

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas

Evaluación de calidad del aire a través de $PM_{2,5}$ y PM_1 de la ciudad de Guayaquil en período de lluvia y sequía.

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Químico

Presentado por:

Fiama María Dávalos Pilozo

Shirley Alejandra Arévalo Suárez

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2019

DEDICATORIA

A mis padres, quienes desde mis primeros pasos me han forjado para ser una persona con valores, pero sobre todo perseverante. Con su arduo trabajo y apoyo constante un día me dejaron ir de casa para alcanzar un sueño, el cual hoy se plasma con este proyecto de titulación. Son el pilar de mi vida y gracias a ustedes todo esto es posible.

A mi hermano y abuela, quienes siempre han estado a mi lado en los momentos más difíciles. Gracias por todo su cariño y apoyo incondicional.

Fiama

A mi mamá Shirley Monserrat Suárez Armijos, por ser el pilar fundamental de mi vida. Que con su amor, constancia, ejemplo, fortaleza y sabiduría me apoyó en todas las etapas. Mi mayor motivación para luchar por mis sueños.

Shirley

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios que nos ha guiado durante el desarrollo de este proyecto, abriendo puertas y caminos durante todo el proceso.

Nuestros más sinceros agradecimientos a nuestra Tutora PhD. Gladys Rincón y cotutora Mgtr. Heydi Roa, quienes nos transmitieron día a día sus conocimientos, aportando en nuestro progreso académico, nos guiaron durante cada etapa y siempre nos motivaron para alcanzar nos objetivos. Ustedes son las bases este proyecto.

Y a todos aquellos que de manera directa e indirecta apoyaron en el desarrollo de este proyecto.

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Fiana María Dávalos Pilozo y Shirley Alejandra Arévalo Suárez* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Fiana María Dávalos
Pilozo



Shirley Alejandra Arévalo
Suárez

EVALUADORES



MSc. Nadia Flores Manrique

PROFESOR DE LA MATERIA



PhD. Gladys Rincón Polo

PROFESOR TUTOR



Mgtr. Heydi Roa López

PROFESOR COTUTOR

RESUMEN

El material particulado (PM) es considerado el contaminante atmosférico más común a nivel mundial y fácil monitorear. La Organización Mundial de la Salud (OMS) en un reporte del 2018 lista las ciudades más contaminadas en Ecuador: en el mismo no aparece Guayaquil, a pesar de ser la segunda ciudad más poblada de la República del Ecuador. El presente estudio propone una metodología de evaluación para el comportamiento de la concentración de material particulado PM_1 (diámetro equivalente $\leq 1 \mu m$) y $PM_{2,5}$ (diámetro equivalente $\leq 2,5 \mu m$).

Esta evaluación se basa en el análisis estadístico realizado a los datos recolectados por 112 días: 56 días por cada contaminante (PM_1 y $PM_{2,5}$) en cuatro sectores representativos de la ciudad, incluyendo época de lluvia y sequía; así también se recolectó en simultáneo información meteorológica (temperatura, velocidad y dirección del viento). A los datos tanto de PM como meteorológicos se les hizo un análisis descriptivo que permitió conocer el comportamiento a nivel contaminación (horario y diario) y meteorológico. Luego, se usó estadística inferencial que permitió conocer las relaciones entre el PM con las variables meteorológicas y ocurrencia de eventos antropogénicos puntuales. Así como, la relación entre los dos tamaños de partículas. Finalmente se analiza si los días monitoreados cumplen con las Norma Ecuatoriana de Calidad de Aire (Acuerdo Ministerial 097-A) y los límites propuestos por la OMS.

Los resultados indicaron que no existe similitud de comportamiento entre las épocas de lluvia y sequía para ambos tamaños de partículas. Además, en dos sectores existió incumplimiento con las normas antes descritas.

La evaluación de la calidad del aire en la ciudad de Guayaquil contribuye a la ciudadanía y a entidades de control, al proponer una metodología de estudio que presenta la existencia de patrones de comportamiento de emisiones de PM_1 y $PM_{2,5}$.

Palabras Clave: PM_1 , $PM_{2,5}$, Calidad del Aire, Guayaquil.

ABSTRACT

Particulate matter (PM) is considered the most common air pollution worldwide and easy to monitor. The World Health Organization (WHO) in a 2018 report lists the most polluted cities in Ecuador: Guayaquil does not appear, despite being the second most populous city in the Republic of Ecuador. The present study proposes an evaluation methodology for the behavior of the concentration of particulate material PM_1 (equivalent diameter $\leq 1\mu m$) and $PM_{2,5}$ (equivalent diameter $\leq 2,5\mu m$).

This evaluation is based on the statistical analysis performed on the data collected for 112 days: 56 days for each pollutant (PM_1 and $PM_{2,5}$) in four representative sectors of the city, including rainy season and drought; thus, meteorological information (temperature, speed and wind direction) was collected simultaneously. To the data of both PM and meteorological, a descriptive analysis was made that allowed to know the behavior at the pollution level (hourly and daily) and meteorological. Then, inferential statistics were used that allowed to know the relationships between the PM with the meteorological variables and occurrence of specific anthropogenic events. As well as, the relationship between the two particle sizes. Finally, it is analyzed whether the days monitored comply with the Ecuadorian Air Quality Standard (Ministerial Agreement 097-A) and the limits proposed by the WHO.

The results indicated that there is no similarity of behavior between rainy and dry seasons for both particle sizes. In addition, in two sectors, there was a breach of the standards described above.

The evaluation of air quality in the city of Guayaquil contributes to citizens and control entities, by proposing a study methodology that presents the existence of emission behavior patterns of PM_1 and $PM_{2,5}$.

Keywords: PM_1 , $PM_{2,5}$, Air Quality, Guayaquil.

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES	
RESUMEN	I
ABSTRACT.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
CAPÍTULO 1	1
1 Introducción	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Justificación del problema	2
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Marco Teórico	5
1.4.1 Atmósfera y su contaminación	5
1.4.2 Principales contaminantes	6
1.4.3 Material Particulado (PM)	7
1.4.4 Variables meteorológicas y actividades antropogénicas.	13
CAPÍTULO 2	15
2 Metodología	15
2.1 Región de estudio	15

2.2	Equipos de muestreo	16
2.3	Tratamiento de datos	20
2.4	Información secundaria	20
2.5	Análisis del comportamiento de PM	21
2.6	Estudio de similitud del comportamiento de los estratos	21
2.7	Análisis de variables meteorológicas.....	23
2.8	Evaluación de correlación entre las variables independientes y la concentración 23	
2.9	Relación entre PM _{2,5} y PM ₁	26
2.10	Establecimiento del cumplimiento de la regulación ambiental	26
CAPÍTULO 3.....		27
3	Resultados y análisis	27
3.1	Información secundaria	27
3.2	PM ₁	28
3.2.1	Análisis del comportamiento de PM ₁	28
3.2.2	Estudio de similitud del comportamiento de los estratos	34
3.3	PM _{2,5}	42
3.3.1	Análisis del comportamiento de PM _{2,5}	42
3.3.2	Estudio de similitud del comportamiento de los estratos	43
3.4	Análisis de variables meteorológicas.....	53
3.5	Evaluar correlación entre las variables independientes y la concentración PM ₅₅	
3.6	Relación entre PM _{2,5} y PM ₁	56
3.7	Establecimiento del cumplimiento de la regulación ambiental	58

CAPÍTULO 4	62
4 Conclusiones y recomendaciones	62
4.1 Conclusiones.....	62
4.2 Recomendaciones.....	64
BIBLIOGRAFÍA	65
APÉNDICES	71
APÉNDICE I.....	71
APÉNDICE II.....	77

ABREVIATURAS

ANOVA	Análisis de Varianza
Csv	Comma-Separated Values
EAC	Estrategia Ambiental Cantonal
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ITCZ	Intertropical Convergence Zone
OMS	Organización Mundial de la Salud
PM	Material Particulado
US EPA	United States Environment Protection Agency
USEPA	United States Environmental Protection Agency
UTM	Universal Transverse Mercator

SIMBOLOGÍA

%	Porcentaje
μ	Micro
°C	Grado Celsius
αE	Tasa de error
αc	Tasa de error: método de comparación múltiple por ajuste de Bonferroni
CH ₄	Metano
CN	Carbono negro
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
COP	Compuestos Orgánicos Persistentes
COV	Compuestos orgánicos volátiles
g	Gramo
h	Hora
H ₀	Prueba de hipótesis nula
H _i	Prueba de hipótesis alterna
HAP	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
m	Metro
m ³	Metro cúbico

Me	Mediana
mg	Miligramo
min	Minuto
ng	Nanogramos
N ₂ O	Óxido nitroso
NH ₃	Amoniaco
NH ₄ ⁺	Amonio
NO	Monóxido de nitrógeno
NO ₂	Dióxido de nitrógeno
NO _x	Óxidos de nitrógeno
NO ₃ ⁻	Nitrato
O ₃	Ozono
p-valor	Probabilidad
PM	Material particulado
PM ₁₀	Material particulado de diámetro menor a 10 micrómetros
PM _{2.5}	Material particulado de diámetro menor a 2,5 micrómetros
PM ₁	Material particulado de diámetro menor a 1 micrómetro
r	Coefficiente de correlación de Pearson
rh	Coefficiente de correlación de Spearman

