaló el estudio. “Reducir las emisiones de estos sectores de forma permanente requerirá su transición a una tecnología con bajas emisiones de carbono”.<sup>8</sup>

La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) es una de las regiones más pobladas del país y del mundo, las consecuencias de una mala calidad del aire representan un problema de salud pública relevante para México. En la etapa inusual y repentina de baja movilidad y cierre de actividades económicas derivadas de la pandemia por COVID-19, para tener una evaluación del efecto del paro de estas actividades y el bajo nivel de actividad económica sobre la calidad del aire se analizaron los niveles de nueve contaminantes en el aire en la ZMVM: dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), monóxido de nitrógeno (NO), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), ozono (O<sub>3</sub>), partículas finas y ultrafinas (PM<sub>2.5</sub>), partículas gruesas y finas (PM<sub>10</sub>) y partículas de fracción gruesa (PMCO). El estudio encuentra que en el segundo y tercer trimestre de 2020 hubo caídas significativas de los niveles de concentración de los contaminantes de NO<sub>x</sub> (-35%, -19%), NO (-65%, -21%), NO<sub>2</sub> (-25%, -18%), SO<sub>2</sub> (-26%, -33%), PMCO (-13%, -26%) y CO (-13%, sin efecto) con respecto al escenario base. Por su parte, los contaminantes PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> mostraron una reducción solamente en el tercer trimestre de 2020, pero no cayeron durante el segundo trimestre. No obstante, los niveles de concentración de O<sub>3</sub> presentaron un aumento significativo en el segundo trimestre de 2020 de +17% en comparación con el escenario base. Es decir que durante el fuerte confinamiento provocados por la pandemia por COVID-19, redujeron la concentración de seis contaminantes del aire entre 13% a 65% solo durante el segundo y tercer trimestre de 2020. Estos contaminantes regresaron a sus niveles prepandemia a partir del cuarto trimestre de 2020, por lo que no hubo efectos a mediano y largo plazo en la mejora de la calidad del aire. Los resultados son consistentes con otros estudios para China, India, Indonesia, Portugal y otras geografías que encuentran también mejoras en la calidad del aire debido a las reducciones de SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y CO debido al confinamiento por COVID-19, y en donde también hallan un aumento en la concentración de O<sub>3</sub> en ese periodo, debido posiblemente a la compleja interacción química entre los contaminantes en el aire.

Los factores ambientales, fuentes de emisión o propios de cada región pueden ser la causa que expliquen estos cambios. Además de este patrón ascendente, que depende principalmente de cuánto emitamos los humanos, las concentraciones de CO<sub>2</sub> suben y bajan según las estaciones. Son más elevadas a finales de primavera cada año, cuando las centrales del hemisferio norte despiertan del invierno y devoran carbón, y más bajas a principios del otoño, cuando las centrales se desaceleran para el invierno (el hemisferio norte tiene mucha más tierra y centrales que el sur y domina el patrón).<sup>9</sup>

### **Monóxido de carbono CO**

Monóxido de carbono (fórmula química CO) es un gas incoloro, inodoro, insípido e inflamable que es ligeramente menos denso que el aire, consiste en un átomo de carbono y un átomo de oxígeno conectados por un enlace triple. Está presente en pequeñas cantidades (alrededor de 80 ppb) en la atmósfera terrestre. La mayor parte del resto proviene de reacciones químicas con compuestos orgánicos emitidos por actividades humanas y de origen natural debido a reacciones fotoquímicas en la troposfera que generan unos 5,000,000,000 de toneladas al año. Otras fuentes naturales de CO incluyen volcanes, bosques e incendios forestales, y otras formas misceláneas de combustión, como los combustibles fósiles. También se emiten pequeñas cantidades del océano y de la actividad geológica porque el monóxido de carbono se encuentra disuelto en roca volcánica fundida a altas presiones en el manto terrestre. Debido a que las fuentes naturales de monóxido de carbono varían de un año a otro, es difícil medir con precisión las emisiones naturales del gas.

El monóxido de carbono tiene un efecto indirecto sobre el forzamiento radiactivo al elevar las concentraciones de gases de efecto invernadero directos, incluidos el metano y el ozono troposférico. El CO puede reaccionar químicamente con otros componentes atmosféricos (principalmente el radical hidroxilo, •OH) que de otro

modo destruiría el metano. A través de procesos naturales en la atmósfera, se oxida a dióxido de carbono y ozono. Tiene una vida corta en la atmósfera (con una vida útil promedio de aproximadamente uno o dos meses) y su concentración es espacialmente variable. Debido a su larga vida en la troposfera media, el monóxido de carbono también se utiliza como marcador de columnas de contaminantes.

Junto con los aldehídos en la serie de ciclos de reacciones químicas forman parte del smog fotoquímico. Reacciona con el radical hidroxilo ( $\bullet\text{OH}$ ) para producir un radical intermedio  $\bullet\text{HOCO}$ , que transfiere rápidamente su hidrógeno radical a  $\text{O}_2$  para formar peroxi radical ( $\text{HO}_2\bullet$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). El radical peroxi reacciona posteriormente con el óxido de nitrógeno ( $\text{NO}$ ) para formar dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) y el radical hidroxilo.  $\text{NO}_2$  da  $\text{O}(^3\text{P})$  a través de la fotólisis, formando así  $\text{O}_3$  después de la reacción con  $\text{O}_2$ .

Dado que el radical hidroxilo se forma durante la formación de  $\text{NO}_2$ , el balance de la secuencia de reacciones químicas que comienzan con el monóxido de carbono y conducen a la formación de ozono es:  $\text{CO} + 2\text{O}_2 + h\nu \rightarrow \text{CO}_2 + \text{O}_3$

(donde  $h\nu$  se refiere al fotón de luz absorbido por la molécula  $\text{NO}_2$  en la secuencia)

Aunque la creación de  $\text{NO}_2$  es el paso crítico que conduce a la formación de ozono de bajo nivel, también aumenta este ozono de otra manera, algo mutuamente excluyente, al reducir la cantidad de  $\text{NO}_2$  disponible para reaccionar con el ozono.

El monóxido de carbono es una molécula bioactiva que actúa como molécula señalizadora gaseosa. Es producido naturalmente por muchas vías enzimáticas y no enzimáticas, la mejor conocida de las cuales es la acción catabólica de la hemoxygenasa sobre el hemo derivado de hemoproteínas como la hemoglobina. Tras el primer informe de que el monóxido de carbono es un neurotransmisor normal

en 1993, ha recibido una atención clínica importante como regulador biológico. Debido al papel del monóxido de carbono en el cuerpo, las anomalías en su metabolismo se han relacionado con una variedad de enfermedades, incluidas las neurodegeneraciones, la hipertensión, la insuficiencia cardíaca y la inflamación patológica. En muchos tejidos, el monóxido de carbono actúa como antiinflamatorio, vasodilatador y estimulador del crecimiento neovascular. En estudios con modelos animales, el monóxido de carbono redujo la gravedad de la sepsis bacteriana inducida experimentalmente, la pancreatitis, la lesión por isquemia/reperfusión hepática, la colitis, la osteoartritis, la lesión pulmonar, el rechazo del trasplante de pulmón y el dolor neuropático, al mismo tiempo que favorecía la cicatrización de heridas en la piel. Por lo tanto, existe un interés significativo en el potencial terapéutico del monóxido de carbono como agente farmacéutico y estándar de atención clínica. La intoxicación por monóxido de carbono es el tipo más común de intoxicación mortal por aire en muchos países. Los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades estiman que varios miles de personas acuden a las salas de emergencia de los hospitales cada año para recibir tratamiento por envenenamiento por monóxido de carbono. Según el Departamento de Salud de Florida, "cada año, más de 500 estadounidenses mueren a causa de la exposición accidental al monóxido de carbono y miles más en los EE. UU. requieren atención médica de emergencia por envenenamiento por monóxido de carbono no fatal." La Asociación Estadounidense de Centros de Control de Intoxicaciones (AAPCC) informó 15,769 casos de envenenamiento por monóxido de carbono que resultaron en 39 muertes en 2007. En 2005, la CPSC informó 94 muertes por envenenamiento por monóxido de carbono relacionado con generadores. Se combina fácilmente con la hemoglobina para producir carboxihemoglobina que potencialmente afecta el intercambio de gases; por lo tanto, la exposición puede ser altamente tóxica. Concentraciones tan bajas como 667 ppm pueden hacer que hasta el 50 % de la hemoglobina del cuerpo se convierta en carboxihemoglobina. Un nivel de 50% de

carboxihemoglobina puede provocar convulsiones, coma y muerte. En los Estados Unidos, la OSHA limita los niveles de exposición a largo plazo en el lugar de trabajo por encima de 50 ppm. Además de afectar el suministro de oxígeno, el monóxido de carbono también se une a otras hemoproteínas como la mioglobina y el citocromo oxidasa mitocondrial, objetivos celulares metálicos y no metálicos para afectar muchas operaciones celulares.<sup>10</sup>

## **Coronavirus**

Los coronavirus son una familia de virus que causan enfermedades (desde el resfriado común hasta enfermedades respiratorias más graves) y circulan entre humanos y animales. En este caso, se trata del SARS-COV2. Apareció en China en diciembre pasado y provoca una enfermedad llamada COVID-19, que se extendió por el mundo y fue declarada pandemia global por la Organización Mundial de la Salud. Nuestra comprensión colectiva del virus y de la enfermedad aún está evolucionando. El virus se puede transmitir de persona a persona, incluso por aquellas que no presentan síntomas, por medio de gotas expulsadas al hablar o respirar. Esto hace que sea mucho más difícil saber cómo se está propagando. No hay buenas estimaciones sobre qué porcentaje de infecciones son asintomáticas o presentan escasa sintomatología. Las personas también se pueden contagiar de COVID-19 al tocar objetos o superficies contaminadas con el virus si después tocan sus ojos, nariz o boca. Se recomienda estar a más de 2 metros de otras personas para evitar un contagio. A esta práctica se le llama distanciamiento físico o distanciamiento social.<sup>1</sup>

## Capítulo 3

### Planteamiento del problema

- 3.1. **Identificación.** Las emisiones de CO que diariamente son producidas al entrar al contacto con el ambiente y al combinarse con otros contaminantes contribuyen principalmente al aumento de enfermedades respiratorias, además de contribuir al cambio climático.
  
- 3.2. **Justificación.** El realizar un análisis estadístico permitirá tener un registro del aumento o disminución de los contaminantes en la atmósfera. Ya que se tiene la hipótesis de que, durante el confinamiento y disminución de la actividad en el estado de Guanajuato, las emisiones del CO se redujeron contribuyendo así a mejorar la calidad del aire como también riesgo de enfermedades, es crucial para proteger la salud.
  
- 3.3. **Alcance.** Análisis de reportes de emisiones de CO en las instalaciones meteorológicas en los distintos municipios del estado de Guanajuato en los años 2018, 2019, 2020, 2021.

## **Capítulo 4**

### **Objetivos**

**4.1. Objetivos generales.** Realizar un análisis estadístico de las emisiones de CO durante el confinamiento en la pandemia en algunos municipios del estado de Guanajuato.

**4.2. Objetivos específicos:**

4.2.1 Realizar la recopilación de los datos de las emisiones de CO reportadas en la SMAOT, de los municipios de Celaya, Irapuato y Salamanca del estado de Guanajuato.

4.2.2 Dar tratamiento a los datos con respecto al gas estudiado.

4.2.3 Elaborar un análisis estadístico en el software RStudio.

4.2.4 Obtener análisis de varianza (ANOVA).

4.2.5 Analizar los resultados obtenidos.



## Capítulo 5

### Metodología

#### 5.1. Recopilación de los datos de las emisiones de CO

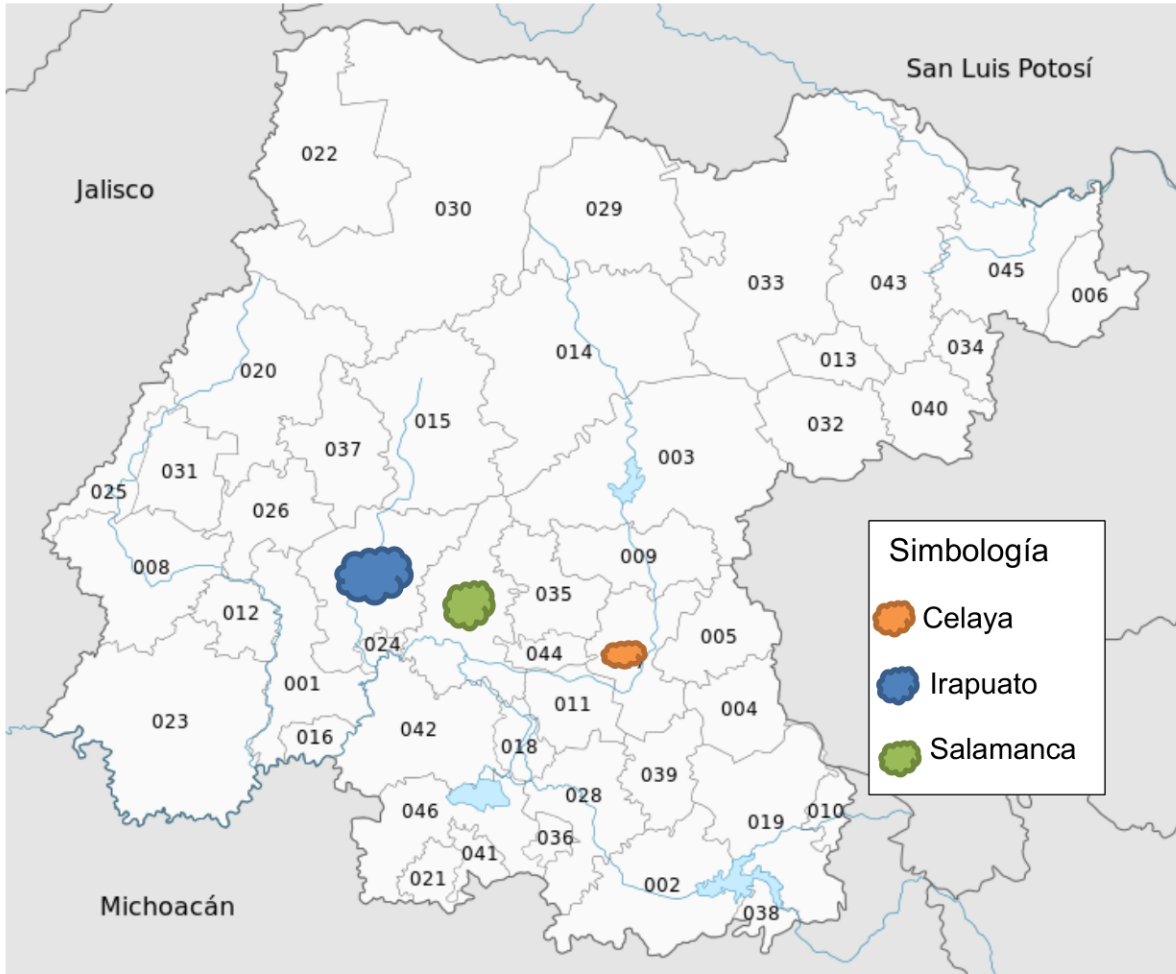
De la fuente de información de la Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial del estado de Guanajuato (SMAOT) se seleccionaron los municipios de Celaya, Irapuato y Salamanca que cuentan con estaciones de monitoreo de la calidad del aire para realizar un análisis estadístico. En la Tabla 1 se pueden observar las direcciones particulares de cada estación de monitoreo. Se seleccionaron los datos del rango de años del 2018 al 2021 para realizar dicho análisis en cada estación de monitoreo.