SO ₂	Dióxido de azufre
v/v	Relación volumen- volumen
\tilde{x}	Mediana
W	Vatio

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Intercambio constante de materia y energía de la atmósfera.	5
Figura 1.2 Media anual del forzamiento radiativo (W/m^2) a escala global para los principales agentes atmosféricos.	11
Figura 1.3 Esquema de los mecanismos de formación y remoción de material particulado con respecto su diámetro equivalente.	12
Figura 2.1 Esquema de los sectores de estudio dentro de Guayaquil.	17
Figura 2.2 Formación de los 16 estratos con sus respectivas fechas de toma de datos	18
Figura 2.3 Diagrama de flujo de metodología evaluación de calidad del aire a través de $PM_{2,5}$ y PM_1	19
Figura 3.1 Histograma de frecuencia de rangos de concentración de PM_1 por sector y época climática	31
Figura 3.2 Estadística descriptiva de PM_1 en los cuatro sectores y épocas climáticas .	32
Figura 3.3 Estadística descriptiva de PM_1 -24 horas en los cuatro sectores	33
Figura 3.4 Estadística descriptiva de PM_1 por hora en cada sector en época de sequía	35
Figura 3.5 Estadística descriptiva de PM_1 por hora en cada sector en época de lluvia.	36
Figura 3.6 Estadística Inferencial prueba Bonferroni: Resultado de similitud de PM_1 por época climática en los cuatro sectores.	38
Figura 3.7 Estadística Inferencial prueba Bonferroni: Resultado de similitud de PM_1 lluvia y sequía por día de semana.	39
Figura 3.8 Estadística Inferencial prueba Bonferroni: Resultado de similitud de PM_1 lluvia, por día de semana en cada sector.	40
Figura 3.9 Estadística Inferencial prueba Bonferroni: Resultado de similitud de PM_1 lluvia para los 4 sectores, respecto a la existencia de precipitaciones.....	41

Figura 3.10 Histograma de frecuencia de rangos de concentración de $PM_{2,5}$ por sector y época climática	45
Figura 3.11 Estadística descriptiva de $PM_{2,5}$ -24 horas en los cuatro sectores	46
Figura 3.12 Estadística descriptiva de $PM_{2,5}$ por hora en cada sector en época de sequía	47
Figura 3.13 Estadística descriptiva de $PM_{2,5}$ por hora en cada sector en época de lluvia	48
Figura 3.14 Estadística Inferencial prueba Bonferroni: Resultado de similitud de $PM_{2,5}$ por época climática en los cuatro sectores.	49
Figura 3.15 Estadística Inferencial prueba Bonferroni: Resultado de similitud de $PM_{2,5}$ lluvia y sequía por día de semana.	50
Figura 3.16 Estadística Inferencial prueba Bonferroni: Resultado de similitud de $PM_{2,5}$ lluvia, por día de semana en cada sector	51
Figura 3.17 Estadística Inferencial prueba Bonferroni: Resultado de similitud de $PM_{2,5}$ sequía, por día de semana en cada sector.....	52
Figura 3.18 Estadística Inferencial prueba Bonferroni: Resultado de similitud de $PM_{2,5}$ lluvia para los 4 sectores, respecto a la existencia de precipitaciones.....	52
Figura 3.19 Relación $PM_{2,5}$ y PM_{1} : Resultado Correlación Cruzada	57
Figura 3.20 Comparación de la concentración promedio de $PM_{2,5}$ -24 horas, para los cuatro sectores en los 7 días de la semana en lluvia, respecto a la norma ecuatoriana establecida.	58
Figura 3.21 Comparación de la concentración promedio de $PM_{2,5}$ -24 horas, para los cuatro sectores en los 7 días de la semana en sequía, respecto a la norma ecuatoriana establecida.	59
Figura 3.22 Comparación de la concentración promedio de PM_{1} -24 horas, para los cuatro sectores en los 7 días de la semana en sequía.	60

Figura 3.23 Comparación de la concentración promedio de PM_{1-24} horas, para los cuatro sectores en los 7 días de la semana en sequía.....61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Límites de concentración de material particulado	13
Tabla 2.1 Toma de datos de PM _{2,5} , PM ₁ y variables meteorológicas.....	15
Tabla 2.2 Cantidad de datos útiles de estudio	20
Tabla 2.3 Hipótesis de comparación de medianas múltiples	22
Tabla 2.4 Detalle de variables de estudio para correlación PM _{2,5} y PM ₁ con las variables independientes.....	25
Tabla 2.5 Valores numéricos tomados por cada variable cualitativa independiente, previo a prueba de correlación de Spearman	26
Tabla 3.1 Estadística Descriptiva de PM ₁ y PM _{2,5}	29
Tabla 3.2 Resultados de la estadística descriptiva propuesta para variables meteorológicas.....	54
Tabla 3.3 Coeficientes de correlación de Spearman para variables cuantitativas-cualitativas, PM ₁	56

CAPÍTULO 1

Introducción

Descripción del problema

La dirección de ambiente del municipio de la ciudad de Guayaquil, en su Estrategia Ambiental Cantonal (EAC), desarrolla proyectos e iniciativas que mejoren las condiciones ambientales del cantón bajo cinco ejes de acción principales: Agua y Saneamiento, Transporte y Energía, Gestión de Ecosistemas, Calidad del Aire y Cambio Climático, y Residuos Sólidos (Alcaldía de Guayaquil Dirección de Ambiente, n.d.-a).

A través del cuarto eje antes mencionado, se promueve el cumplimiento de los estándares de calidad del aire, a partir del monitoreo y regularización de los sectores involucrados. El fin es reducir el nivel de emisión de gases de efecto invernadero, la mitigación y adaptación al cambio climático (Alcaldía de Guayaquil Dirección de Ambiente, n.d.-b). Hasta la fecha no se ha concretado la instalación de la red de monitoreo, aun cuando la Dirección de Ambiente cuenta con una unidad de monitoreo en vía la costa.

Así mismo, El Diario El Expreso en entrevista a la Dirección de Ambiente del Municipio de Guayaquil señalan que los datos preliminares levantados de material particulado a partir de la estación de monitoreo de Vía a La Costa no son concluyentes, a pesar de que la calidad del aire se encuentra en un nivel bueno-moderado. Estos datos no pueden ser parte de un análisis ya que los distintos períodos climáticos de la ciudad afectan al comportamiento de las emisiones de material particulado (Expreso, 2018).

Dada la preocupación de no contar con datos reales que verifiquen la calidad de aire de Guayaquil, la ESPOL a través de la Maestría de Cambio Climático monitoreó la concentración de material particulado en cuatro lugares de la ciudad entre octubre de 2016 y marzo de 2017. Estos datos de concentración hasta la fecha no han sido analizados en profundidad.

Justificación del problema

Existen estudios que evalúan la calidad del aire que incluyen el comportamiento de material particulado en diferentes ciudades del país (Empresa Pública Municipal de Movilidad de Cuenca, 2017). La Organización Mundial de la Salud (OMS) en conjunto con el Ministerio del Ambiente (MAE) en el 2012 y 2013 recolectaron datos de emisiones que incluía $PM_{2,5}$ y PM_{10} en Santo Domingo de los Tsáchilas, Milagro, Quito, Latacunga y Manta. Los resultados fueron que Santo Domingo de los Tsáchilas obtuvo mayores niveles de concentración de material particulado ($33 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3} PM_{2,5}$ y $69 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3} PM_{10}$) y los menores niveles de concentración se presentaron en Manta ($14 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3} PM_{2,5}$ y $28 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3} PM_{10}$), según el informe mundial que dio la OMS en el 2016 (WHO, 2016a). El objetivo principal de estos estudios es la mitigación de la contaminación global a causa de la polución mediante acciones correctivas que se pueden tomar a partir del comportamiento de las emisiones ya sea de material particulado u otro contaminante, para disminuir su efecto sobre la población y promover su bienestar.

En 2016 la OMS pudo estimar mundialmente que durante un año, tanto en ciudades y zonas rurales 4,2 millones de muertes prematuras fueron responsabilidad de la contaminación ambiental del aire por la exposición de material particulado menor a 2,5 micrones ($PM_{2,5}$). Las enfermedades principales fueron cardiovasculares, respiratorias y cáncer (WHO, 2016b).

The Lancet Planetary Health es un estudio nacional realizado en China, que evidenció que las visitas a emergencias en hospitales se veían relacionadas en un 4,47% a materia particulado de diámetro menor a 1μ (PM_1) y 5,05% a $PM_{2,5}$. Los efectos con un mayor impacto de partículas pequeñas como PM_1 se dan por una eficiencia superior de deposición en los pulmones, la facilidad de penetración vascular, una mayor área de superficie y la adhesión de más componentes tóxicos (Chen et al., 2017; Kan, 2017).

El estudio mencionado demuestra los efectos adversos de PM_1 en la salud de la población en general, e incrementa la necesidad de restringir los niveles de material particulado con diámetro menor a $1\mu\text{m}$ en el aire exterior, debido a que existen normas que regulan las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2,5}$, más no de PM_1 . La causa se da por la falta de disponibilidad de datos de monitoreo del aire, provocando que las investigaciones

mundialmente dejen por fuera las partículas ultrafinas (diámetro $<1\mu\text{m}$) y solo se centren en evaluar las de mayor diámetro (Kan, 2017).

En el presente proyecto, se evaluará la contaminación del aire por $\text{PM}_{2,5}$ y PM_1 en cuatro sectores de la ciudad de Guayaquil en período de lluvia y sequía, para determinar posibles patrones de comportamiento e influencia antropogénica. Esta información podrá ser de gran utilidad para construir vínculos de concientización entre la ciudadanía y las autoridades de control. Además, la información y análisis presentados en esta evaluación podrían ser tomados como fuente de apoyo previo a trabajos futuros de estudios epidemiológicos, relaciones entre contaminación de material particulado y variables meteorológicas y posibles medidas correctivas en la ciudad de Guayaquil.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar los datos de concentración de $PM_{2,5}$ y PM_1 provenientes de cuatro lugares de la ciudad de Guayaquil entre octubre del 2016 hasta marzo del año 2017, para la predicción de un patrón de comportamiento con posible influencia antropogénica.

Objetivos Específicos

- 1) Analizar el comportamiento de la concentración de PM como variable dependiente, con respecto a las variables independientes de lugar, clima y factores meteorológicos, mediante la aplicación de software estadístico, para la determinación de una posible vinculación entre ellas, la existencia de patrones, e identificación de las posibles causas de la conducta de concentración estimando la existencia de influencia antropogénica.
- 2) Comparar las emisiones de $PM_{2,5}$ y PM_1 , a partir de pruebas estadísticas, estableciendo la presencia de una relación entre las mismas.
- 3) Determinar el cumplimiento de las regulaciones ambientales con respecto a las emisiones de $PM_{2,5}$, a través la concentración media diaria, para la estimar el nivel de la calidad del aire de la ciudad.

Marco Teórico

Atmósfera y su contaminación

La atmósfera se puede considerar como una película que rodea la Tierra comparada con el volumen de esta. En esta capa se encuentra el aire, el cual está compuesto por nitrógeno (78,1% v/v) que es parte de la formación de las proteínas a partir de organismos, oxígeno (21,0% v/v) vital para todas las criaturas que habitan el planeta, argón (0,87% v/v) y dióxido de carbono (0,03% v/v) esencial para la fotosíntesis de las plantas. La atmósfera es un sistema dinámico, que se encuentra en un intercambio constante de materia y energía con los océanos y el suelo como se observa en la Figura 1.1. Se denomina contaminación atmosférica al desequilibrio de ese sistema dinámico; al alterar la composición, propiedades físicas y/o químicas del aire, y afectan la salud de la población y al medio ambiente (Caselli, 2000; Seinfeld, Pandis, & Spyros, 2006)(Stanley E., 2000).



Figura 0.1 Intercambio constante de materia y energía de la atmósfera.

Fuente: Introducción a la química ambiental.(Stanley E., 2000)

Las fuentes principales de contaminación atmosférica tienen origen antropogénico, las cuales son consecuencia de actividades humanas. Un ejemplo de estas acciones son

los procesos industriales, los cuales en su mayoría implican combustión. Este tipo de mecanismo se basa en una reacción química que genera dióxido de carbono y/o monóxido de carbono cuando la combustión no es completa, también produce óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, cloro, hidrocarburos, entre otros contaminantes dependiendo del objeto sometido a combustión (Martínez Atas & Díaz de Mera Morales, 2004).

La forma de medición de la contaminación es mediante la concentración que puede variar entre miligramos (mg) a nanogramos (ng) de contaminante sobre metros cúbicos (m³) de aire.

Principales contaminantes

Existen innumerables contaminantes a nivel global pero sólo cuatro de ellos, denominados “contaminantes de criterios” incluyendo los compuestos orgánicos volátiles y el dióxido de carbono, representan el 95% de la contaminación:

- **Material Particulado (PM por sus siglas en inglés)**, uno de los contaminante más comunes y de facilidad de monitoreo a nivel mundial (Díaz Poma, 2018).
- **Monóxido de carbono (CO)**, ejerce un impedimento en el ciclo de respiración en el organismo.
- **Dióxido de azufre (SO₂)**, tiene su origen en la combustión de hidrocarburos fósiles que contiene azufre en su composición. Es el principal causante de la lluvia ácida.
- **Óxidos de nitrógeno (NO_x)**, representa a la sumatoria de óxido nítrico, dióxido de nitrógeno y demás óxidos de nitrógeno. Está relacionado con la deposición ácida y es precursor del ozono troposférico.(US EPA: Climate Change Division, 2015)

Además, estos tres contaminantes también tienen gran impacto sobre la calidad del aire actual a nivel mundial:

- **Dióxido de carbono (CO₂)**, el cual no es un contaminante por formar parte de la composición del aire, sin embargo; su incremento en concentración lidera los gases de efecto invernadero.
- **Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)**, el principal es el metano (CH₄) y tiene sus bases en la descomposición de materia orgánica, también forma parte de los gases de efecto invernadero (Martínez Atas & Díaz de Mera Morales, 2004).
- **Ozono (O₃)**, el ozono troposférico es un contaminante que se forma en la atmósfera al reaccionar los óxidos de nitrógeno con el oxígeno en presencia de la luz solar, es el quinto contaminante de criterio. Se usa como un indicador de la calidad del aire (Caselli, 2000).

Material Particulado (PM)

El contaminante más común a nivel mundial y más fácil de monitorear es el material particulado. El material particulado son partículas en estado sólido o líquido, en condiciones normales a excepción del agua, en suspensión y sedimentables que subsisten en la atmósfera por horas (Meszáros, 1999; Seinfeld et al., 2006). Este material particulado tiene diferentes clasificaciones, una de las más importantes tiene que ver con el tamaño del diámetro equivalente de la partícula. Diferentes estudios epidemiológicos han confirmado su efecto dañino sobre la salud (Dockery et al., 1993).

Clasificación de las partículas

- **Por granulometría**, las partículas se clasifican según el tamaño del diámetro equivalente de la partícula.

Para calidad del aire se clasifican en:

- PM₁, partículas con diámetro equivalente menor o igual a 1 µm.
- PM_{2,5} partículas con diámetro menor o igual a 2,5 µm.
- PM₁₀, partículas con diámetro menor o igual a 10 µm.

Así mismo, el PM según su granulometría también se clasifica como:

- **Partículas ultrafinas ($d < 0,1 \mu\text{m}$).** Su fuente es el ácido sulfúrico, amoníaco y agua, todos en estado gaseoso. Tiene un período de remanencia de horas a causa de la acelerada coagulación que tienen con partículas vecinas o por el incremento en su tamaño debido a la condensación. Las encontramos predominando la contaminación por emisión de tráfico rodado (Kulmala et al., 2004).
- **Partículas finas ($d < 1 \mu\text{m}$).** Estas partículas tienen lugar en el agua que contienen las nubes, en las cuales se dan reacciones en estado líquido de partículas hasta $0,02 \mu\text{m}$ (Langner & Rodhe, 1992).
- **Partículas gruesas ($d > 1 \mu\text{m}$, según ciencias atmosféricas)** tienen su origen mayormente es primario y por procesos mecánicos como la erosión terrestre, marina (aerosol marino) y de materiales (Harrison, 2007).
- **Por mecanismos de formación,** PM se clasifican en partículas primarias y secundarias. Las partículas primarias son emitidas directamente por la fuente, y son mayormente partículas gruesas, las cuales tienen su origen a través de la desintegración de otras de mayor tamaño, polvo del suelo, entre otros. Las partículas secundarias se forman en la atmosfera a partir de un gas precursor en procesos fisicoquímicos, como nucleación, coagulación o reacciones en estado líquido.
- **Por composición,** como el resto de sus características esta varía con respecto a su origen.
 - **Materia Mineral o cristal**
 La composición de esta materia depende de la región en la que se encuentre y sus características geológicas y de suelos. Por lo general son partículas gruesas entre 5 y $25 \mu\text{m}$. Su emisión en la atmósfera por medios antropológicos se debe a la construcción, minería, cerámica, cemento y tráfico; mientras que la emisión por medios naturales depende de las características del suelo, humedad, flora, entre otros (Glaccum & Prospero, 1980).
 - **Aerosol marino**

Su fuente es el agua de mares y océanos, y contiene en su mayoría cloruro sódico. Forman parte el 38% de emisiones globales, y su diámetro se encuentra entre 1 y 5 μm (IPCC, 2001).

- Compuestos de azufre

Predominan los sulfatos secundarios, los cuales se producen por oxidación de gases precursores, y tienen un diámetro menor a 1 μm . Su fuente natural son las emisiones biogénicas y volcánicas, y su fuente antropológica (responsable de la formación 60-80% de compuestos de azufre) es el SO_2 de combustión de combustibles fósiles. Representan entre el 7 y 10% de las emisiones globales(IPCC, 2001; Mountford & Keppler, 1999).

- Compuestos de nitrógeno

Los principales compuestos son el NO_3^- y NH_4^+ y tienen diámetros menores a 1 μm y su origen es principalmente secundario. Naturalmente provienen de emisiones de suelos, incendios forestales, descargas eléctricas y biogénicas; mientras que por el lado antropológico su fuente son los gases precursores de combustión de combustibles en procesos eléctricos y a temperaturas elevadas. Estos compuestos representan del 2 al 5% de las emisiones globales.(Milford & Davidson, 1987; Querol et al., 2001)

- Compuestos de carbono

En este conjunto se toman en cuenta todos los que contengan carbono como su elemento principal. En la atmósfera se lo puede encontrar como carbono elemental, orgánico y carbono de carbonatos. La fuente de estos compuestos de manera natural es a través de la vegetación, superficie de océanos y suelos; de manera antropológica se producen estos compuestos por medio de la combustión incompleta. Su diámetro puede estar entre 2,5 y 10 μm , y representan de 2 al 5% de las emisiones globales terrestres(IPCC, 2001; Querol et al., 2001).