Tabla 1. Ubicación de las estaciones en los municipios.

| Municipio | Estaciones de monitoreo | Identificador | Dirección   |
|-----------|-------------------------|---------------|---|
| Celaya    | Seguridad publica       | SP            | C. Pípila, Col. Centro, C.P. 38000                          |
| Irapuato  | Bomberos                | BO            | Av. Juan José Torres Landa, Col. Álvaro Obregón, C.P. 36530 |
|           | Teódula                 | TE            | C. Tres, Col. San Marcos, C.P. 36590                        |
| Salamanca | Cruz Roja               | CR            | Blvd. Faja de Oro, Col. Bella vista, C.P. 36730             |
|           | Nativitas               | NT            | C. Benito Juárez, Col. Nativitas, C.P. 36770                |

Las estaciones de monitoreo de la calidad del aire fueron seleccionadas debido a que se encuentran dentro del corredor Industrial del Bajío dentro del estado de Guanajuato, por lo tanto, es un área con gran índice de emisiones contaminantes.

En la Fig.1. se puede observar la ubicación de las estaciones de monitoreo en el mapa del estado de Guanajuato.



*Figura 1. Municipios con estaciones de monitoreo de la calidad del aire el estado.*

## **5.2. Tratamiento a los datos**

Se realizó una recopilación de datos de CO a partir de archivos con extensión .csv de cada mes del año seleccionado, se reportan otras emisiones como: ozono (O<sub>3</sub>), dióxido de azufre SO<sub>2</sub>, dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), las cuales son reportadas por

ppm (pequeñas partículas valores promedio en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ),  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ , velocidad del viento, dirección del viento, temperatura, humedad relativa, presión atmosférica.

Debido a que los reportes son cada hora del día, se realizó un análisis previo en una hoja de cálculo obteniendo un promedio por día al mes.

### 5.3. Análisis estadístico

Se utilizó el software de computación estadística RStudio <sup>11</sup> en el que se escribió un código [Código 1] con la finalidad de obtener una distribución de las ppm de CO en cada mes, del año y de la estación correspondiente.

```
Co=c(Promedios de cada día);
bloques=gl(12,31,labels=c("ENE","FEB","MAR","ABR","MAY","JUN","JUL",
,"AGO","SEP","OCT","NOV","DIC"));
xtabs(co~bloques);
p.aov<-aov(co~bloques);
summary(p.aov);
plot(co~bloques,xlab="2018",ylab="PPM de CO",main="Celaya
ES.Seguridad Publica 2018")
comparison<-LSD.test(p.aov,"bloques",main="y.delt whit different
bloques")
LSD.test(p.aov,"bloques",alpha=0.05,console=TRUE)
```

*Código 1. Código en RStudio para obtener la distribución de las ppm de CO.*

A continuación, se muestran las definiciones de los comandos en el código de RStudio:

`Co`: Variable donde se guardan los datos de las emisiones ppm de CO.

`bloques`: Variable donde se guarda el número de tratamientos dentro de un grupo.

`gl`: Genera factores especificando el patrón de sus niveles

`labels`: Genera un conjunto adecuado de etiquetas de un objeto para usar en la impresión o trazado.

`xtabs`: Crea una tabla (opcionalmente una matriz dispersa) de factores de clasificación cruzada, generalmente contenidos en un marco utilizando una interfaz de fórmula.

`aov`: Ajusta un modelo de análisis de varianza (ANOVA) para cada estrato.

En un análisis de varianza se divide la variación total de las mediciones de respuesta en partes que pueden ser atribuidas a varios factores de interés para el experimentador. Si el experimento ha sido debidamente diseñado, estas pueden usarse entonces para contestar preguntas acerca de los efectos de los diversos factores en la respuesta de interés.

El análisis de varianza se puede hacer no sólo para comparar dos medias sino también para hacer comparaciones de más de dos medias poblacionales y para determinar los efectos de varios factores en diseños experimentales más complejos. Sea  $X_{ij}$  la  $j$ -ésima medición ( $j=1,2,\dots,n_j$ ) en la  $i$ -ésima muestra. El análisis de procedimiento de varianza empieza por considerar la variación total en el experimento, que es medida por una cantidad llamada suma total de cuadrados (TSS):

$$Total\ SS = \sum (X_{ij} - \bar{X})^2 = \sum X_{ij}^2 - \frac{(\sum X_{ij})^2}{n}$$

Este es el conocido numerador de la fórmula para la varianza muestral para todo conjunto de  $n_1+n_2+\dots+n_k$  mediciones. La segunda fórmula de cálculo se denomina a veces corrección para la media ( $CM$ ). Si  $G$  representamos el gran total de todas las  $n$  observaciones entonces:

$$CM = \frac{(\sum X_{ij})^2}{n} = \frac{G^2}{n}$$

Esta suma total de cuadrados (total SS) se divide en dos componentes. El primer componente SST, mide la variación entre las  $K$  medias muestrales:

$$SST = \sum n_i (x_i - \bar{x})^2 = \sum \frac{T_i^2}{n_j} - CM$$

Donde  $T$  es el total de observaciones para el tratamiento. El segundo componente es suma de cuadrados para el error (SSE) se usa para medir la variación agrupada dentro de  $K$  muestras <sup>12</sup>:

$$SSE = (n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2 + \dots + (n_k - 1)s_k^2$$
$$total\ SS = SST + SSE$$

`summary`: Es una función genérica utilizada para producir resúmenes de resultados de varias funciones de ajuste de modelos.

Los resultados de `summary` en el ANOVA de RStudio se muestran a continuación:

|           | Df | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F)   |     |
|-----------|----|--------|---------|---------|----------|-----|
| meses     | 11 | 17.778 | 1.6162  | 5.790   | 3.96e-05 | *** |
| años      | 3  | 0.437  | 0.1456  | 0.521   | 0.671    |     |
| Residuals | 33 | 9.212  | 0.2791  |         |          |     |

---  
Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

La columna **Df** muestra los grados de libertad de la variable independiente (el número de niveles de la variable menos 1) y los grados de libertad de los residuos (el número total de observaciones menos uno y menos el número de niveles de las variables independientes).

La columna **Sum Sq** muestra la suma de los cuadrados (también conocida como la variación total entre las medias del grupo y la media general).

La columna **Mean Sq** es la media de la suma de los cuadrados, calculada dividiendo la suma de los cuadrados por los grados de libertad de cada parámetro.

La columna **F value** es la estadística de prueba de la prueba  $F$ . Cuanto mayor sea el valor de  $F$ , más probable es que la variación provocada por la variable independiente sea real y no debida al azar.

La columna **Pr(>F)** es el valor  $p$  del estadístico  $F$ . Esto muestra qué tan probable es que el valor  $F$  calculado a partir de la prueba hubiera ocurrido si la hipótesis nula de que no hay diferencia entre las medias de los grupos fuera cierta.

`plot`: Permite crear un gráfico a partir de vectores, datos, matrices o incluso otros objetos, dependiendo de su clase o tipo de entrada.

`LSD.test`: Realiza múltiples comparaciones de tratamientos mediante (Least significant difference) LSD de Fisher.

El valor predeterminado  $\alpha$  es 0.05, devuelve los valores  $p$  ajustados utilizando uno de varios métodos. El método de Fisher es utilizado en el ANOVA para crear intervalos de confianza para todas las diferencias en parejas entre las medias de los niveles de los factores, controlando al mismo tiempo la masa de error individual en un nivel especificado.

Se calcula este valor para todas las diferencias de medias posibles y valoran cuales están por encima y cuales están por debajo.<sup>12</sup>

$$T = \frac{Y_i - Y_j}{\sqrt{S_E^2 \left( \frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)}} = t_{N-t}$$

$$LSD = t_{N-t} \left( \frac{\alpha}{2} \right) \cdot \sqrt{S_E^2 \left( \frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)}$$

$$|Y_i - Y_j| > LSD \rightarrow \text{Diferencia significativa}$$

$N$ = número total de observaciones

$t$ = número de niveles del factor

$n_i, n_j$ = tamaños muestrales de los niveles  $i$  y  $j$

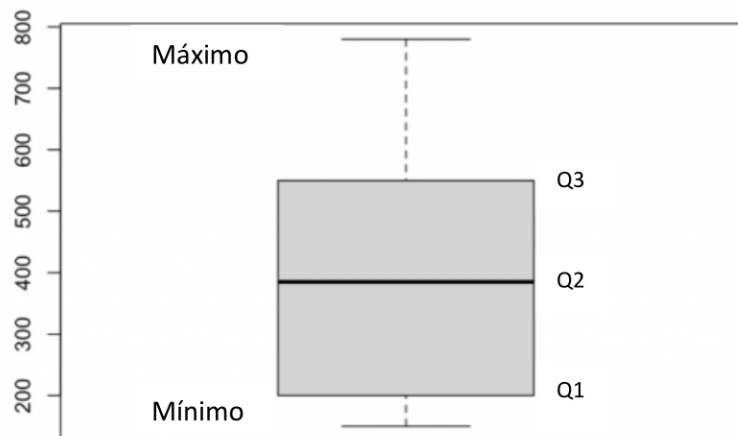
$S_E^2$ = estimación de la varianza del error o de residual

$Y_i, Y_j$ =medias muestrales de los niveles  $i$  y  $j$

$t_{N-t} \left( \frac{\alpha}{2} \right)$ = distribución t de student  $N-t$  grados de libertad y a un nivel de significación

$\frac{\alpha}{2}$ .

Para la representación gráfica de los datos se empleó el diagrama de caja (Fig. 2), es una representación de una variable cuantitativa o categórica con el propósito de identificar rápidamente los cuartiles del conjunto de datos.



*Figura 2. Componentes de diagrama de caja.*

La información que proporciona el diagrama de caja es la siguiente:

1. La parte inferior de la caja es el primer cuartil (Q1).
2. La barra del medio de la caja es la mediana o el segundo cuartil (Q2).
3. La parte superior de la caja es el tercer cuartil (Q3).
4. El rango intercuartílico o RIC sería la altura de la caja, es decir, la diferencia entre Q3 y Q1.
5. Cuando hay datos que salen del rango del máximo o mínimo se les llama valores atípicos.

## **Capítulo 6**

### **Resultados**

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos del análisis estadístico del código en RStudio de los reportes de las emisiones de CO en los municipios de Celaya, Irapuato y Salamanca.

#### **6.1 Análisis de datos**

Uno de los resultados obtenidos del código con el comando de `bloques` son los datos que representan la suma de los valores de ppm CO en cada mes en las estaciones de monitoreo en los municipios de Celaya, Irapuato y Salamanca como se pueden observar en la Tabla 2.

Los resultados del ANOVA y del método de comparación (LSD de Fisher) se reportan en las Tablas 3-7. Los datos muestran el análisis en cada uno de los años estudiados. Los grupos que aparecen con las mismas letras no tienen una diferencia significativa estadísticamente. En el caso particular de la estación NT en el año 2018 no se reportaron datos hasta el mes de diciembre.



## Capítulo 6. Resultados.

Tabla 2. Resultados de los valores que representan la suma de los valores ppm CO en cada mes, obtenidos del código RStudio de cada una de las estaciones de monitoreo de los municipios Celaya, Irapuato y Salamanca

| Municipio | Estación | Año  | Meses  |       |       |       |        |       |       |       |       |       |        |        |
|-----------|----------|------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
|           |          |      | Ene    | Feb   | Mar   | Abr   | May    | Jun   | Jul   | Ago   | Sep   | Oct   | Nov    | Dic    |
| Celaya    | SP       | 2018 | 9.50   | 7.61  | 6.37  | 3.69  | 3.03   | 5.16  | 5.09  | 3.80  | 0.80  | 6.25  | 9.43   | 12.52  |
|           |          | 2019 | 10.35  | 9.19  | 7.43  | 7.33  | 7.16   | 5.55  | 5.89  | 6.02  | 3.77  | 6.10  | 7.57   | 12.10  |
|           |          | 2020 | 66.10  | 50.05 | 51.12 | 55.33 | 68.07  | 14.99 | 8.61  | 0.00  | 11.67 | 20.24 | 35.49  | 56.94  |
|           |          | 2021 | 71.85  | 67.78 | 76.54 | 4.09  | 33.77  | 54.95 | 54    | 16.05 | 17.08 | 27.72 | 29.63  | 36.87  |
| Irapuato  | BO       | 2018 | 21.14  | 15.63 | 13.08 | 7.28  | 11.77  | 11.44 | 13.02 | 69.44 | 9.82  | 6.18  | 0.00   | 20.96  |
|           |          | 2019 | 15.17  | 14.28 | 13.38 | 10.05 | 12.56  | 1.70  | 12.40 | 12.20 | 3.81  | 2.34  | 12.93  | 19.12  |
|           |          | 2020 | 36.64  | 53.36 | 51.29 | 54.57 | 78.37  | 81.16 | 11.93 | 16.59 | 22.27 | 32.67 | 45.45  | 66.32  |
|           |          | 2021 | 83.24  | 83.85 | 92.23 | 84.81 | 117.64 | 0.00  | 0.00  | 2.21  | 17.65 | 45.98 | 50.67  | 0.00   |
|           | TE       | 2018 | 17.68  | 13.05 | 12.62 | 9.51  | 9.52   | 7.56  | 7.85  | 7.53  | 7.59  | 8.76  | 15.58  | 21.63  |
|           |          | 2019 | 11.84  | 9.86  | 8.99  | 7.61  | 8.47   | 4.96  | 5.52  | 6.35  | 3.04  | 7.13  | 9.63   | 15.13  |
|           |          | 2020 | 36.87  | 36.48 | 36.68 | 34.95 | 37.70  | 37.27 | 40.36 | 43.78 | 43.82 | 40.37 | 28.47  | 35.89  |
|           |          | 2021 | 40.65  | 33.59 | 37.52 | 38.83 | 37.45  | 33.60 | 37.03 | 37.66 | 39.19 | 38.34 | 28.69  | 37.40  |
| Salamanca | CR       | 2018 | 14.78  | 10.32 | 8.46  | 8.10  | 9.03   | 6.39  | 8.14  | 7.12  | 5.98  | 4.99  | 9.49   | 14.61  |
|           |          | 2019 | 14.54  | 13.95 | 15.21 | 12.54 | 12.66  | 10.94 | 12.93 | 14.19 | 10.92 | 11.04 | 15.03  | 21.79  |
|           |          | 2020 | 59.10  | 52.51 | 22.75 | 19.72 | 24.16  | 23.38 | 21.93 | 24.41 | 6.83  | 26.21 | 45.24  | 63.41  |
|           |          | 2021 | 78.76  | 31.56 | 16.58 | 14.37 | 12.57  | 14.58 | 16.21 | 16.79 | 14.60 | 17.09 | 18.79  | 29.71  |
|           | NT       | 2018 | 0.00   | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 12.52  |
|           |          | 2019 | 12.47  | 4.18  | 10.71 | 9.82  | 10.99  | 10.47 | 9.81  | 7.07  | 8.94  | 9.52  | 11.40  | 17.02  |
|           |          | 2020 | 72.66  | 77.88 | 37.85 | 37.25 | 84.86  | 96.36 | 70.00 | 80.64 | 84.59 | 95.53 | 104.82 | 112.57 |
|           |          | 2021 | 122.80 | 75.90 | 32.76 | 37.50 | 41.39  | 7.79  | 21.31 | 21.95 | 24.11 | 26.72 | 31.34  | 47.94  |

## Capítulo 6. Resultados.

Tabla 3. Resultados del método LSD de Fisher del municipio de Celaya estación SP.