- Por su origen y fuentes

- Emisiones naturales, las cuales se dan a través de la naturaleza ya sea por emisiones volcánicas, de suelos, transpiración de plantas o por erosión marina.
- Emisiones antrópicas son las que tienen su origen como consecuencia de actividades humanas. En este grupo entra la quema de combustible, procesos industriales, contaminación de suelos y mares, tráfico rodado, actividades agrícolas, entre otros.
- Emisiones sectoriales sólidas y gases precursores(Aneja et al., 2001).

Efectos del material particulado

- **Sobre la salud.** El efecto nocivo del PM sobre la salud humana ha sido comprobado por diferentes estudios epidemiológicos (Chen et al., 2017; Kan, 2017; Polichetti, Cocco, Spinali, Trimarco, & Nunziata, 2009), siendo más perniciosas las partículas de menor tamaño (PM_{2,5}, PM₁) por la capacidad que tienen de penetrar en las zonas más profundas del sistema respiratorio. Estas alcanzan la cavidad alveolar, los bronquiolos. No se eliminan y se acumulan teniendo efectos crónicos (A. Churg & Brauer, 1997; Andrew Churg, Brauer, del Carmen Avila-Casado, Fortoul, & Wright, 2003). La Comisión Europea considero a las partículas de carbono negro (llamado *carbon black* en inglés) en el PM₁, como la primera causa de muerte prematura por contaminación ambiental (The European Court of Auditors, 2017).
- **Sobre ecosistemas**, al ser depositado en la superficie terrestre o marina afectan de la siguiente manera. Polvo mineral reducen la capacidad de intercambio gaseoso y a la fotosíntesis, las concentraciones de metales influyen adversamente a las características edáficas e inhiben la toma de nutrientes de plantas. La materia mineral afecta a ecosistemas terrestres y marinos y material particulado ácido aumenta la posibilidad de acidificación de suelos, afectando bosques y cultivos (WBG, 1999).
- **Sobre el clima**, las partículas en suspensión son los núcleos de condensación, estos sobresaturan las nubes y afectan a su formación, vida media y disminuyen la posibilidad de lluvia. Además, el material particulado dispersa y/o absorbe

radiación, esto provoca que se modifique el balance radiactivo global, se reduzca la visibilidad y se altere el grado de potencia reflectora de la superficie terrestre. Uno de los principales contaminantes responsables de efecto es el carbono negro contenido en el PM₁ tiene una alta capacidad de absorber la radiación solar para luego remitirla a la atmósfera en forma de calor; en el 2011 el Instituto de Gobernanza y Desarrollo Sostenible de Estados Unidos declaró las emisiones del carbono negro como la segunda mayor contribución al cambio climático, siguiendo al CO₂ (Díaz Poma, 2018). En la figura 1.2 se puede apreciar de mejor manera los efectos sobre el clima con respecto al material particulado.

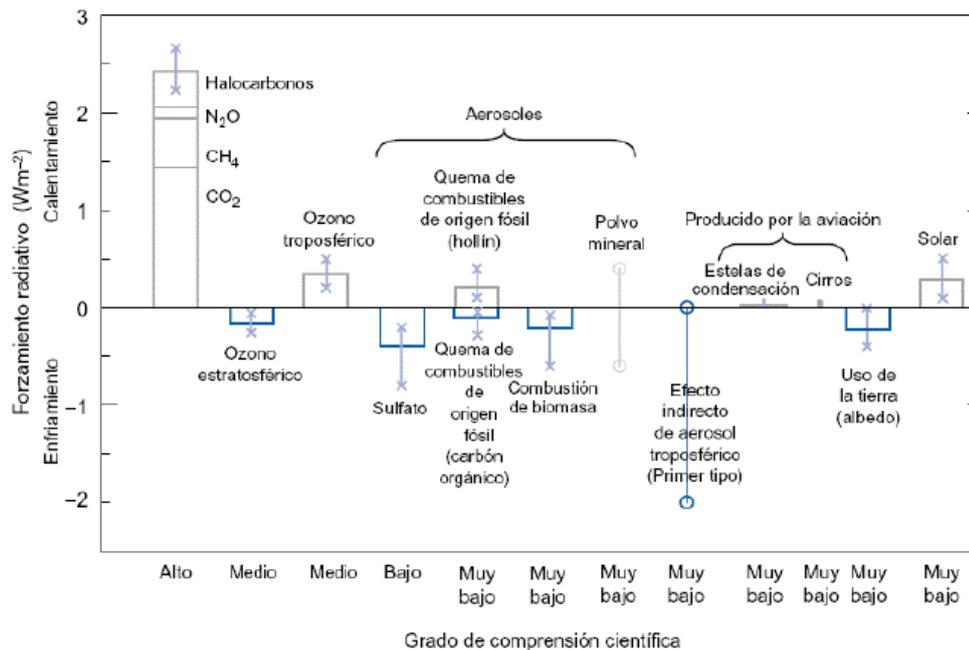


Figura 0.2 Media anual del forzamiento radiativo (W/m²) a escala global para los principales agentes atmosféricos.

Fuente: (IPCC, 2001)

- Otros efectos provocados como consecuencia de la contaminación de material particulado son la visibilidad atmosférica, y deterioro de materiales de construcción y recubrimientos.

Mecanismos de remoción

El material particulado al final de su ciclo de vida es removido de la atmósfera. Esta remoción es dada por dos mecanismos, los mismos que se detallan en la figura 1.3 y que se describen a continuación:

- Deposición en la superficie de la tierra (deposición seca). El cual tiene un tiempo de vida relativamente mayor debido que se deposita en la superficie.
- Incorporación en las gotas de lluvia durante la formación de precipitación (deposición húmeda), la cual realiza una especie de lavado del material particulado. (Seinfeld et al., 2006).

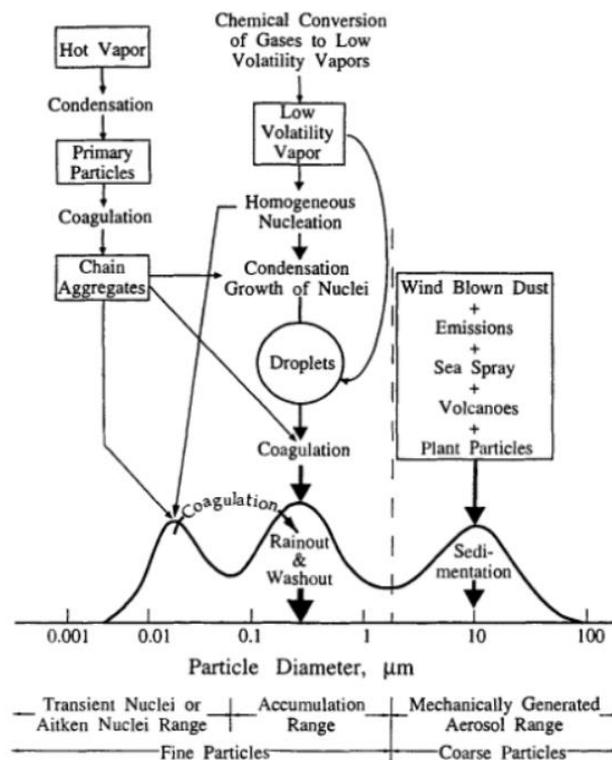


Figura 0.3 Esquema de los mecanismos de formación y remoción de material particulado con respecto su diámetro equivalente.

Fuente:(Cantrell & Whitby, 1978)

Límites permitidos

El material particulado en el Ecuador se rige bajo la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire emitida por el Ministerio del Ambiente (Anexo 4 Acuerdo Ministerial 067: Ministerio

del Ambiente & Núñez, 2015). La Organización Mundial de la Salud (OMS) es el organismo internacional encargado de vigilar la salud de la población a nivel mundial, sus recomendaciones de calidad del aire se consideran un referente. United States Environmental Protection Agency (USEPA) se ha destacado en el área ambiental desde mediados del siglo pasado, convirtiéndose, también, en un referente para Latinoamérica y el mundo en normativa ambiental. La tabla 1.1 detalla los límites establecidos para concentración de PM₁₀ y PM_{2,5} en 24 horas y anualmente.

Tabla 0.1 Límites de concentración de material particulado

Material Particulado	Ecuador		OMS		USEPA	
	24 horas	Anual	24 horas	Anual	24 horas	Anual
PM ₁₀	100 µg.m ⁻³	50 µg.m ⁻³	50 µg.m ⁻³	20 µg.m ⁻³	150 µg.m ⁻³	-
PM _{2,5}	50 µg.m ⁻³	15 µg.m ⁻³	25 µg.m ⁻³	10 µg.m ⁻³	35 µg.m ⁻³	12 µg.m ⁻³

Fuente: (Harrison, 2007; Ministerio del Ambiente & Núñez, 2015; WHO/SDE/PHE/OEH, 2005)

El PM₁ hasta la fecha no está normado, aunque se conoce que por ser de menor tamaño tiene mayor capacidad de penetrar en el sistema respiratorio, actualmente no existen suficientes estudios epidemiológicos que permitan establecer un límite seguro para la salud humana (WHO/SDE/PHE/OEH, 2005).