| Meses | 2018     |        | 2019     |        | 2020     |        | 2021     |        |
|-------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
|       | Promedio | Grupos | Promedio | Grupos | Promedio | Grupos | Promedio | Grupos |
| Ene   | 0.31     | B      | 0.34     | B      | 2.13     | A      | 2.32     | A      |
| Feb   | 0.27     | B      | 0.33     | B      | 1.73     | BC     | 2.42     | A      |
| Mar   | 0.20     | C      | 0.24     | CDE    | 1.65     | C      | 2.27     | A      |
| Abr   | 0.13     | DE     | 0.25     | CD     | 1.35     | B      | 0.14     | G      |
| May   | 0.10     | E      | 0.23     | CDEF   | 2.20     | A      | 1.09     | CD     |
| Jun   | 0.17     | C      | 0.18     | F      | 0.50     | EF     | 1.83     | B      |
| Jul   | 0.16     | CD     | 0.19     | EF     | 0.28     | G      | 1.74     | B      |
| Ago   | 0.13     | DE     | 0.19     | DEF    | 0.00     | H      | 0.52     | F      |
| Sep   | 0.03     | F      | 0.13     | G      | 0.39     | FG     | 0.57     | F      |
| Oct   | 0.20     | C      | 0.20     | DEF    | 0.65     | E      | 0.90     | E      |
| Nov   | 0.31     | B      | 0.25     | C      | 1.18     | D      | 0.99     | DE     |
| Dic   | 0.40     | A      | 0.49     | A      | 1.84     | B      | 1.19     | C      |

Tabla 4. Resultados del método LSD de Fisher municipio de Irapuato estación de BO.

| Meses | 2018     |        | 2019     |        | 2020     |        | 2021     |        |
|-------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
|       | Promedio | Grupos | Promedio | Grupos | Promedio | Grupos | Promedio | Grupos |
| Ene   | 0.68     | B      | 0.49     | BC     | 1.18     | E      | 2.68     | C      |
| Feb   | 0.56     | C      | 0.51     | B      | 1.84     | C      | 3.00     | B      |
| Mar   | 0.42     | D      | 0.43     | BCD    | 1.65     | CD     | 2.98     | B      |
| Abr   | 0.25     | EF     | 0.33     | E      | 1.82     | C      | 2.83     | BC     |
| May   | 0.38     | D      | 0.40     | CDE    | 2.53     | A      | 3.79     | A      |
| Jun   | 0.38     | D      | 0.06     | F      | 2.70     | A      | 0.00     | G      |
| Jul   | 0.42     | D      | 0.40     | CDE    | 0.38     | G      | 0.00     | G      |
| Ago   | 2.24     | A      | 0.39     | DE     | 0.53     | FG     | 0.07     | G      |
| Sep   | 0.33     | DE     | 0.13     | F      | 0.74     | F      | 0.59     | F      |
| Oct   | 0.20     | F      | 0.8      | F      | 1.05     | E      | 1.48     | E      |
| Nov   | 0.00     | G      | 0.43     | BCD    | 1.51     | D      | 1.69     | D      |
| Dic   | 0.68     | B      | 0.62     | A      | 2.14     | B      | 0.00     | G      |

Tabla 5. Resultados del método LSD de Fisher municipio de Irapuato estación de TE.

| Meses | 2018     |        | 2019     |        | 2020     |        | 2021     |        |
|-------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
|       | Promedio | Grupos | Promedio | Grupos | Promedio | Grupos | Promedio | Grupos |
| Ene   | 0.57     | B      | 0.38     | B      | 1.19     | C      | 1.31     | A      |
| Feb   | 0.47     | CD     | 0.35     | B      | 1.26     | BC     | 1.20     | CDE    |

## Capítulo 6. Resultados.

|            |      |    |      |     |      |    |      |      |
|------------|------|----|------|-----|------|----|------|------|
| <b>Mar</b> | 0.41 | D  | 0.29 | CD  | 1.18 | C  | 1.21 | CDE  |
| <b>Abr</b> | 0.32 | E  | 0.25 | DE  | 1.16 | C  | 1.30 | ABC  |
| <b>May</b> | 0.31 | E  | 0.28 | CD  | 1.22 | BC | 1.21 | CDE  |
| <b>Jun</b> | 0.25 | E  | 0.16 | G   | 1.24 | BC | 1.12 | E    |
| <b>Jul</b> | 0.25 | E  | 0.18 | FG  | 1.30 | B  | 1.20 | DE   |
| <b>Ago</b> | 0.25 | E  | 0.20 | EFG | 1.41 | A  | 1.22 | BCD  |
| <b>Sep</b> | 0.25 | E  | 0.10 | H   | 1.46 | A  | 1.31 | AB   |
| <b>Oct</b> | 0.29 | C  | 0.23 | DEF | 1.30 | B  | 1.24 | ABCD |
| <b>Nov</b> | 0.52 | BC | 0.32 | BC  | 0.95 | D  | 0.96 | F    |
| <b>Dic</b> | 0.70 | A  | 0.49 | A   | 1.16 | C  | 1.21 | CDE  |

Tabla 6. Resultados del método LSD de Fisher municipio de Salamanca estación de CR.

| Meses      | 2018     |        | 2019     |        | 2020     |        | 2021     |        |
|------------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
|            | Promedio | Grupos | Promedio | Grupos | Promedio | Grupos | Promedio | Grupos |
| <b>Ene</b> | 0.48     | A      | 0.47     | BC     | 1.91     | B      | 2.54     | A      |
| <b>Feb</b> | 0.37     | B      | 0.50     | B      | 1.81     | B      | 1.13     | B      |
| <b>Mar</b> | 0.27     | CDE    | 0.49     | B      | 0.73     | DEF    | 0.54     | DEF    |
| <b>Abr</b> | 0.27     | CDE    | 0.41     | CD     | 0.66     | F      | 0.48     | EF     |
| <b>May</b> | 0.30     | CD     | 0.41     | CD     | 0.78     | DE     | 0.40     | F      |
| <b>Jun</b> | 0.21     | EFG    | 0.36     | D      | 0.78     | DE     | 0.49     | DEF    |
| <b>Jul</b> | 0.26     | CDEF   | 0.41     | CD     | 0.71     | EF     | 0.53     | DEF    |
| <b>Ago</b> | 0.23     | DEF    | 0.46     | BC     | 0.79     | DE     | 0.55     | DEF    |
| <b>Sep</b> | 0.19     | FG     | 0.36     | D      | 0.23     | G      | 0.49     | DEF    |
| <b>Oct</b> | 0.16     | G      | 0.36     | D      | 0.85     | D      | 0.55     | DE     |
| <b>Nov</b> | 0.32     | BC     | 0.50     | B      | 1.511    | C      | 0.63     | D      |
| <b>Dic</b> | 0.47     | A      | 0.70     | A      | 2.04     | A      | 0.96     | C      |

Tabla 7. Resultados del método LSD de Fisher municipio de Salamanca estación NT.

| Meses      | 2018     |        | 2019     |        | 2020     |        | 2021     |        |
|------------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
|            | Promedio | Grupos | Promedio | Grupos | Promedio | Grupos | Promedio | Grupos |
| <b>Ene</b> | 0.00     | B      | 0.40     | B      | 2.34     | D      | 3.96     | A      |
| <b>Feb</b> | 0.00     | B      | 0.15     | F      | 2.69     | C      | 2.71     | B      |
| <b>Mar</b> | 0.00     | B      | 0.35     | BCD    | 1.22     | E      | 1.06     | EF     |
| <b>Abr</b> | 0.00     | B      | 0.33     | BCD    | 1.24     | E      | 1.25     | DE     |
| <b>May</b> | 0.00     | B      | 0.35     | BCD    | 2.74     | C      | 1.34     | CD     |
| <b>Jun</b> | 0.00     | B      | 0.35     | BCD    | 3.21     | B      | 0.03     | H      |
| <b>Jul</b> | 0.00     | B      | 0.32     | CD     | 2.26     | D      | 0.69     | G      |
| <b>Ago</b> | 0.00     | B      | 0.23     | E      | 2.60     | c      | 0.71     | G      |

|            |      |   |      |    |      |   |      |    |
|------------|------|---|------|----|------|---|------|----|
| <b>Sep</b> | 0.00 | B | 0.30 | DE | 2.82 | C | 0.80 | G  |
| <b>Oct</b> | 0.00 | B | 0.31 | CD | 3.08 | B | 0.86 | FG |
| <b>Nov</b> | 0.00 | B | 0.38 | BC | 3.49 | A | 1.05 | EF |
| <b>Dic</b> | 0.41 | A | 0.55 | A  | 3.63 | A | 1.55 | C  |

## **6.2 Resultados obtenidos del análisis estadístico**

En el municipio de Celaya, la estación de monitoreo SP, durante el año 2018 las emisiones de partículas ppm de CO reportadas oscilan entre 0.0 - 0.8 ppm, manteniendo la media de 0.35 ppm de CO.

En el año 2019 las partículas se mantienen de igual manera de 0.0 - 0.1 ppm de CO, manteniendo la media de 0.17 ppm.

En el 2020 se reporta un aumento en las ppm de CO, donde van de 0.0 hasta 3.0 ppm, comenzando los primeros meses del año con emisiones reportadas entre 1 y 3.0 ppm, descendiendo a mitad de año manteniéndose entre 0.0 - 1.5 ppm terminando el año con el aumento de las emisiones que van de 1.0 - 3.0 ppm.

En el 2021 los reportes de las emisiones de CO durante los primeros meses del año van de 2.0 - 4.0 ppm, con una variante durante mediados de año que van con reportes desde 0.0 - 2.0 ppm, con un ligero aumento constante en los ultimes meses oscila 0.5 - 1.5 ppm de CO. Estos datos se muestran en la Figura 3.

## Capítulo 6. Resultados.

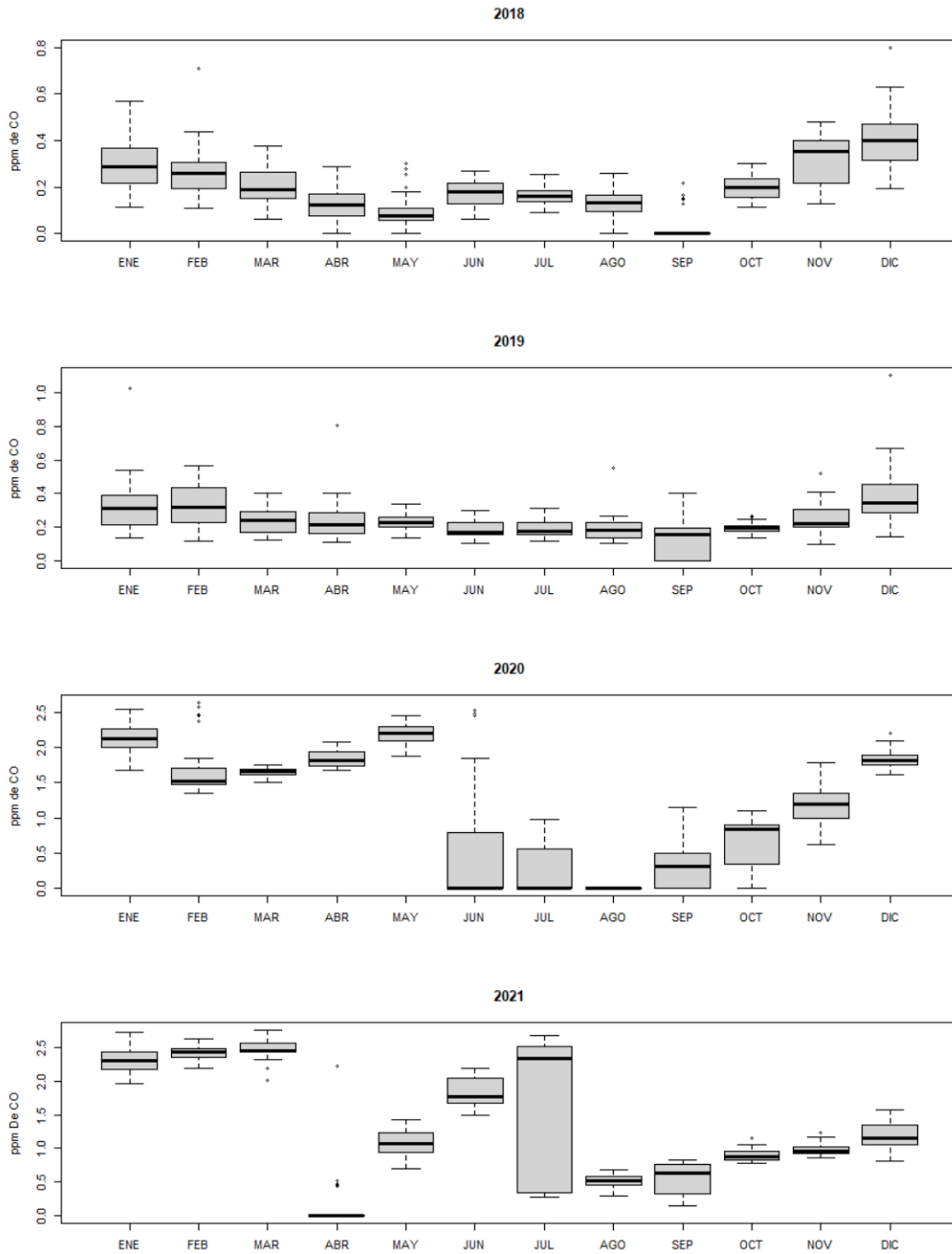


Figura 3. Representación gráfica de los promedios diarios de las ppm de CO en la estación de monitoreo SP en el periodo 2018-2021 Celaya.

## Capítulo 6. Resultados.

En la Tabla 8 se pueden observar los valores de los resultados obtenidos del ANOVA, donde se determinó la relación de los meses con respecto a los años de la estación SP en Celaya.

Tabla 8. Resultados del ANOVA estación SP.

| Variables         | Grados libertad | Suma de cuadrados | Cociente entre la suma de cuadrados | F     | Pr(>F)                | Códigos de significancia |
|-------------------|-----------------|-------------------|-------------------------------------|-------|-----------------------|--------------------------|
| <b>Meses</b>      | 11              | 17.778            | 1.6162                              | 5.790 | $3.96 \times 10^{-5}$ | ***                      |
| <b>Años</b>       | 3               | 0.437             | 0.1456                              | 0.521 | 0.671                 |                          |
| <b>Residuales</b> | 33              | 9.212             | 0.2791                              |       |                       |                          |

Nota: los códigos de significancia corresponden a diferentes valores de p estadístico. ' \*\*\* ' corresponden al rango [0,0.001], ' \*\* ' corresponde al rango [0.001,0.01], ' \* ' corresponde al rango [0.01,0.05], ' . ' corresponde al rango [0.05,0.1], ' ' corresponde al rango [0.1,1].

En la variable **Meses** el valor de Pr es menor que el valor de F por lo tanto existe una diferencia significativa entre los valores promedio de los meses. En cambio, en la variable **Años** el valor de Pr es mayor al valor F esto quiere decir que no hay una diferencia significativa en la variable respecto a los años como se puede observar en la Tabla 9.

Tabla 9. Resultados del análisis LSD de Fisher para la estación SP con  $\alpha=0.05$ .

| Años        | Promedio | Grupos |
|-------------|----------|--------|
| <b>2018</b> | 0.8178   | A      |
| <b>2019</b> | 0.7817   | A      |
| <b>2020</b> | 0.8055   | A      |
| <b>2021</b> | 0.5835   | A      |

En el municipio de Irapuato, en la estación de monitoreo BO.

Durante el año 2018 las emisiones reportadas ppm de CO se mantienen de 0.0 - 2.0 ppm, manteniéndose en 0.0 - 1.0 ppm con un pico en el mes de julio llegando a 2.5 ppm volviendo a bajar y mantenerse entre 0.0 - 1.0 ppm de CO.

En el año 2019 las emisiones a principio y finales de año se mantienen en el margen de 0.0 - 1.5 ppm de CO a mediados de año los reportes llegan a reportar emisiones de 0 continuando a un rango no mayor de 1.0 ppm de CO.

En el año 2020 las emisiones son variantes durante todos los meses, iniciando con partículas en 1.0 - 4.0 ppm durante los primeros seis meses, teniendo un bajo reporte de 0.0 ppm en el mes de julio, aumentando en los siguientes meses, llegando de nuevo a un reporte de hasta 3.0 ppm a final de año.

En el año 2021 las emisiones llegaron a ser mucho más altas que en los anteriores, llegando a reportes de hasta 5.0 ppm de CO, comenzando con reportes de 2.0 - 5.0 ppm de CO durante el primer semestre del año, bajando hasta 0.0 ppm durante tres meses, para después aumentar a partículas de 0.0 - 0.5 ppm, terminando finalmente con 0.0 ppm el año. Estos datos se muestran en la Figura 4.

## Capítulo 6. Resultados.

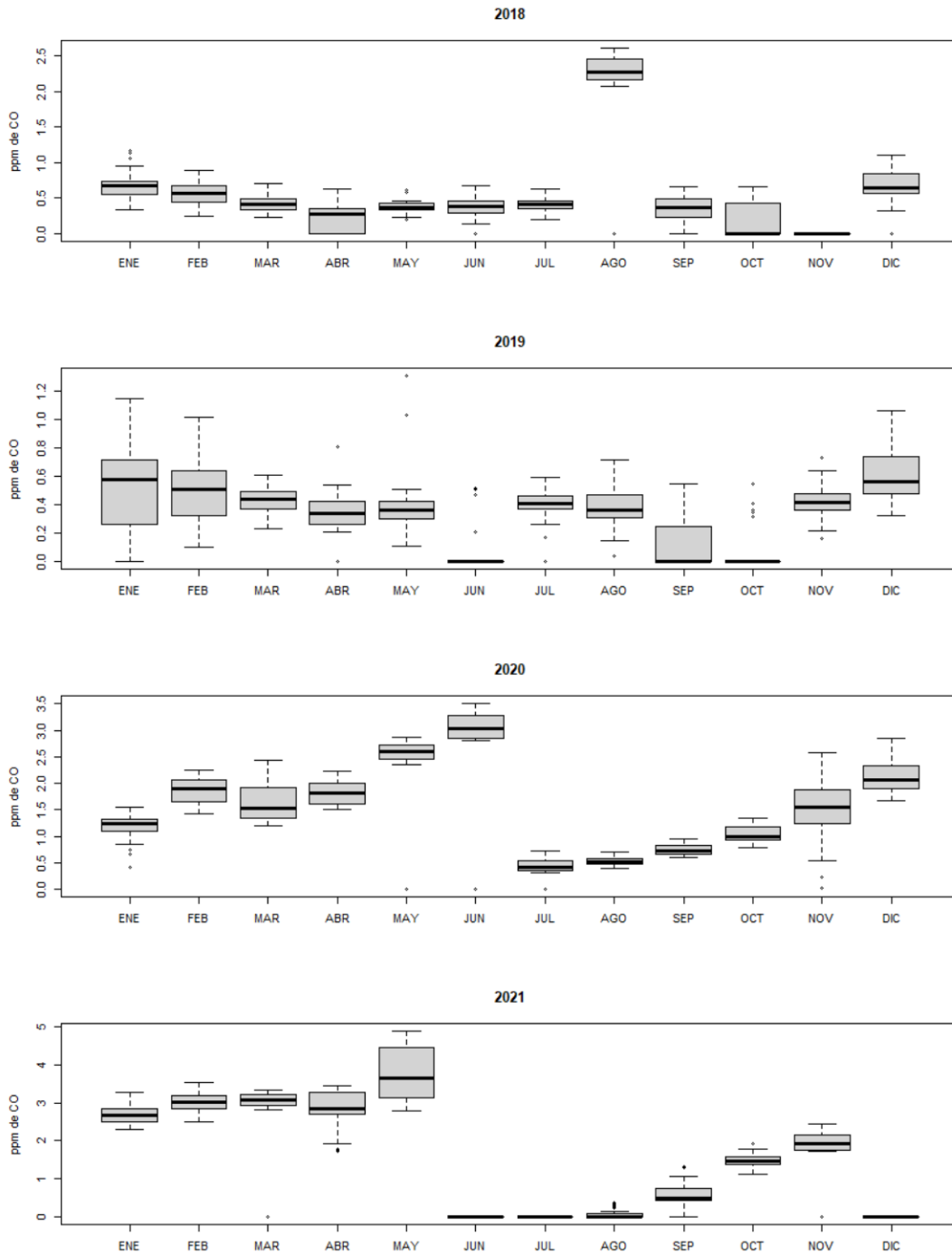


Figura 4. Representación gráfica de los promedios diarios de las ppm de CO en la estación de monitoreo BO en el periodo 2018-2021, Irapuato.



## Capítulo 6. Resultados.

---

En la Tabla 10 se muestran los valores de los resultados obtenidos del ANOVA, donde se determinó la relación de los meses es menor con respecto a los años de la estación BO en Irapuato.

Tabla 10. Resultados del ANOVA estación BO.

| VARIABLES         | Grados libertad | Suma de cuadrados | Cociente entre la suma de cuadrados | F     | Pr(>F) | Códigos de significancia |
|-------------------|-----------------|-------------------|-------------------------------------|-------|--------|--------------------------|
| <b>Meses</b>      | 11              | 25.399            | 2.3090                              | 3.573 | 0.0022 | **                       |
| <b>Años</b>       | 3               | 0.547             | 0.1825                              | 0.282 | 0.8377 |                          |
| <b>Residuales</b> | 33              | 21.326            | 0.6463                              |       |        |                          |

En la variable **Meses** el valor de Pr es menor que el valor de  $F$  esto quiere decir que hay una diferencia significativa entre los valores promedio de los meses. En la variable **Años** el valor de Pr es mayor al valor  $F$  esto quiere decir que no hay una diferencia significativa en la variable respecto a los años como se puede observar en la Tabla 11.

Tabla 11. Resultados del análisis LSD de Fisher para la estación BO con  $\alpha=0.05$ .

| Años        | Promedio  | Grupos |
|-------------|-----------|--------|
| <b>2018</b> | 1.1609040 | A      |
| <b>2019</b> | 0.9922480 | A      |
| <b>2020</b> | 0.9881404 | A      |
| <b>2021</b> | 0.8602378 | A      |

## **Capítulo 6. Resultados.**

---

En segunda estación del municipio de Irapuato, la estación de monitoreo TE.

En el año 2018 las emisiones ppm CO se mantuvieron en 0.0 - 0.1 ppm durante todo el año.

En el año 2019 las emisiones siguieron bajas de 0.0 - 1.0 ppm durante el transcurso del año, aumentando en los meses de fin de año hasta 1.0 ppm constante las emisiones reportadas.

En el año 2020 las emisiones aumentaron un poco a comparación del año anterior, comienza el primer semestre con ppm en 1.0 - 1.5, teniendo una baja a finales de año, pero permaneciendo en el rango de 1.15 ppm de CO.

En el 2021 las partículas ppm de CO se mantienen constantes durante el transcurso del año de 1.0 - 2.0 ppm. En la Figura 5 se muestran los datos.

## Capítulo 6. Resultados.

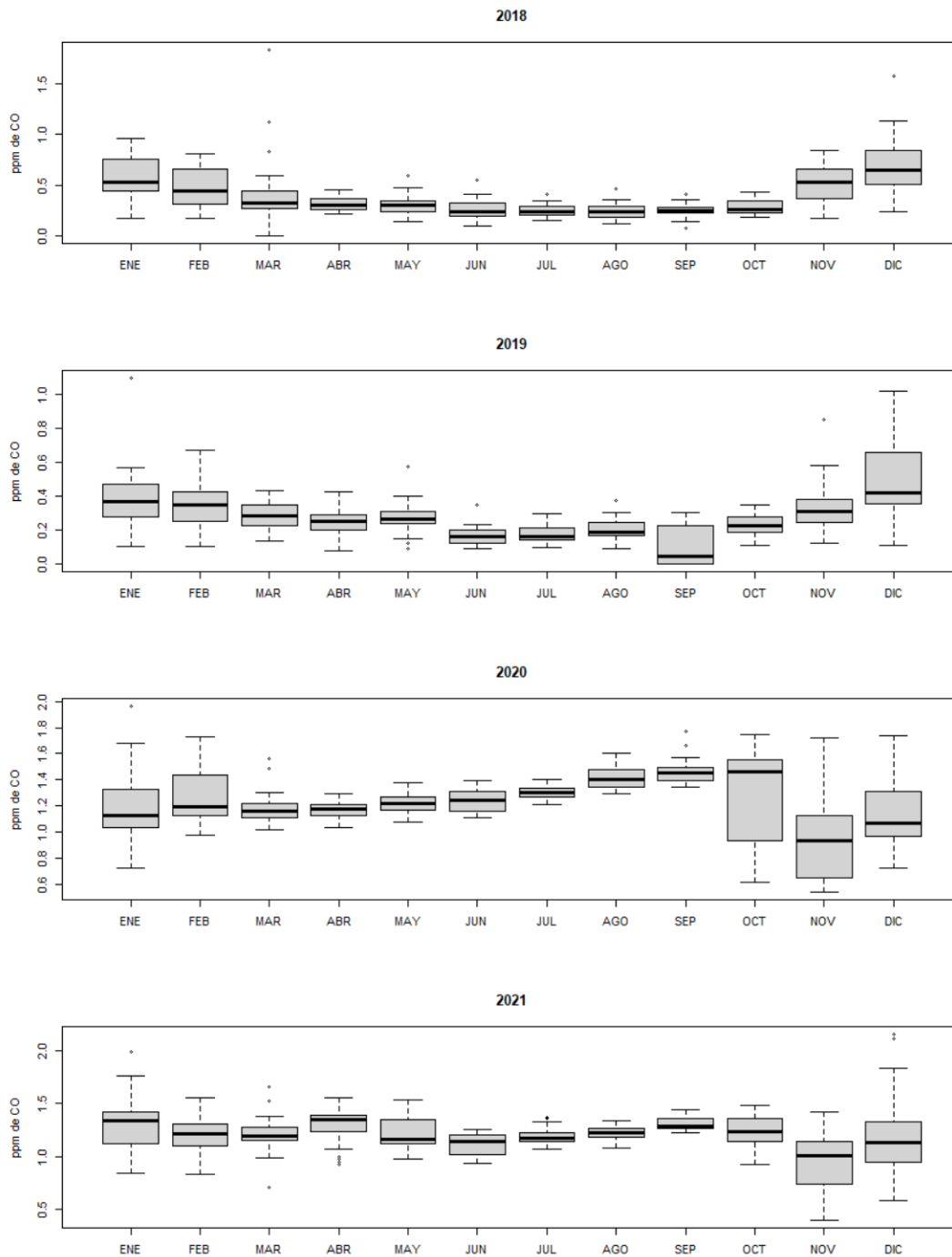


Figura 5. Representación gráfica de los promedios diarios de las ppm de CO en la estación de monitoreo TE en el periodo 2018-2021, Irapuato.

## Capítulo 6. Resultados.

---

En la Tabla 12. Se pueden observar los valores de los resultados obtenidos del ANOVA, donde se determinó la relación de los meses con respecto a los años en la estación TE en Irapuato.

Tabla 12. Resultados del ANOVA estación TE.

| <b>Variables</b>  | <b>Grados libertad</b> | <b>Suma de cuadrados</b> | <b>Cociente entre la suma de cuadrados</b> | <b>F</b> | <b>Pr(&gt;F)</b>    | <b>Códigos de significancia</b> |
|-------------------|------------------------|--------------------------|--|----------|---------------------|---------------------------------|
| <b>Meses</b>      | 11                     | 9.844                    | 0.8949                                     | 61.959   | $2 \times 10^{-16}$ | ***                             |
| <b>Años</b>       | 3                      | 0.044                    | 0.0146                                     | 1.012    | 0.4                 |                                 |
| <b>Residuales</b> | 33                     | 0.477                    | 0.0144                                     |          |                     |                                 |

En la variable de los **Meses** el valor de Pr es menor que el valor de  $F$  esto quiere decir que hay una diferencia significativa entre los valores promedio de los meses. En la variable **Años** el valor de Pr es menor al valor  $F$  esto quiere decir que si hay una diferencia significativa en la variable respecto a los años, en los grupos se puede ver que estadísticamente el año 2018 y 2021 son iguales estadísticamente y el 2019 y 2020 son iguales estadísticamente como se puede observar en la Tabla 13.

Tabla 13. Resultados del análisis LSD de Fisher para la estación TE con  $\alpha=0.5$

| <b>Años</b> | <b>Promedio</b> | <b>Grupos</b> |
|-------------|-----------------|---------------|
| <b>2018</b> | 0.7982501       | A             |
| <b>2019</b> | 0.7589402       | B             |
| <b>2020</b> | 0.7303092       | B             |
| <b>2021</b> | 0.8045391       | A             |

El municipio de Salamanca en la estación de monitoreo CR.

En el año 2018, los reportes de las emisiones de CO se mantienen entre 0.0 - 1.0 ppm de CO, siendo los primeros y los últimos meses los de mayor reporte de emisiones de 0.4 - 1.0 ppm de CO.

En el año 2019 los reportes de las emisiones siguen ligeramente cambiantes durante el transcurso del año, que van del 0.2 - 0.4 ppm de CO.

En el año 2020 las emisiones de CO reportadas en la estación son constantes durante el año de 1.0 - 2.0 ppm de CO.

En el año 2021 el primer bimestre del año reporta ppm de 2.0 - 3.0 de CO, teniendo un descenso después de primer bimestre el cual permanece constante las emisiones durante el transcurso de año de 0.5 – 1.0 ppm de CO. Estos datos se muestran en la Figura 6.