Variables meteorológicas y actividades antropogénicas.

Existen parámetros meteorológicos como temperatura, dirección y velocidad del viento que influyen en el comportamiento de material particulado, junto con actividades antropogénicas. El tráfico vial, común en zonas céntricas y residenciales, emite material particulado de diferentes tamaños a través del tubo de escape y en zonas industriales la emisión se produce como consecuencia del proceso de combustión. Sectores apartados de las zonas mencionadas anteriormente se ven afectados por el transporte de las partículas en el aire dependiendo de las variables meteorológicas y la topografía (Allende, Romero, Cremades, Mulena, & Puliafito, 2013; Pérez et al., 2010; Rodríguez et al., 2008)(Espin Esparza, 2017).

Clima en el Ecuador

En el Ecuador continental existen tres regiones, Costa, Sierra y Amazonía. Las regiones están divididas por una frontera climática constituida por la cordillera de Los Andes, que cruza el país de norte a sur. A estas regiones se le suma las islas Galápagos (Fries, n.d.).

En el clima del país influyen los siguientes factores y sistemas:

- Intertropical Convergence Zone (ITCZ)
- Célula de Hadley
- Anticiclones subtropicales (Atlántico y Pacífico)
- Corrientes Marítimas
 - Corriente de Humboldt
 - Contracorriente del Pacífico ecuatorial (Corriente del Niño)

Clima de la Costa

La región Costa se ve afectada por las corrientes marítimas del Pacífico. La corriente de Humboldt y corriente del Niño influyen en la presencia de climas fríos y calientes respectivamente. Además los vientos soplan en distintas direcciones en verano (junio-noviembre) e invierno (diciembre-mayo).

Las precipitaciones en esta región varían entre 500 y 2000 mm/año: debido a la corriente caliente del Niño existe también un régimen de lluvia un tanto extremo entre los meses de febrero y marzo. Las temperaturas se mantienen estables alrededor de 25°C.

Normalmente en la época de lluvias las jornadas inician soleadas y con temperaturas elevadas. Debido al incremento de la humedad ocasionada por el comportamiento diurno, el día culmina con precipitaciones. En este período se observa una mejora de la calidad del aire y masas de agua dulce (Fries, n.d.; Hernandez, 2006).

CAPÍTULO 2

Metodología

Región de estudio

Los datos con los que se trabajó en el presente proyecto fueron tomados del “Estudio de los niveles de concentración de material particulado de PM_{2,5} y PM₁ en Guayaquil, Ecuador” realizado entre 2016-2017 (Espin Esparza, 2017). En ese trabajo se llevó a cabo el monitoreo de la concentración de material particulado ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) y variables meteorológicas (temperatura, presión, dirección del viento, rapidez del viento, humedad), en cuatro sectores de la ciudad de Guayaquil, Guayas: sector cementera localizado en Vía a La Costa, sector Centro en el centroide de la ciudad, sector residencial ubicado en la Ciudadela Paraíso y el sector industrial en la Urbanización Industrial Inmaconsa. Los datos se recolectaron en dos períodos climáticos (lluvia y sequía) durante 7 días consecutivos, época de sequía entre octubre y diciembre de 2016 y, época de lluvia entre enero y marzo de 2017. La Tabla 2.1 muestra las fechas exactas de recolección.

Tabla 0.1 Toma de datos de PM_{2,5}, PM₁ y variables meteorológicas.

Material particulado	UTM	PM _{2,5}				PM ₁			
		Época seca		Época lluvia		Época seca		Época lluvia	
Sector de muestreo	(m)	Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta
Industrial	617374.10 E 9766166.20 S	24-oct-16	30-oct-16	20-feb-17	27-feb-17	17-oct-16	24-oct-16	13-feb-17	20-feb-17
Residencial	619975.56 E 9761163.88 S	07-nov-16	14-nov-16	27-feb-17	05-mar-17	31-oct-16	07-nov-16	07-ene-17	15-ene-17
Centro	623739.14 E 9757495.40 S	23-nov-16	30-nov-16	04-feb-17	10-feb-17	16-nov-16	23-nov-16	28-ene-17	04-feb-17
Cementerías	614618.32 E 9758248.13 S	10-dic-16	17-dic-16	21-ene-17	27-ene-17	03-dic-16	10-dic-16	14-ene-17	20-ene-17
				07-mar-17	13-mar-17				

Fuente: (Espin Esparza, 2017; Sullivan, 2009)

Los sectores escogidos para el muestreo son representativos del funcionamiento regular en la ciudad de Guayaquil. El sector industrial es modelo de aquellos donde hay alta actividad industrial (pequeñas y medianas industrias del área de alimentos y bebidas,

plásticos, químicos, de asfalto, entre otras); este sector está limitado por dos vías de alta circulación vehicular, como Vía Perimetral (6 canales) y Vía Daule (8 canales). El sector cementeras está localizado en Vía a La Costa, donde operan industrias cementeras cuyo proceso va desde la extracción de caliza y arcilla hasta la producción de cemento; este sector es atravesado por una autopista de salida de la ciudad hacia la zona de playas, con alto tráfico vehicular. El sector centro es representativo de la actividad céntrica de la ciudad con fuerte actividad comercial, retraso vehicular en horas pico y alta frecuencia de transporte público predominantemente con motor de diésel y antigüedad de más de diez años. El sector residencial es representativo de asentamientos urbanos cerrados característicos de la ciudad de Guayaquil, con alta densidad poblacional. En la Tabla 2.1 también se indica las coordenadas UTM de los cuatro sectores y la Figura 2.1 señala de los lugares de muestreo.

Equipos de muestreo

El material particulado se midió con un equipo gravimétrico en tiempo real marca HAZ DUST, modelo EPAM 5000, de alta sensibilidad que mide tres tamaños de partículas, pero registra sólo uno a la vez (PM_{10} , $PM_{2,5}$ o PM_1). Este equipo está soportado con el software DustComm Pro1.2 en base Windows, que permite descargar la información almacenada a un dispositivo de manipulación de datos. El equipo realiza mediciones cada segundo, sin embargo, los datos fueron registrados cada 30 minutos. (Espin Esparza, 2017).

Las variables meteorológicas fueron recolectadas simultáneamente con el registro de concentración del material particulado, en el mismo lugar y al mismo tiempo, a través de un anemómetro marca Kestrel que recolecta datos de velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad, presión atmosférica, altitud, punto de rocío y presión barométrica. Este equipo viene acompañado de un software de conexión bluetooth con el programa Kestrel Communicator para la descarga de datos en formato csv.

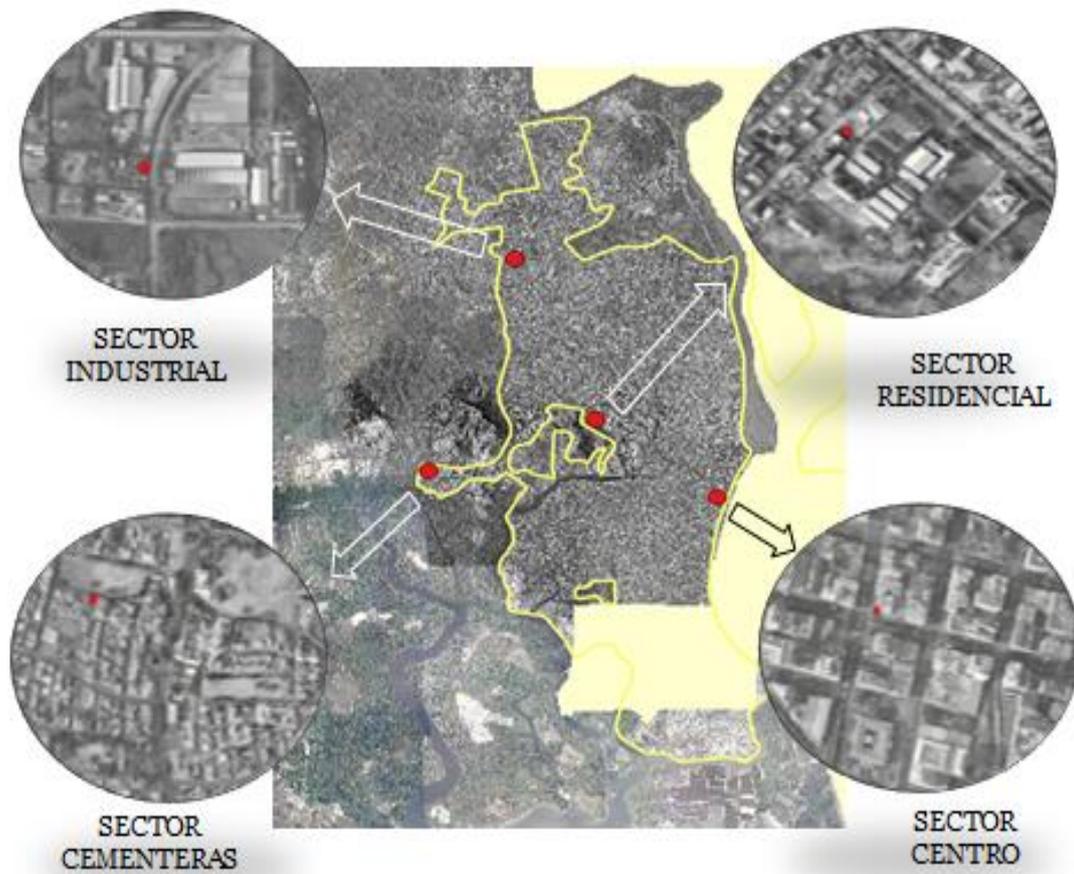


Figura 0.1 Esquema de los sectores de estudio dentro de Guayaquil.