## Capítulo 6. Resultados.

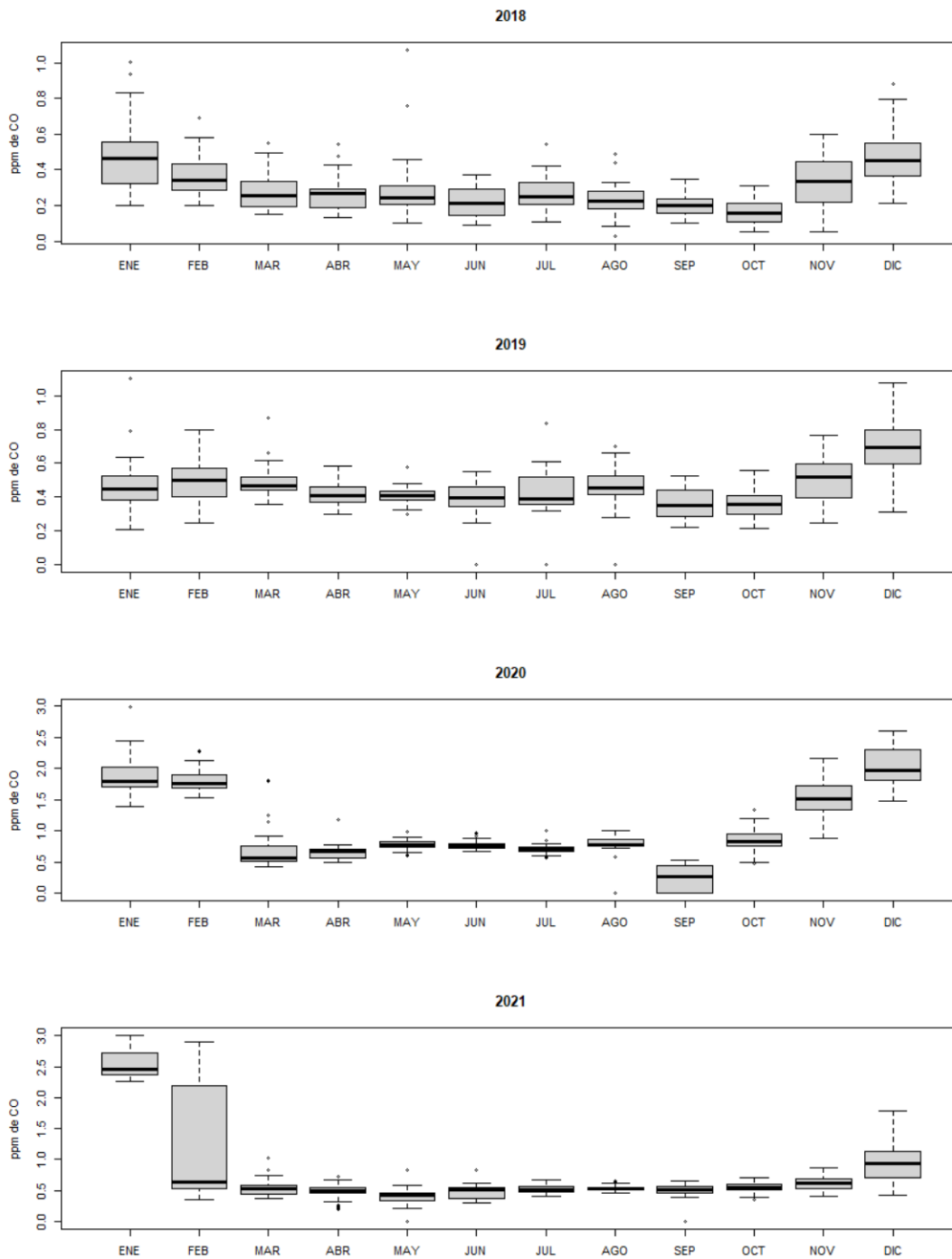


Figura 6. Representación gráfica de los promedios diarios de las ppm de CO en la estación de monitoreo CR en el periodo de 2018-2021, Salamanca.

## Capítulo 6. Resultados.

---

En la Tabla 14 se pueden observar los valores de los resultados obtenidos del ANOVA, donde se determinó a la relación de los meses con respecto a los años en la estación CR en Salamanca.

Tabla 14. Resultados del ANOVA estación CR.

| VARIABLES         | Grados Libertad | Suma de cuadrados | Cociente entre la suma de cuadrados | F     | Pr(>F) | Códigos de significancia |
|-------------------|-----------------|-------------------|-------------------------------------|-------|--------|--------------------------|
| <b>Meses</b>      | 11              | 5.847             | 0.5316                              | 2.831 | 0.0102 | *                        |
| <b>Años</b>       | 3               | 0.124             | 0.0413                              | 0.220 | 0.8817 |                          |
| <b>Residuales</b> | 33              | 6.197             | 0.1878                              |       |        |                          |

En la variable de los **Meses** el valor de Pr es menor que el valor de  $F$  esto quiere decir que hay una diferencia significativa entre los valores promedio de los meses. En la variable **Años** el valor de Pr es mayor al valor  $F$  esto quiere decir que no hay una diferencia significativa en la variable respecto a los años como se puede observar en la Tabla 15.

Tabla 15. Resultados del análisis LSD de Fisher para la estación CR con  $\alpha=0.05$

| Años        | Promedio  | Grupos |
|-------------|-----------|--------|
| <b>2018</b> | 0.7129348 | A      |
| <b>2019</b> | 0.6681877 | A      |
| <b>2020</b> | 0.6301199 | A      |
| <b>2021</b> | 0.5745138 | A      |

## **Capítulo 6. Resultados.**

---

En la estación de monitoreo NT, también del municipio de Salamanca.

En el año 2018 no se reportaron emisiones de CO durante el año, a excepción del mes de diciembre las cuales se mantuvieron de 0.2 - 0.5 ppm de CO.

En el año 2019 las emisiones de CO se registraron de 0.0 - 1.3 ppm, siendo 0.2 - 0.5 ppm el rango en el que se reportaron durante el transcurso del año.

En el año 2020 las emisiones de CO durante el primer bimestre se registraron de 2.0 - 3.0 ppm, descendiendo en el segundo bimestre a 0.5 - 1.5 ppm, aumentando de nuevo en el segundo semestre del año con partículas de 2.0 - 4.0 ppm de CO.

En el año 2021 las emisiones reportadas de CO inician con valores de 4.0 - 5.0 ppm, descendiendo después del resto del año, siendo constantes lo que resta del año con emisiones de 0.5 - 1.8 ppm de CO. En la Figura 7 que se muestra a continuación se pueden observar los datos.



## Capítulo 6. Resultados.

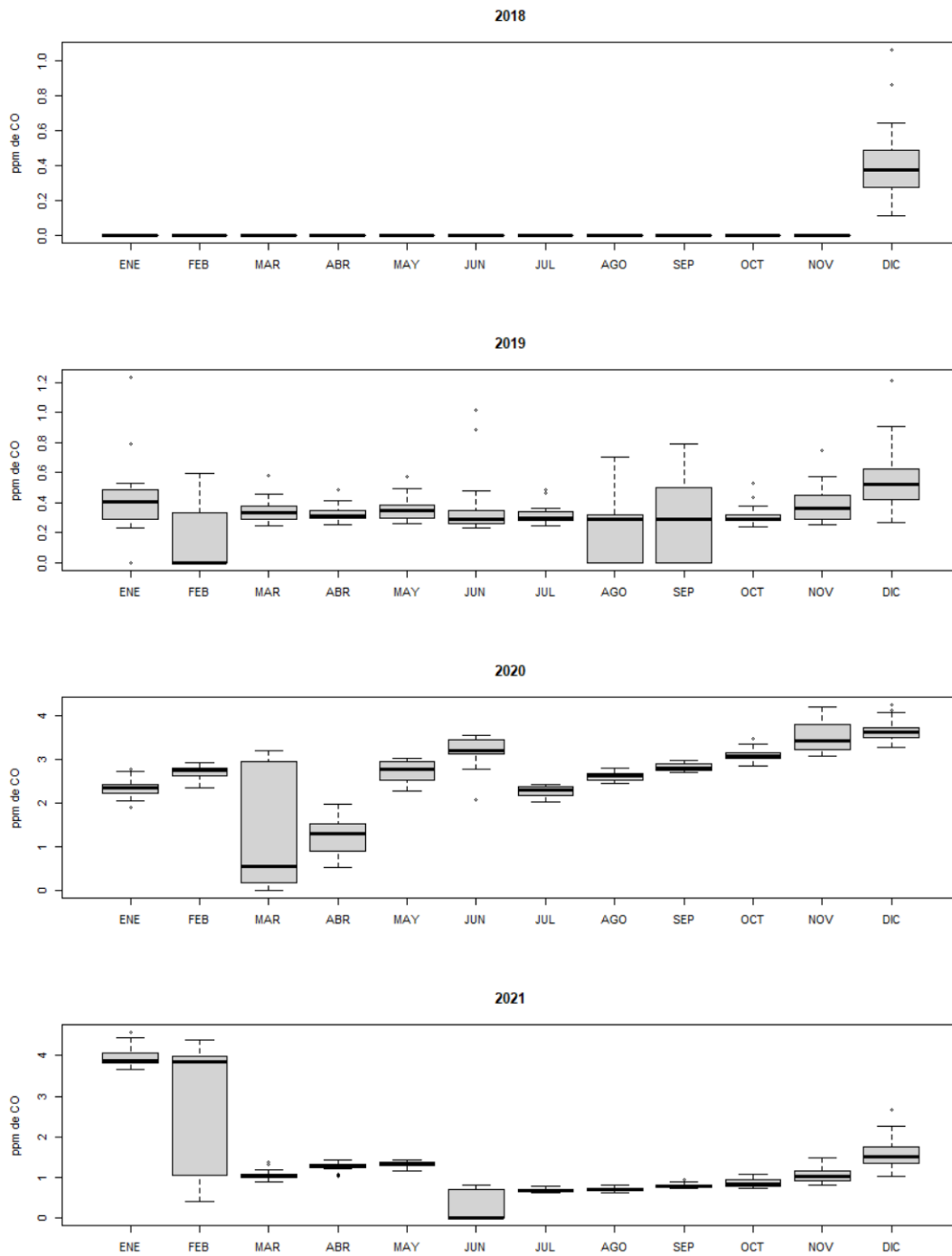


Figura 7. Representación gráfica de los promedios diarios de las ppm de CO en la estación de monitoreo NT en el periodo 2018-2021, Salamanca.

## Capítulo 6. Resultados.

En la Tabla 16 se pueden observar los valores de los resultados obtenidos del ANOVA, donde se determinó la relación de los meses con respecto a los años en la estación NT en Salamanca.

Tabla 16. Resultados del ANOVA estación NT.

| <b>Variables</b>  | <b>Grados libertad</b> | <b>Suma de cuadrados</b> | <b>Cociente entre la suma de cuadrados</b> | <b>F</b> | <b>Pr(&gt;F)</b>       | <b>Códigos de significancia</b> |
|-------------------|------------------------|--------------------------|--|----------|------------------------|---------------------------------|
| <b>Meses</b>      | 11                     | 57.73                    | 5.248                                      | 20.363   | $1.25 \times 10^{-11}$ | ***                             |
| <b>Años</b>       | 3                      | 0.81                     | 0.269                                      | 1.042    | 0.387                  |                                 |
| <b>Residuales</b> | 33                     | 8.51                     | 0.258                                      |          |                        |                                 |

En la variable de los **Meses** el valor de Pr es menor que el valor de  $F$  esto quiere decir que hay una diferencia significativa entre los valores promedio de los meses. En la variable **Años** el valor de Pr es menor al valor  $F$  esto quiere decir que si hay una diferencia significativa en la variable respecto a los años en los grupos se puede ver que estadísticamente el año 2019 y 2021 son iguales estadísticamente, sin embargo, en los demás años existe una diferencia. Estos valores se pueden observar en la Tabla 17.

Tabla 17. Resultados del análisis LSD de Fisher para la estación NT con  $\alpha=0.1$

| <b>Años</b> | <b>Promedio</b> | <b>Grupos</b> |
|-------------|-----------------|---------------|
| <b>2018</b> | 1.2545966       | A             |
| <b>2019</b> | 1.1333651       | AB            |
| <b>2020</b> | 0.9002724       | B             |
| <b>2021</b> | 1.0405611       | AB            |

### **6.3 Resultados anuales de los reportes de las emisiones de las estaciones en los municipios estudiados.**

En el municipio de Celaya, estación de monitoreo SP, durante los años 2018-2019 se mantuvieron constantes las emisiones CO, con un pico creciente al inicio del año 2020. Conforme a las fechas del confinamiento en el estado de Guanajuato se aprecia un decremento de las emisiones de CO entre los meses de abril y julio. Sin embargo, al avanzar los meses, se tuvo un incremento nuevamente. Es importante mencionar que de acuerdo con la hipótesis planteada si hubo una reducción de emisiones al menos en la estación SP en Celaya (Fig. 8-a).

En el municipio de Irapuato, la estación de monitoreo BO, en el año 2018 las emisiones de CO tuvieron un comportamiento de crecimiento y decaimiento durante el transcurso del año, las emisiones durante los años 2019 y 2020 fueron aumentando teniendo un pico creciente en el año 2021. De acuerdo a las fechas del confinamiento se aprecia un decremento de emisiones de CO en los meses de mayo y julio y un crecimiento de las emisiones al seguir los meses (Fig. 8-b).

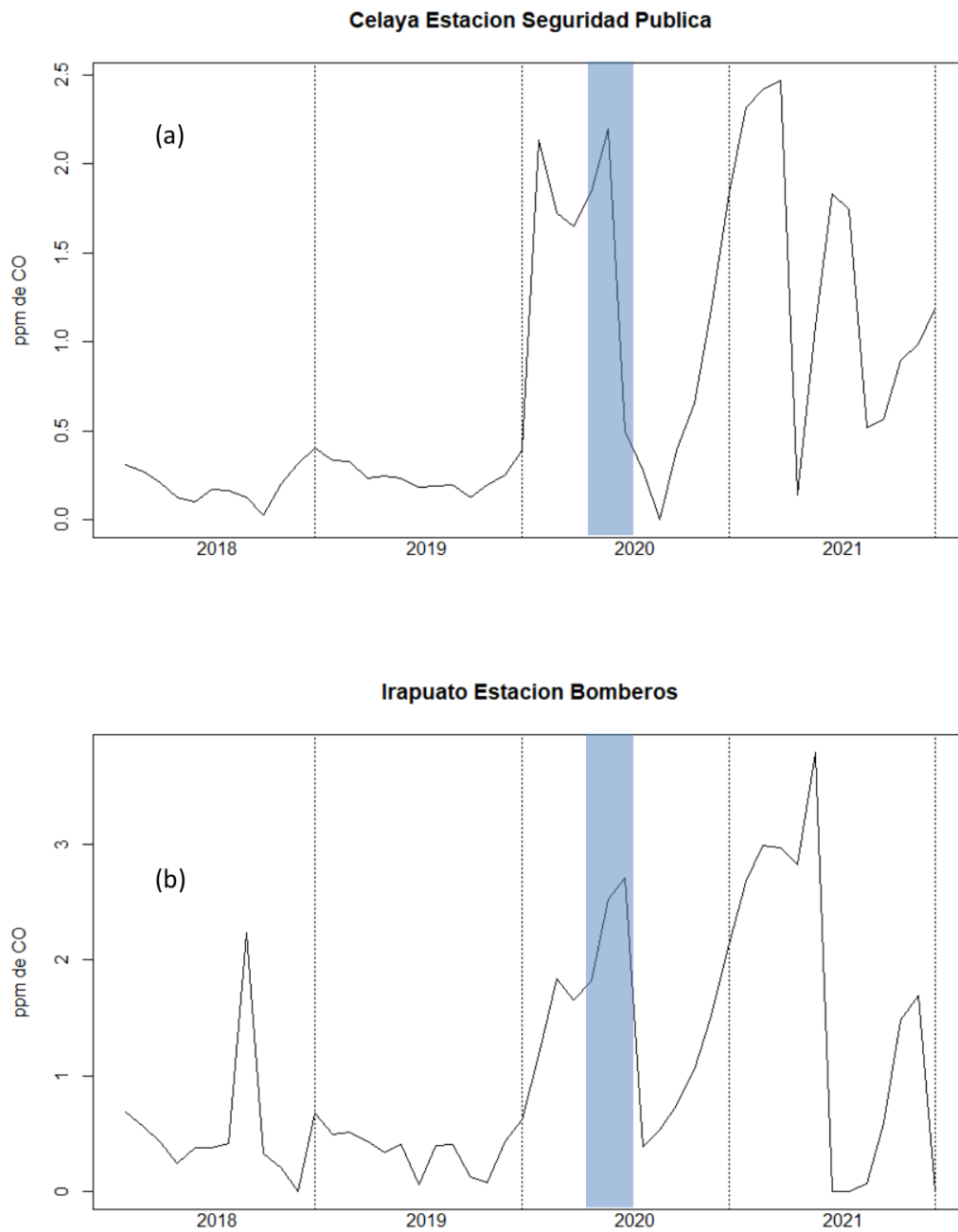


Figura 8. Representación gráfica de los promedios mensuales de las ppm de CO en la estación (a) SP de Celaya y en la estación (b) BO de Irapuato en el periodo 2018-2021. El área azul representa el periodo de confinamiento.

En la segunda estación de monitoreo TE del municipio de Irapuato, durante los años 2018 - 2019 se mantuvieron constantes. En la esta estación se observa un incremento en el año 2020 de las emisiones que se mantienen hasta el 2021. En el periodo del confinamiento, no hubo un decremento de las emisiones de CO (Fig. 9-a).

Municipio de Salamanca, estación CR durante los años 2018- 2019 se tuvo un constante comportamiento de emisiones, teniendo un pico en el año 2019, decayendo en los meses marzo-agosto incrementando de nuevo en el mes de septiembre del año 2020, disminuyendo de nuevo a partir del mes de marzo con un ligero incremento en los últimos meses en el 2021. Acorde a las fechas de confinamiento si hubo una reducción de emisiones (Fig. 9-b).

La segunda estación de monitoreo en el municipio de Salamanca es la estación NT, en el 2018 se mantuvo sin reportes de emisiones, en el año 2019 se registró un mínimo y constante reporte comenzando los años 2020 y 2021 con un aumento significativo de reportes de estas emisiones, el incremento inicio en el año 2020 con un decaimiento en el mes de marzo continuando con el crecimiento hasta el 2021 decayendo de igual manera a partir del mes de marzo teniendo un comportamiento constante durante el resto del año. Concorde al periodo de confinamiento no hubo un decremento de las emisiones, con un incremento de nuevo al avanzar los meses (Fig. 10).

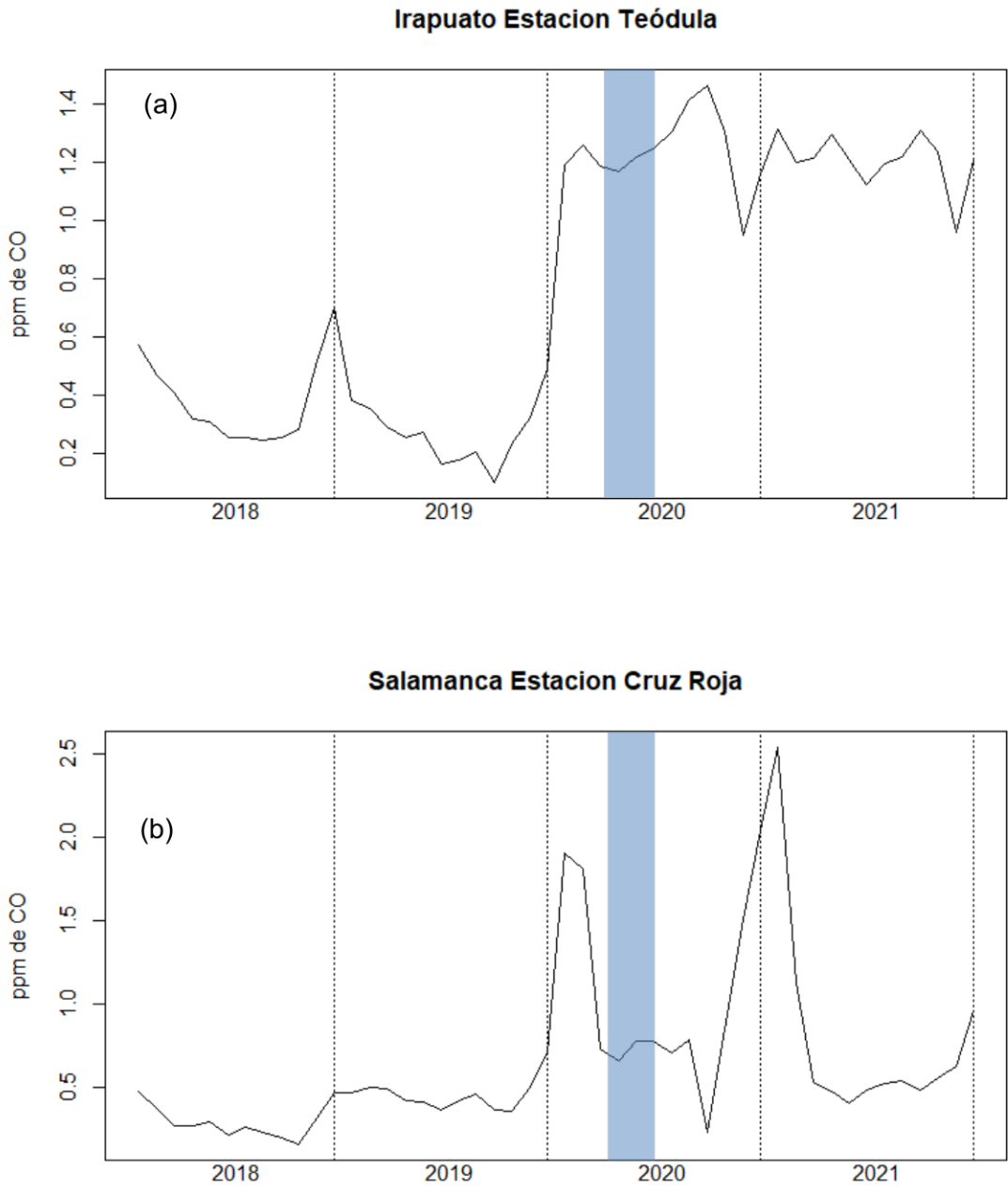


Figura 9. Representación gráfica de los promedios mensuales de las ppm de CO en la estación (a) TE de Irapuato y en la estación (b) CR en Salamanca en el periodo 2018-2021. El área azul representa el periodo de confinamiento.

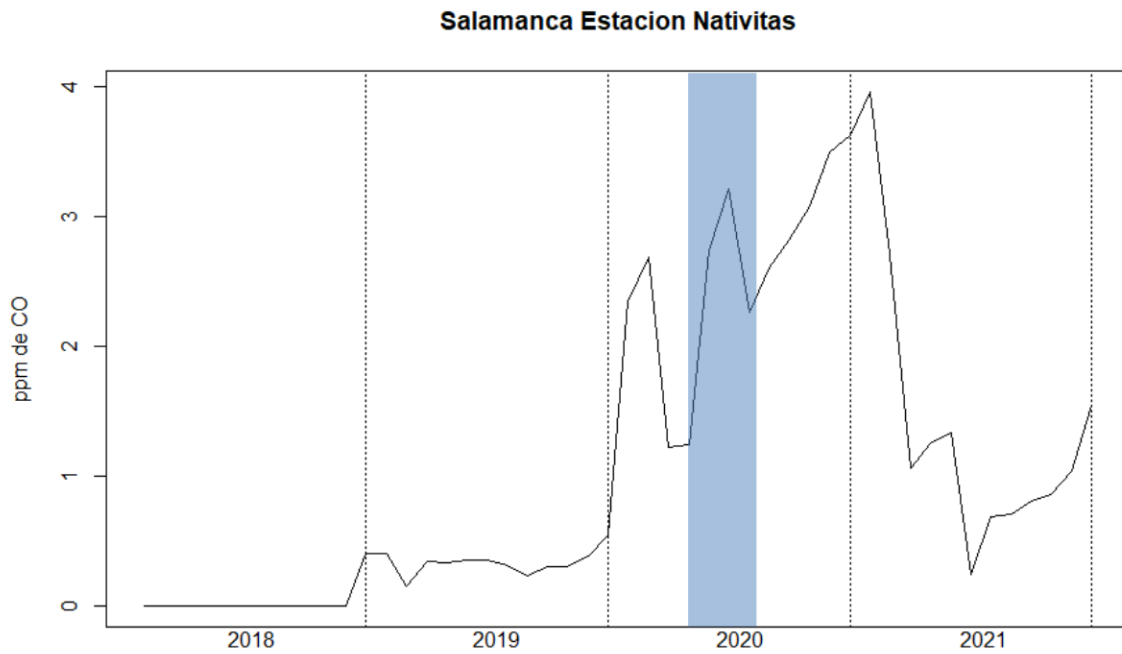


Figura 10. Representación gráfica de los promedios mensuales de las ppm de CO en la estación NT en el periodo 2018-2021. El área azul representa el periodo de confinamiento.

## **Capítulo 7**

### **Análisis de Resultados**

En este capítulo se habla del análisis de los resultados obtenidos en este proyecto de la investigación realizada.

#### **7.1 Resultados del Análisis de Varianza y método de comparación LSD de Fisher.**

La sumatoria de las ppm de CO fueron incrementando con los años, excepto en algunos meses, en el municipio de Celaya estación SP en los años 2018 y 2021 los meses que disminuyeron las partículas fueron abril, agosto y septiembre, en el año 2019 y 2020 los meses fueron junio, julio, agosto y septiembre (Tabla 2).

En el municipio de Irapuato estación BO en la sumatoria de las ppm los meses donde se observó disminución de partículas durante el periodo 2018 - 2021 fue en agosto, septiembre y octubre. En la estación de TE en cada año las disminuciones fueron diferentes y variantes en los meses, como lo fue del 2018 al 2019, estos fueron junio, julio, agosto y septiembre, en 2020 fue abril, noviembre y diciembre, en el 2021 febrero, junio y noviembre.

En el municipio de Salamanca en la estación CR la sumatoria de las ppm los meses con disminución en los años 2018 y 2019 fue un comportamiento similar siendo los meses junio, agosto, septiembre y octubre. En 2020 y 2021 la disminución fue en abril, mayo, julio y septiembre. En la estación NT en el año 2018 no se reportaron emisiones hasta el mes de diciembre, en el 2019 el mes de febrero, agosto y septiembre; 2020 marzo, abril y julio; 2021 junio, julio y agosto, los meses con disminuciones de partículas en las sumatorias.

Los valores promedio de las ppm de CO en los meses con respecto a cada año son diferentes, esto se debe a varios factores, pero uno de los más particulares son las estaciones del año y las variables meteorológicas como la temperatura. En las



Tablas 3-7 con el método LSD de Fisher con la variable de los meses y de los grupos podemos ver las semejanzas o diferencias significativas de los valores promedio que se obtuvieron de las ppm de CO por municipio y estación correspondiente durante el periodo 2018-2021.

### **7.2 Resultados de análisis estadístico.**

La estación TE del municipio de Irapuato y la estación NT del municipio de Salamanca fueron las que mostraron una diferencia estadística significativa en los valores promedio de las ppm con respecto a los años (Fig. 9-a). La estación TE entre los años 2018 y 2019 los valores más grandes fueron 0.5 ppm de CO y aumento hasta 2.5 en los años 2020 y 2021. En la estación NT el comportamiento de las emisiones promedio de CO fue de 0.5 ppm y aumento drásticamente en los años 2020 y 2021, con valores de 4 ppm de CO (Fig. 10).

La ubicación en la que se encuentran las estaciones de monitoreo es uno de los factores que influyen en la variación de la calidad del aire. Esto se debe a que hay áreas con una gran generación de contaminación a su alrededor, como lo son gasolineras, escuelas, hospitales, central de abastos, panaderías, centros comerciales, restaurantes y carreteras, tanto estatales como federales.

Cabe mencionar que aun cuando existía un confinamiento hubo actividades que no dejaron de desempeñarse como fueron los hospitales, supermercados, restaurantes; y tal vez estas actividades sean parte de la generación de las emisiones durante este periodo. Después del término de confinamiento establecido por el estado se volvió la reactivación de las actividades, comenzando de nuevo con el servicio y producción de necesidades básicas necesarias para continuar con la vida cotidiana y estas en aumento tratando de recuperar el tiempo que se estuvo afectado por el confinamiento.

Otro de los factores que influyen en este comportamiento es la quema de pastizales. Esta actividad es una práctica muy común entre los agricultores para eliminar residuos no deseados de cosechas de maíz, frijol, trigo y otros granos. Si bien es una práctica “controlada” avalada por la NOM-015-SEMARNAT/SAGARPA-2007, en ocasiones se salen de control generando incendios a gran escala o incendios forestales. Es importante tener en cuenta este tipo de actividades como generadores de gases contaminantes debido a que hay una gran producción agrícola en todo el estado de Guanajuato.

### **7.3 Relación entre temperatura y partículas.**

De acuerdo con los resultados solamente tres de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire cumplieron con la hipótesis planteada en el principio las cuales fueron SP del municipio de Celaya, BO en Irapuato y CR en Salamanca. De acuerdo con el mapa de la ubicación la estación TE en Irapuato se encuentra a menos de 5 km de una gran área de actividad agrícola que probablemente durante este periodo se han generado incendios que hayan provocado este tipo de mediciones. La estación NT en Salamanca acorde con la ubicación en el mapa a 1.5 km de distancia se encuentra la refinería de PEMEX que durante este periodo no paro su actividad.

Con la finalidad de obtener una explicación del comportamiento de las emisiones de CO promedio durante el periodo de años analizado, se obtuvieron las temperaturas promedio reportadas por las estaciones de monitoreo. Con excepción de las condiciones meteorológicas de humedad relativa y la velocidad del viento, que genera el transporte de contaminantes de una región a otra, el cambio de temperatura en las estaciones del año tiene un mayor impacto en la absorción de los gases contaminantes en el ambiente.

Todas las temperaturas reportadas en cada estación de monitoreo corresponden al comportamiento de las estaciones del año, incrementos de temperaturas entre primavera y verano y decrementos en otoño e invierno (Fig. 11-13). Excepto en la estación SP en Celaya, que en el año 2020 en los meses de julio a octubre se reportaron valores promedio por debajo de los 10 °C. Sin embargo, no se observó una relación entre las emisiones de CO y el cambio de temperatura.

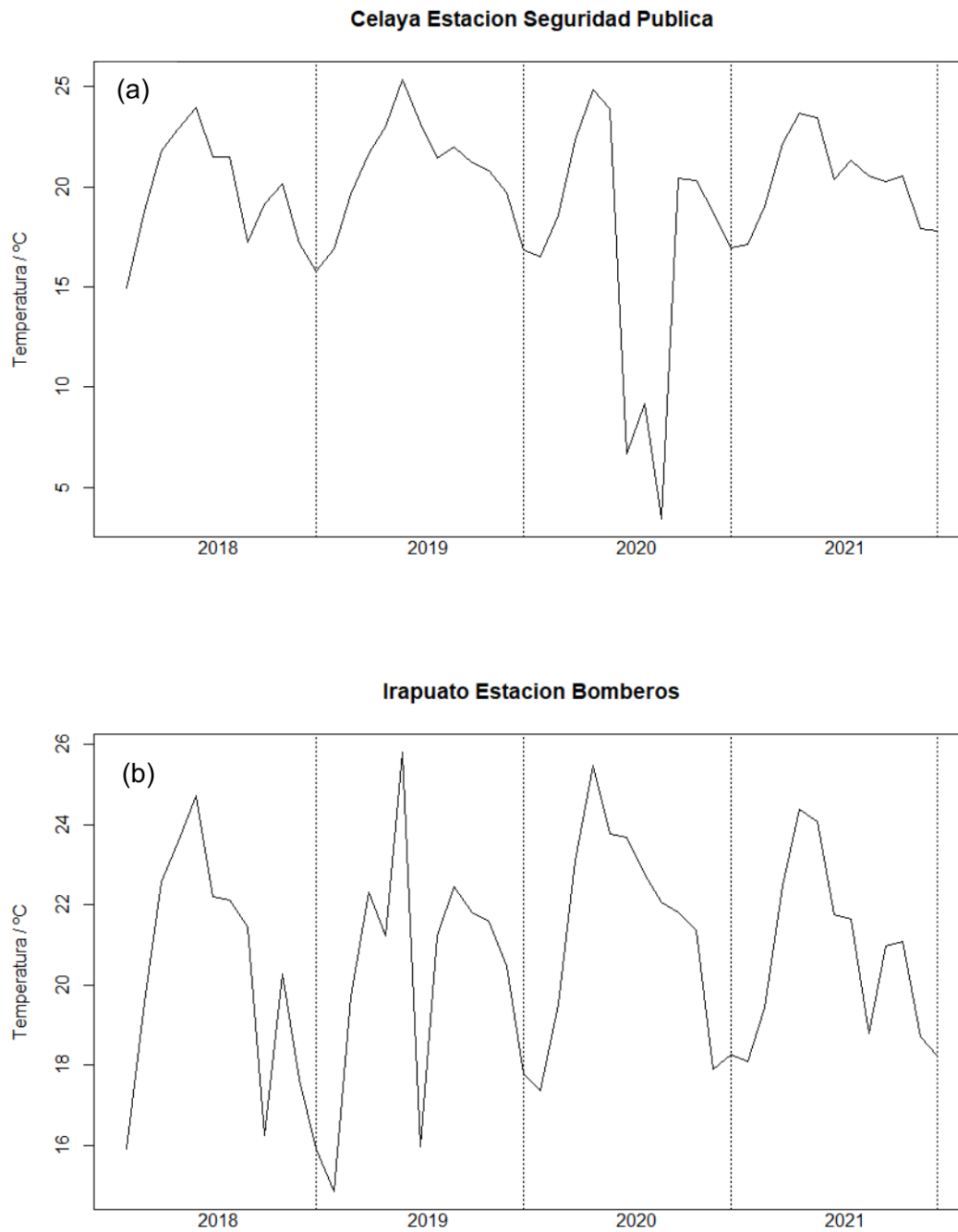


Figura 11. Representación gráfica de los promedios mensuales de las temperaturas en la (a) estación SP, Celaya y en la estación (b) BO, Irapuato en el periodo 2018-2021.