Fuente: (Espin Esparza, 2017)

En el Apéndice II se presenta el punto de monitoreo de cada sector. Se determinó que aparte de las industrias y descripción mencionadas en este capítulo existieron eventos imprevistos al momento de captación de datos de concentración, cuya información se obtuvo mediante una investigación secundaria, que se aplica más adelante.

Dado que se monitoreó la concentración de PM_{10} y $PM_{2,5}$, en dos periodos consecutivos de tiempo en los cuatro sectores seleccionados tanto en época de lluvia como de sequía, se recolectaron dieciséis grupos de mediciones bajo las condiciones previamente descritas. Estos grupos de datos en el presente proyecto serán nombrados “estratos”. En la Figura 2.2 se detalla cada estrato bajo cada condición de monitoreo y sus fechas.

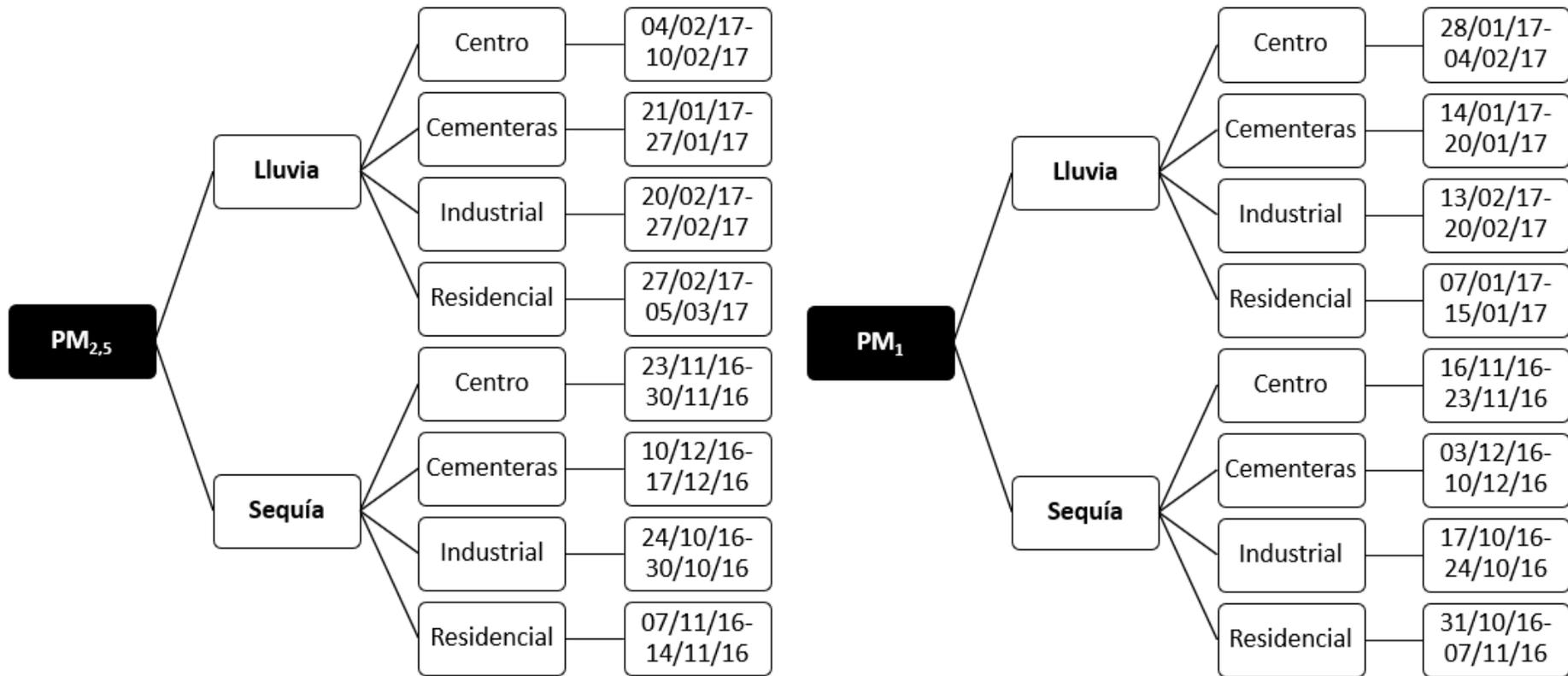


Figura 0.2 Formación de los 16 estratos con sus respectivas fechas de toma de datos

La metodología propuesta para el proyecto se describe en la Figura 2.3:

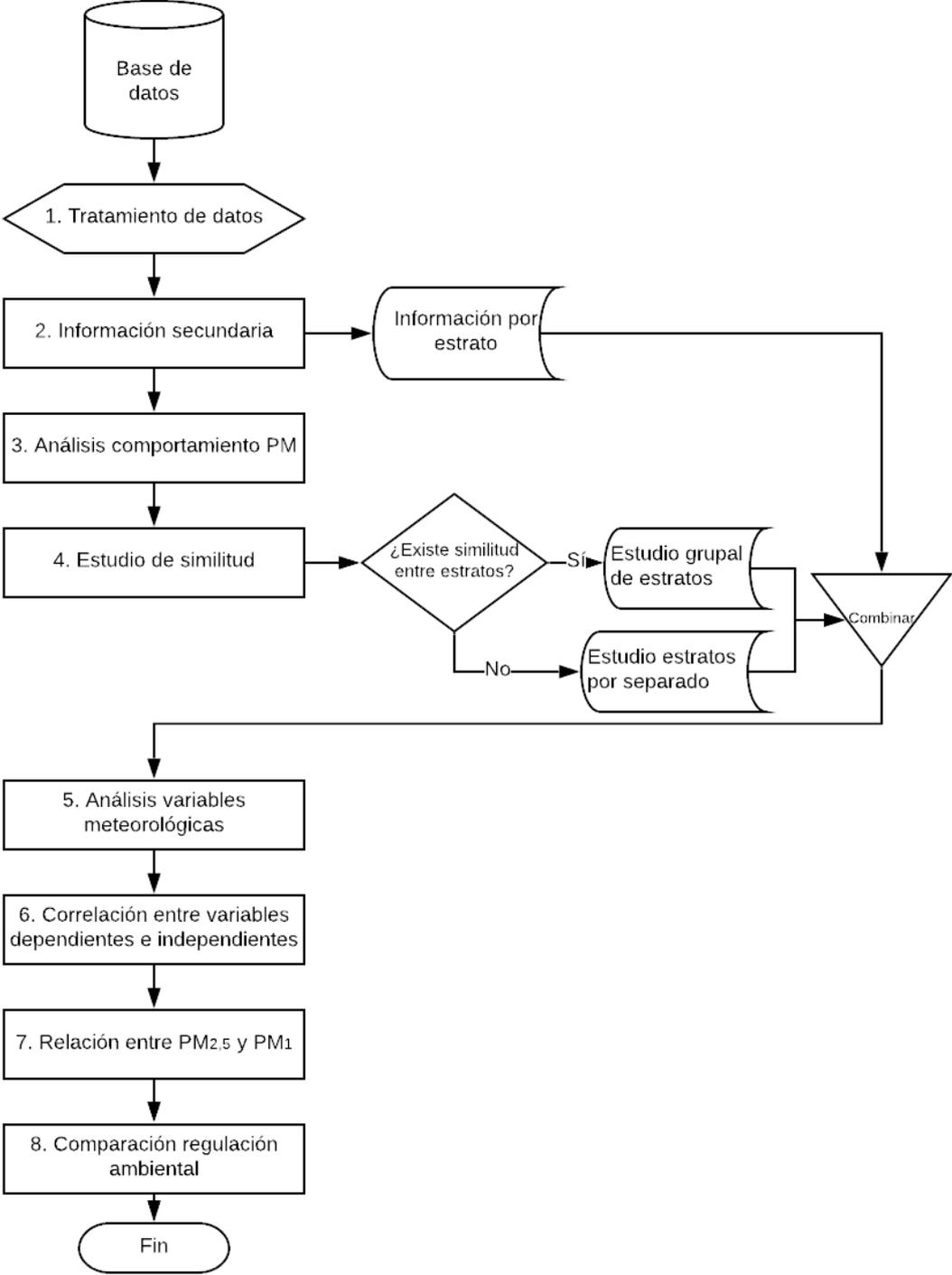


Figura 0.3 Diagrama de flujo de metodología evaluación de calidad del aire a través de PM_{2.5} y PM₁

Se usó el software estadístico “*R Project for Statistical Computing*” versión 3.6.0 para el análisis estadístico. Este programa tiene licencia de libre acceso.

Tratamiento de datos

Los datos crudos registrados en formatos csv (comma-separated values) fueron almacenados haciendo uso de los softwares correspondientes para concentración de partículas y datos meteorológicos (DustComm Pro1.2 y Kestrel Communicator, respectivamente). Estos datos se depuraron para garantizar que los mismos estuvieran en el formato requerido por el software estadístico escogido (“*R Project for Statistical Computing*”, versión 3.6.0.).

Se encontró que el equipo registró una cantidad de valores de concentración igual a cero, así como de temperatura, humedad y vientos. Estos datos no fueron contabilizados en este estudio. Los datos esperados por variable eran igual a 2688 y los datos útiles para cada variable se muestran en la Tabla 2.4.

Tabla 0.2 Cantidad de datos útiles de estudio

Material Particulado	Concentración de PM	Temperatura	Velocidad Viento(m/s)	Dirección Viento	Humedad
PM _{2,5}	2441	2276	1155	2273	2078
PM ₁	2641	2544	1930	2105	2582

Información secundaria

En paralelo, se efectuó una investigación sobre ocurrencias de eventos antropogénicos que puedan generar contaminación y que tomaron lugar en los sectores de estudio, durante el período de recolección de datos: accidentes de tránsito, incendios, congestionamiento vehicular, taponamiento producto de inundaciones, explosiones de canteras y fumigaciones sobre tráfico vehicular, así como, la ocurrencia de precipitación.

Para este levantamiento de información se hizo una búsqueda por redes sociales (Twitter) durante los 112 días de muestreo, a través de anuncios publicados por las cuentas oficiales de la Agencia de Tránsito Municipal de Guayaquil, ECU911,

Corporación para la Seguridad Ciudadana de Guayaquil, Bomberos de Guayaquil y periódicos nacionales. En total se registraron 107 eventos, que posteriormente se analizaron con el fin de determinar si los mismos pudieran haber afectado la concentración de material particulado. En la Tabla I.1 del Apéndice I se listan estos eventos por fecha, día de la semana, hora y lugar de ocurrencia.

Análisis del comportamiento de PM

La estadística descriptiva fue usada para analizar el comportamiento del material particulado: valor mínimo y máximo, media, mediana (2^{do} cuartil), y, 1^{er} y 3^{er} cuartil. Estos estadísticos se calcularon para cada estrato por separado. Como herramienta para facilitar la visualización de los estadísticos descriptivos se usaron diagramas de caja. El objetivo fue visualizar la distribución de los datos y respecto a ese resultado escoger la metodología correcta que compruebe estadísticamente la similitud en el comportamiento de los estratos. Si los datos tuvieran distribución normal, se escogería un análisis ANOVA; si los datos tuvieran una distribución no normal, se escogería una metodología que no tomara en cuenta el supuesto de normalidad de datos.

Además, se analizaron los estratos con respecto a época: lluvia y sequía, sectores: cementera, centro, residencial e industrial y, además, se tomó en cuenta los días de la semana. Así mismo, para conocer la frecuencia que ocurren los rangos de concentración para cada estrato, se visualizó dicha frecuencia a través de histogramas y se respaldó el tipo de distribución de los datos visualizada por los diagramas de cajas.

Se analizó el comportamiento horario de la concentración de material particulado para cada día de la semana, las dos épocas climáticas, en los cuatro sectores y los dos tamaños de partículas. El análisis visual permitió identificar un comportamiento diario similar que conllevó a aplicar estadística inferencial que probara o no dicha similitud.

Estudio de similitud del comportamiento de los estratos

Para confirmar si la similitud observada visualmente en la etapa anterior es correcta, se necesita la suficiente evidencia estadística que lo compruebe. Para ello se requería la comparación de las medias múltiples a través de pruebas de hipótesis.

Los diagramas de caja realizados en la etapa anterior mostraron que los datos corresponden una distribución no normal, lo que obliga a escoger la mediana “ \tilde{x} ” (estadístico no paramétrico) en vez de la media (estadístico paramétrico) como estadístico descriptivo para la comparación múltiple a realizar en las pruebas de hipótesis. Se escogió el método de comparación múltiple por ajuste de Bonferroni, la misma que trabaja datos que tengan cualquier tipo de distribución.

La desigualdad de Bonferroni provee una metodología para obtener una aproximación a las tasas de error en comparaciones múltiples. Es decir, la tasa de error para los grupos de comparaciones es menor o igual que la sumatoria de las tasas de error de las comparaciones individuales (por estrato) (Kuehl, 2001). Cuando se realizan n comparaciones con tasas de error iguales “ α_c ”, la metodología de la desigualdad de Bonferroni establece la siguiente relación:

$$\alpha_E \leq n \cdot \alpha_c$$

La igualdad representada en la relación se efectúa cuando las pruebas son independientes. A partir del programa estadístico se realizaron las pruebas de hipótesis detalladas de manera general (ver Tabla 2.6) a través de un análisis de varianza con un factor (ANOVA) bajo un nivel de confianza del 95% ($\alpha_{1/2} = 0,025$). que arroja el “F-valor” del cual se obtiene la probabilidad P. Si el valor P es mayor al nivel de significancia impuesto, la hipótesis nula será rechazada (Kuehl, 2001).

Tabla 0.3 Hipótesis de comparación de medianas múltiples

n	Número de observaciones a comparar dependiendo los estratos a analizar
Prueba de hipótesis nula	$H_0: \tilde{x}_1 = \tilde{x}_2 = \dots = \tilde{x}_n = \tilde{x}$
Prueba de hipótesis alterna	$H_i: \neg H_0$

En el caso de ser rechazada la hipótesis nula, no es posible aplicar la desigualdad de Bonferroni (Kuehl, 2001).

Para cada tamaño de partículas se aplicó la desigualdad de Bonferroni para los siguientes casos:

- Comparación múltiple de las medianas entre las concentraciones en época de lluvia y sequía.
- Comparación múltiple de las medianas entre las concentraciones en época de lluvia y sequía para cada sector.
- Comparación múltiple de las medianas entre las concentraciones en época de lluvia y sequía por día de la semana.
- Comparación múltiple de las medianas entre las concentraciones en época de lluvia y sequía por día de la semana, para cada sector.
- Comparación múltiple de las medianas entre las concentraciones por sector para fechas en que llovió o no llovió.

Una vez realizado el estudio de la similitud mediante las pruebas de hipótesis con la desigualdad de Bonferroni, se establecieron los grupos de estratos que mostraron similitud entre ellos, determinando así la existencia de patrones de comportamiento para cada tamaño de partícula por separado.

Análisis de variables meteorológicas

En esta etapa se analizaron las siguientes variables meteorológicas: temperatura, velocidad y dirección del viento. Se obtuvieron los estadísticos descriptivos (mínimo, media y máximo) de cada estrato para cada variable. El objetivo es establecer el comportamiento de estas variables.

Evaluación de correlación entre las variables independientes y la concentración

El objetivo de esta etapa es establecer posibles correlaciones entre las variables independientes (época climática, sector de recolección de datos, temperatura,

precipitación, velocidad y dirección del viento y ocurrencia de evento antropogénico) y las variables dependientes ($PM_{2,5}$ y PM_{10}).

Dependiendo del tipo de variable involucrada en la comparación (cualitativa o cuantitativa) se utilizó un tipo de correlación específica.

- Análisis de Variables Cuantitativas-Cuantitativas: Prueba de correlación de Pearson.
- Análisis de Variables Cuantitativas-Cualitativas: Prueba de Spearman.

En este punto se asoció cada variable independiente con las dos variables dependientes detallada en la tabla 2.7.

El coeficiente de correlación de Pearson mide el grado de asociación lineal de las dos variables analizadas, dando como resultado un valor “r” que podría encontrarse entre -1 y 1, que indica el grado de correlación y la dirección de estas. Un r igual a cero o cercano a este valor, señala que no existe asociación lineal entre esas variables; mientras que un r igual a uno o cercano a uno indicaría la presencia de una fuerte asociación lineal entre estas variables, la cual será positiva o negativa según el signo. El coeficiente de Spearman se interpreta de la misma manera que el coeficiente de Pearson. (Pedroza & Dicovalskyi, 2006).

Cada coeficiente (Pearson y Spearman) va vinculado con un valor P, que determina la significancia de la relación entre las variables antes mencionadas.

Tabla 0.4 Detalle de variables de estudio para correlación PM_{2,5} y PM₁ con las variables independientes

			Tipo de Variable
Variables Dependientes	Concentración de PM _{2,5}	µg.m ⁻³	Cuantitativa
	Concentración de PM ₁	µg.m ⁻³	Cuantitativa
Variables Independientes	Lugar	Sector Cementeras Sector Centro Sector Residencial Sector Industrial	Cualitativa
	Período climático	Lluvia Sequía	Cualitativa
	Variable meteorológica	Temperatura Dirección del viento Rapidez del viento	Cuantitativa
	Precipitación	Existió precipitación No existió precipitación	Cuantitativa
	Evento antropogénico	Existió evento antropogénico No existió evento antropogénico	Cuantitativa

Con respecto a las variables cualitativas, al momento de hacer la prueba de correlación de Spearman, estas tomaron los valores numéricos descritos en la tabla 2.5.