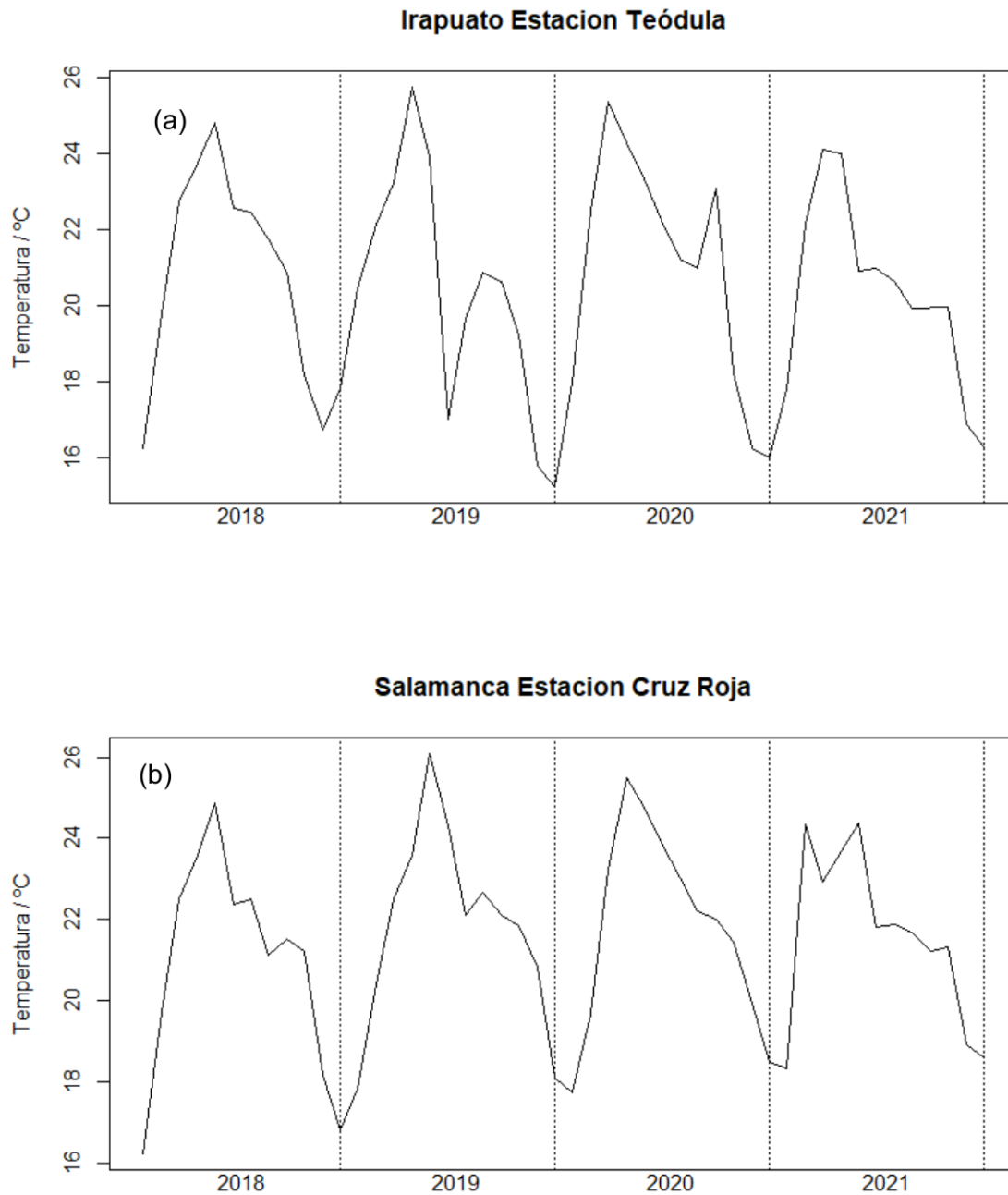


Figura 12. Representación gráfica de los promedios mensuales de las temperaturas en la (a) estación TE, Irapuato y en la estación (b) CR, Salamanca en el periodo 2018-2021.

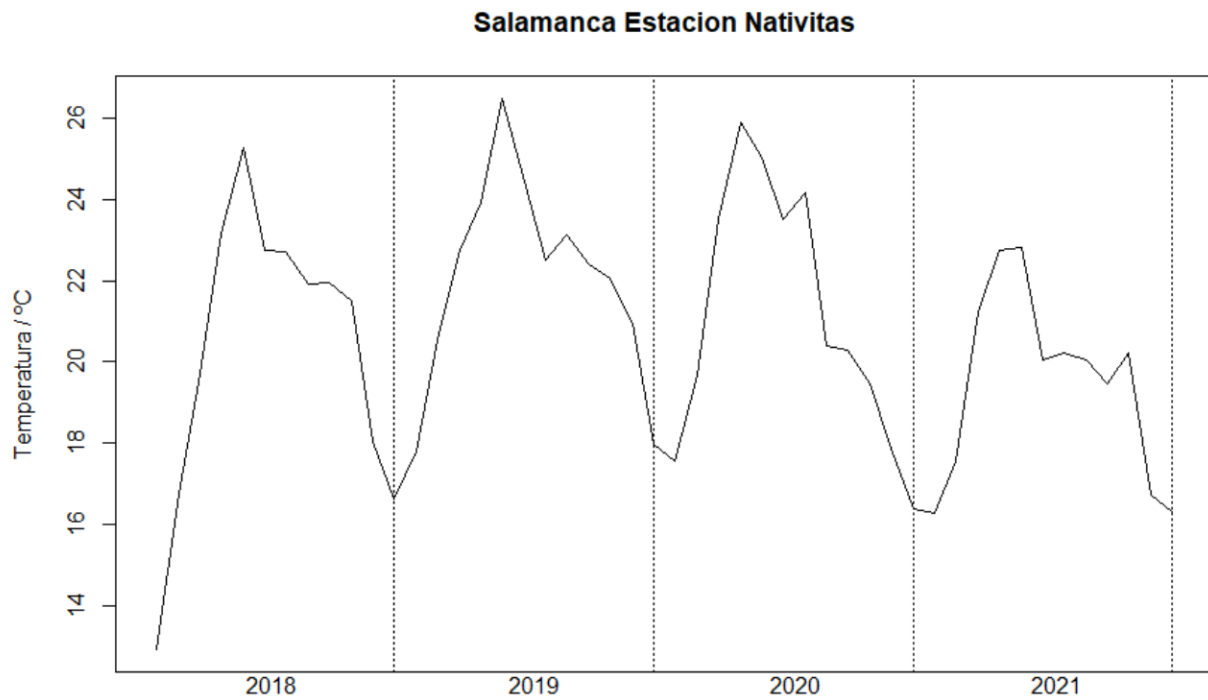


Figura 13. Representación gráfica de los promedios mensuales de las temperaturas en la estación NT, Salamanca en el periodo 2018-2021.

## **Capítulo 8**

### **Conclusiones y trabajo a futuro**

Se realizó un análisis estadístico de emisiones de CO en las estaciones de calidad de aire SP en el municipio de Celaya, en el municipio de Irapuato las estaciones BO y TE, en el municipio de Salamanca las estaciones de CR y NT. Si se cumplió con el objetivo de realizar un análisis estadístico de las partículas de CO.

Con base a los resultados obtenidos en este trabajo, se concluye que estadísticamente la estación TE y NT hubo una diferencia estadísticamente significativa en las emisiones reportadas en las estaciones de monitoreo de calidad de aire. En las estaciones de monitoreo de calidad del aire SP, BO y CR estudiadas, hubo una reducción de emisiones durante el periodo de confinamiento, aceptando así la hipótesis planteada, aun así, hubo un incremento en las emisiones de las partículas de CO durante los años 2020 y 2021. Analizando así también la temperatura como un factor que tuviera relación con este comportamiento lo cual se descartó, ya que no se encontró ninguna relación con las emisiones de CO.

Las consideraciones que se tomaron en cuenta como causas del incremento de estas emisiones se deben a cuestiones de ubicación de las estaciones, pero se requiere estudiar algunos o todos los gases contaminantes así velocidad y dirección del viento para tener la confiabilidad de que es lo que ocurrió en este periodo de tiempo.

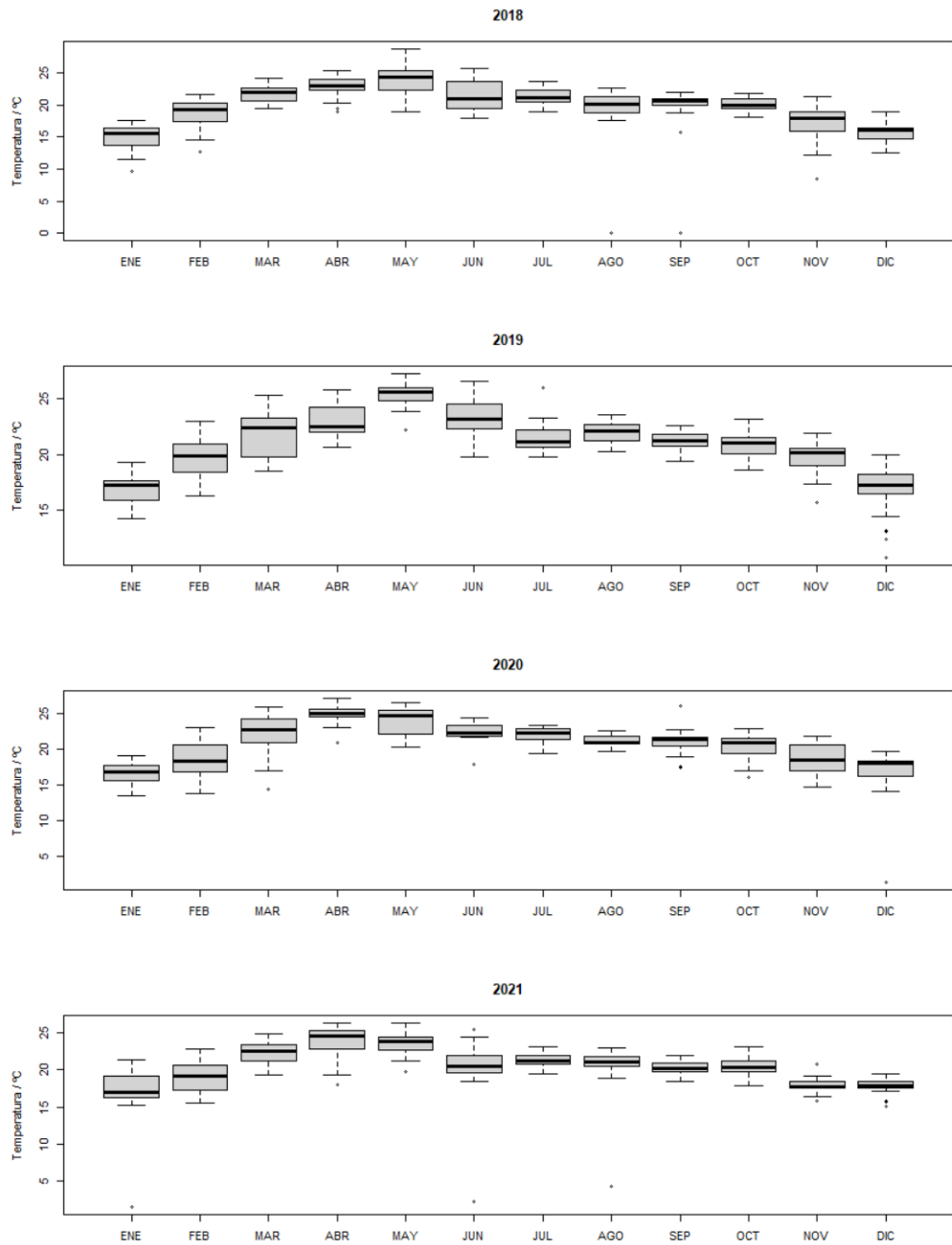
En este trabajo solo se estudiaron las emisiones de las partículas de CO, se sugiere que en un trabajo futuro se realice un análisis estadístico de los otros gases contaminantes que miden las estaciones de monitoreo de la calidad del aire. Con la finalidad de tener un análisis más amplio y robusto y así determinar si hubo un comportamiento similar al de las emisiones del CO.

## **Referencias bibliográficas**

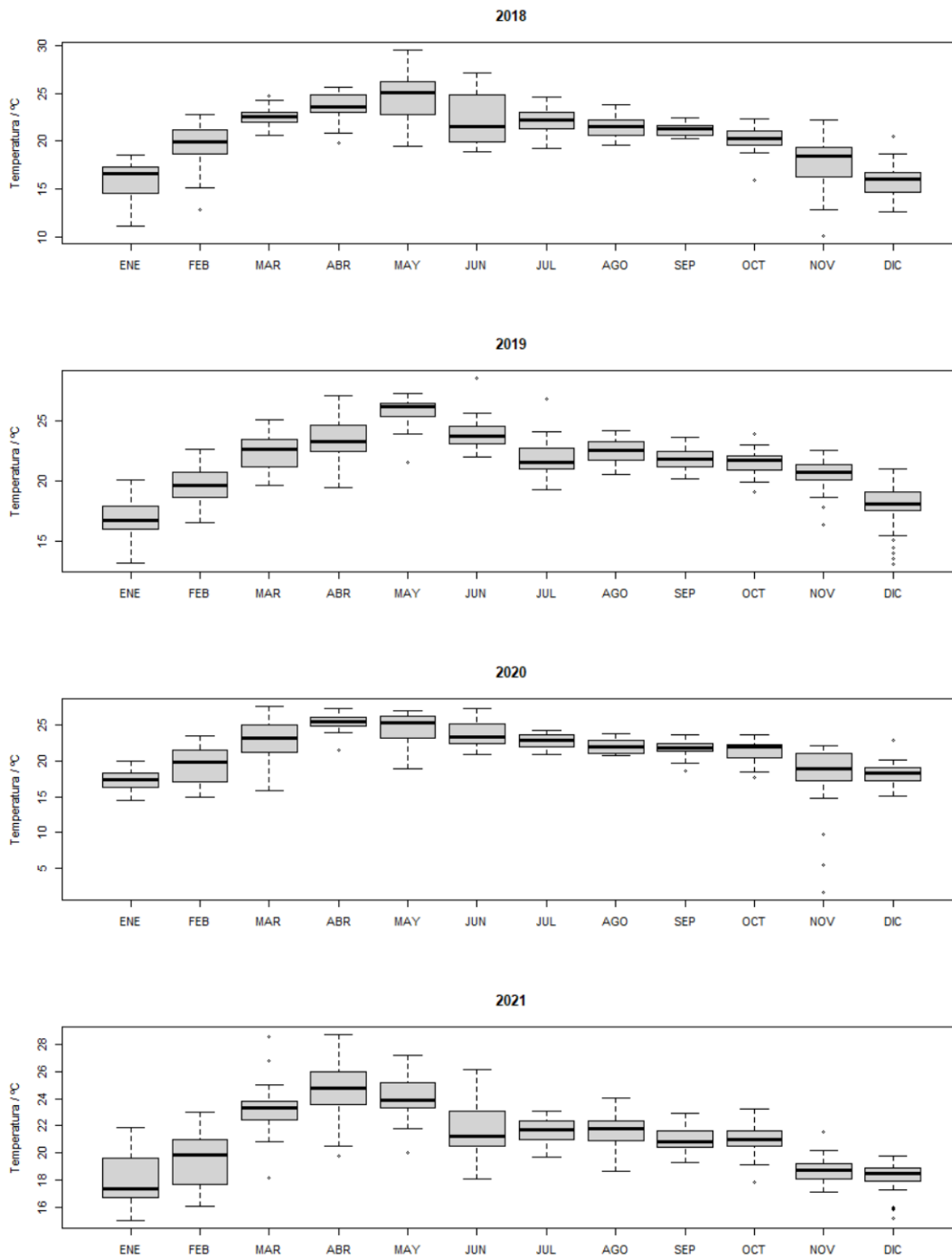
1. Organización Mundial de la Salud, “Brote de enfermedad por coronavirus (COVID-19)”. <https://www.who.int> , 2020.
2. Secretaría de Salud de México, “Comunicados Técnicos Diarios COVID19”. <https://coronavirus.gob.mx>, 2020.
3. Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes, “CO monóxido de carbono”. <https://prtr-es.es/Monoxido-carbono-775112007.html>, 2020.
4. Jennifer Ann Salmond, “Impact of the COVID-19 lockdown on air quality and resulting public health benefits in the Mexico City Metropolitan Area”, *Proceedings of the Front Public Health*, Vol. 9, No.64, p. 26-30, 2021.
5. Beth Gardiner “Pollution made COVID-19 worse. Now, lockdowns are clearing the air” *Proceedings of the National Geographic*. <https://www.nationalgeographic.com>, 2020
6. Zander S. Venter, Kristin Aunan, Sourangsu Chowdhury and Jos Lelieveld, “COVID-19 lockdowns cause global air pollution declines”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 117, No. 32, p. 18984-18990, 2020.
7. Guillaume P. Chossiere, Haofeng Xu, Yash Dixit, Stewart Isaacs, Sebastian D. Eastham, Florian Allroggen, Raymond L. Speth and Steven Rh Barret, “Air pollution impacts of COVID-19 related containment measures”, *Proceedings of the Science Advances*, Vol. 7, No. 21, p. 1126-1178, 2021.
8. Carol Rasmussen, “Las reducciones de emisiones por la pandemia tuvieron efectos inesperados en la atmosfera”, *Proceedings of the Science of the NASA*. <https://www.ciencia.nasa.gov>, 2021.
9. Luis Antonio Espinosa Carrasco, Juan José Li Ng. “México ¿El confinamiento por covid-19 redujo la contaminación del aire?” *proceedings of BBVA*. <https://www.bbva.com>, 2022.
10. Academialab, “Monóxido de Carbono”. <https://academia-lab.com>, 2022.
11. RStudio Team. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, 2020.
12. Mendenhall, William. El análisis de Varianza, Introducción a la probabilidad y estadística. (pp.386-432). *Cengage learnig*, 2010.
13. Secretaría de medio ambiente y ordenamiento territorial Guanajuato. *Estaciones de monitoreo de calidad del aire*, 2019. <https://smaot.guanajuato.gob.mx>



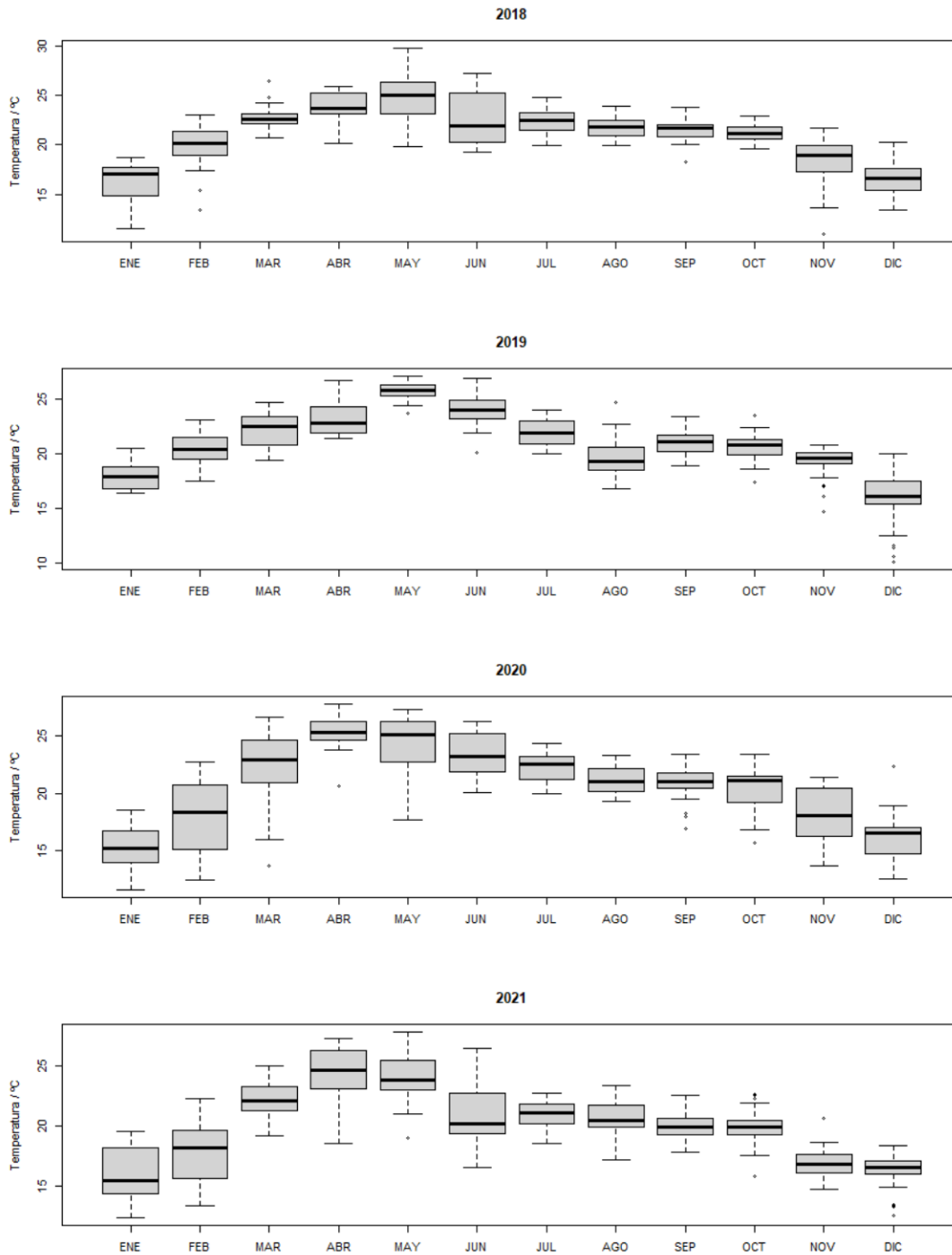
## Anexos



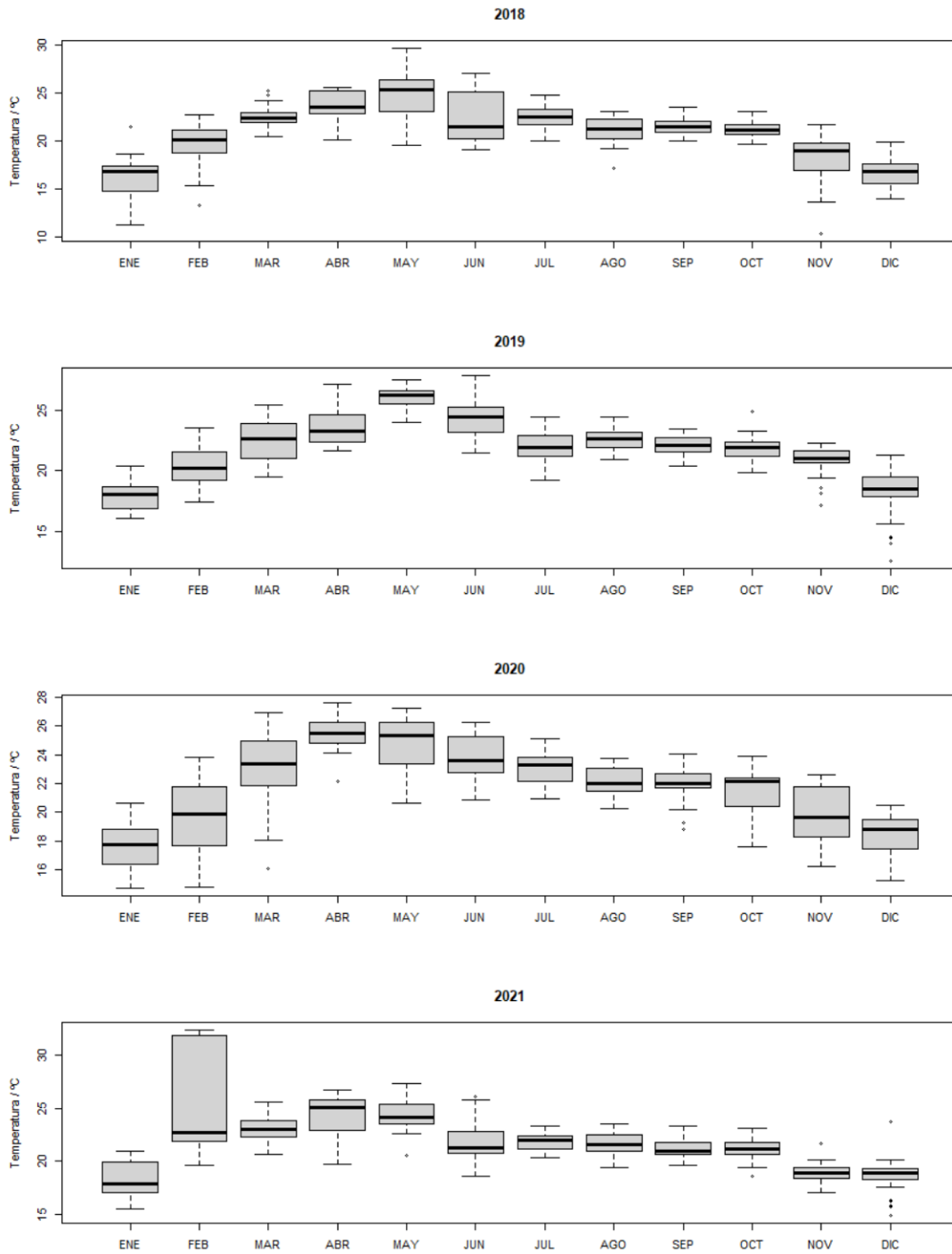
Representación gráfica de los promedios diarios de la temperatura en la estación SP en el periodo 2018-2021, Celaya.



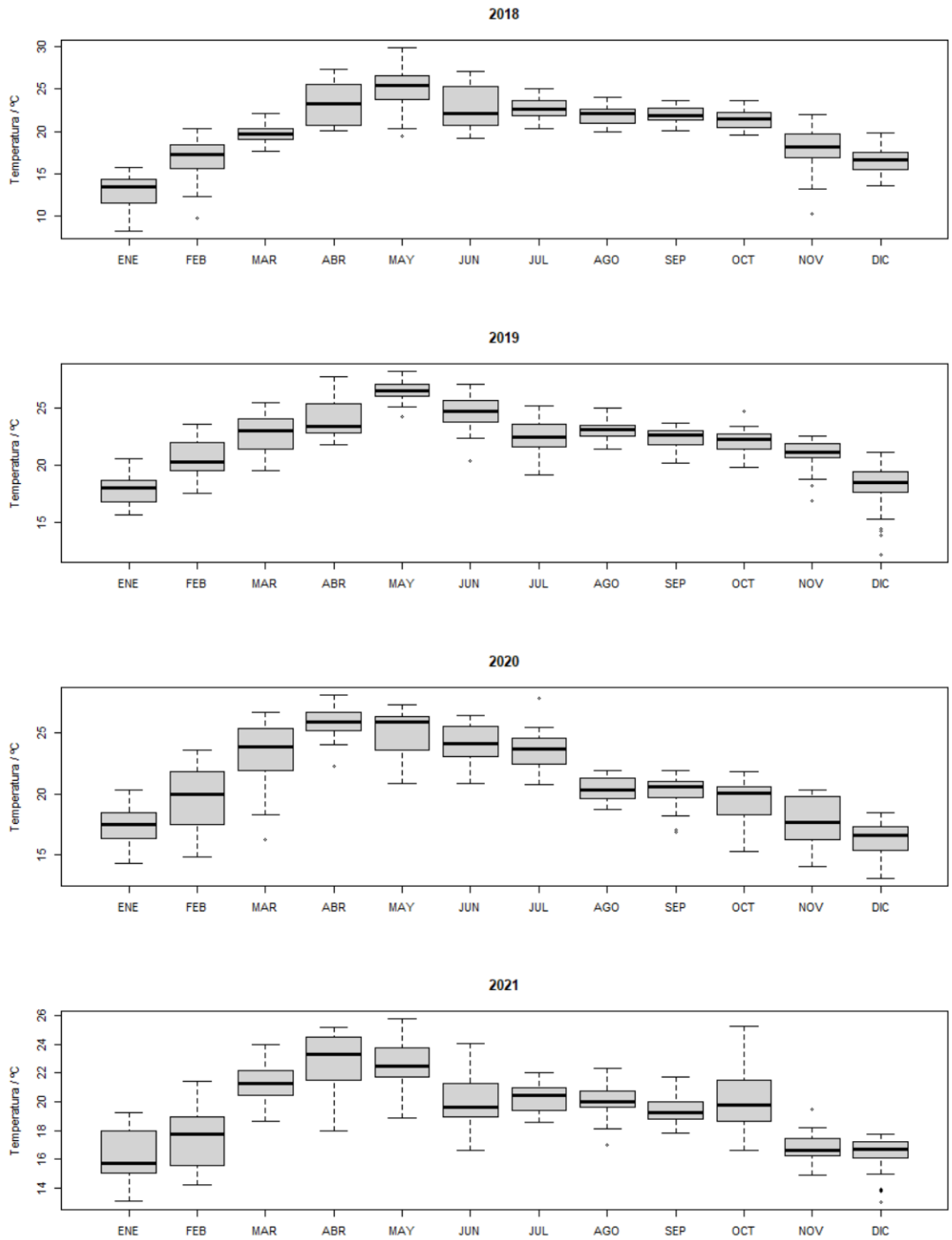
Representación gráfica de los promedios diarios de la temperatura en la estación BO en el periodo 2018-2021, Irapuato.



Representación gráfica de los promedios diarios de la temperatura en la estación TE en el periodo 2018-2021, Irapuato.



Representación gráfica de los promedios diarios de la temperatura en la estación CR en el periodo 2018-2021, Salamanca.



Representación gráfica de los promedios diarios de la temperatura en la estación NT en el periodo 2018-2021, Salamanca.