Tabla 0.5 Valores numéricos tomados por cada variable cualitativa independiente, previo a prueba de correlación de Spearman

Variables Independientes			Valor numérico
	Lugar		Sector Cementeras
		Sector Centro	2
		Sector Industrial	3
		Sector Residencial	4
Período climático		Lluvia	0
		Sequía	1
Precipitación		Existió precipitación	1
		No existió precipitación	0
Evento antropogénico		Existió evento antropogénico	1
		No existió evento antropogénico	0

Relación entre $PM_{2,5}$ y PM_1 .

Luego de haber analizado la asociación de las variables dependientes con las independientes, se procedió a analizar dos variables independientes entre sí. Para esta etapa se utilizó la prueba de correlación cruzada, que consiste en determinar la asociación entre dos variables provenientes de dos series de tiempo distintas, permitiendo conocer la intensidad y la dirección de la relación entre dichas series (Arnau Gras & Bono Cabré, 1996). A partir de esta correlación se obtiene un coeficiente de correlación "r" y su rango se encuentran entre -1 y 1, y se interpretan de la misma manera que el coeficiente de Pearson expuesto en el punto 2.8.

Establecimiento del cumplimiento de la regulación ambiental

Para el análisis del comportamiento de la concentración de $PM_{2,5}$ se usó como referencia los valores de calidad de aire regulados en Ecuador (Ministerio del Ambiente & Núñez, 2015) y los propuestos por la OMS (WHO/SDE/PHE/OEH, 2005), expuestos en la Tabla 1.1; el PM_1 no cuenta con una normativa que lo regule.

CAPÍTULO 3

Resultados y análisis

Información secundaria

Se registraron 107 eventos antropogénicos que ocurrieron durante los 112 días de muestreo. Los mismos se listan en la Tabla I.1 del Apéndice I.

De los 107 eventos ocurridos durante el monitoreo, aproximadamente 87% (93 eventos) corresponden a congestiónamiento del tráfico por diversas causas. Los accidentes de tránsito representaron 55 de los 93 eventos de taponamiento (60%). Los accidentes de tránsito representan congestiónamiento del tráfico que generan mayor cantidad de emisiones por el constante arranque del motor del vehículo. En entornos con alta presencia de industrias y de tránsito (como el sector industrial) el nivel de emisiones de $PM_{2,5}$ suele sobrepasarse del límite de la regulación (Querol et al., 2009).

La mayor cantidad de accidentes ocurrieron a los alrededores del sector industrial. El estrato en el que ocurrieron mayores congestiónamientos de tránsito fue -sector industrial, sequía, PM_{1-} con 19 eventos en 7 días de monitoreo. La mayor cantidad de taponamientos de tráfico se producen a las 17h00 en el sector industrial durante el monitoreo de PM_1 en época de sequía (4 eventos) -ver Tabla I.1 del Apéndice I. Un estudio realizado en España en donde se monitoreo $PM_{2,5}$ en un período de 8 años, señala que en estaciones localizadas en lugares con tráfico intenso y zonas urbano-industrial, observaron un incremento de $13 \mu g.m^{-3}$ en la concentración promedio anual (38,23%) (Querol et al., 2009).

Por otro lado, en eventos de explosiones de canteras, como sucede en el sector cementeras, se generan principalmente emisiones de PM_{10} (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2014), aunque, también se emiten partículas gruesas ($\leq 25 \mu m$) (Glaccum & Prospero, 1980). A través de las redes sociales se conoció que el jueves 15 de diciembre de 2016 cuando se monitoreaba $PM_{2,5}$, se registró una explosión de canteras en el sector cementeras.

junto con otros gases de combustión de biomasa Los incendios forestales producen principalmente material particulado pequeño- PM_{10} (Milford & Davidson, 1987; Querol et al., 2001). El incendio ocurrido cerca del sector industrial (en lago Capeira) entre el 20 y 23 de octubre de 2016, coincidió con el periodo de monitoreo de PM_{10} en sequía en ese sector. El mismo comenzó por una quema de maleza no controlada que generó un incendio forestal de tres días. Además, de este incendio ocurrieron en el mismo estrato otros tres incendios de vegetación (18, 19 y 20 de octubre del 2016.)

La fumigación es fuente de emisión de PM_{10} y puede generar niveles diarios de $100 \mu g.m^{-3}$, debido a los niveles de SO_2 que contienen los pesticidas (Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), n.d.). Durante el monitoreo de PM_{10} en época de lluvia, sector industrial, hubo una fumigación (lunes 13 de febrero de 2017, 10h00).

Las tabla 3.4 y 3.5 muestran los resultados de la correlación de Spearman entre la concentración de PM_{10} y $PM_{2,5}$ con la ocurrencia de eventos antropogénicos.

PM_{10}

Análisis del comportamiento de PM_{10}

Luego de aplicarle la estadística descriptiva a los datos de PM_{10} recolectados en cada estrato (ver Tabla 3.1) se observa que en la época de lluvia la media más elevada ocurre en el sector industrial ($16,61 \mu g.m^{-3}$) y la más baja en el sector cementeras ($9,74 \mu g.m^{-3}$). En la época de sequía la media más alta sucede en el sector industrial ($18,96 \mu g.m^{-3}$) y la más baja en el residencial ($13,47 \mu g.m^{-3}$). La mayor mediana durante la lluvia ($16,00 \mu g.m^{-3}$) ocurrió en los sectores industrial y residencial. Los valores menores de la mediana fueron $8,00 \mu g.m^{-3}$ (centro) y $12 \mu g.m^{-3}$ (residencial) en lluvia y sequía.

En la Figura 3.1 se muestra la frecuencia de rangos de concentraciones para cada estrato de PM_{10} horario. Al observar la figura es notorio que la distribución de los datos es no normal por la falta de simetría en los histogramas. Al una data no normal, los resultados se hacen más robustos si se opera con estadísticos no paramétricos, como la mediana. De aquí en adelante el análisis estadístico se llevó acabo usando el estadístico mediana.

Tabla 0.1 Estadística Descriptiva de PM₁ y PM_{2,5}

	Época	Lugar	Mínimo	1er Cuartil	Mediana	Media	3er Cuartil	Máxima	Banda
PM ₁	PM ₁		1,00	8,00	13,00	14,65	19,00	87,00	11,00
	Sequía	PM ₁	1,00	9,00	14,00	15,82	19,53	85,00	10,53
		Cementerera	1,00	7,50	13,00	13,92	19,00	51,00	11,50
		Industrial	1,00	9,00	14,63	18,96	25,00	80,00	16,00
		Centro	1,00	11,00	16,00	17,10	21,00	68,00	10,00
		Residencial	1,00	9,00	12,00	13,47	16,00	85,00	7,00
	Lluvia	PM ₁	1,00	8,00	12,00	13,52	18,00	87,00	10,00
		Cementerera	1,00	7,00	9,00	9,74	13,00	23,00	6,00
		Industrial	1,00	9,00	16,00	16,61	22,00	52,80	13,00
		Centro	1,00	6,00	8,00	10,71	13,00	87,00	7,00
Residencial		1,00	12,00	16,00	16,28	21,00	35,00	9,00	
PM _{2,5}	PM _{2,5}		1,00	8,00	14,00	16,34	20,00	99,00	12,00
	Sequía	PM _{2,5}	1,00	10,00	16,00	17,94	22,00	96,00	12,00
		Cementerera	1,00	9,25	14,00	16,62	18,00	96,00	8,75
		Industrial	1,00	16,00	20,00	22,78	29,00	84,00	13,00
		Centro	1,00	9,00	14,00	16,87	22,00	65,00	13,00
		Residencial	1,00	9,00	14,50	16,06	20,00	53,00	11,00
	Lluvia	PM _{2,5}	1,00	7,00	11,00	14,42	18,00	99,00	11,00
		Cementerera	1,00	5,00	8,00	14,45	13,00	99,00	8,00
		Industrial	1,00	9,00	14,00	18,70	22,75	96,00	13,75
		Centro	4,00	6,00	8,00	9,58	11,00	37,00	5,00
Residencial		1,00	12,00	17,00	16,60	21,00	33,00	9,00	

En la misma figura, se observa que en la época de lluvia las concentraciones máximas del sector cementera y residencial llegaron hasta 35 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, mientras, que en el sector centro llegaron hasta 80 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Así mismo, es el centro, el que tiene las frecuencias más altas en concentraciones menores a 10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (se destaca que en este período de muestreo llovió todos los días en el centro). El sector residencial concentra su concentración entre 10-20 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. El industrial entre 5 y 25 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ y el sector cementera entre 7.5 y 10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. En la época de sequía, todas las concentraciones máximas se

incrementaron menos en el sector centro. En los sectores residencial y cementera se concentran las mayores frecuencias de concentración en valores menores a $20 \mu\text{g.m}^{-3}$ y en el sector centro entre 10 y $20 \mu\text{g.m}^{-3}$.

La Figura 3.2 muestra los estadísticos descriptivos para cada estrato. En ella se observa que la banda más ancha entre el 1er y 3er cuartil, para las dos épocas climáticas, se encuentra en el sector industrial ($16 \mu\text{g.m}^{-3}$ en sequía y $13 \mu\text{g.m}^{-3}$ en lluvia), lo que indica que la concentración en los datos en este sector es más dispersa que en los otros. El máximo valor de concentración de PM_{10} horaria se encontró en lluvia en el sector centro ($87 \mu\text{g.m}^{-3}$) y en sequía en el sector residencial ($85 \mu\text{g.m}^{-3}$)-Ver Tabla 3.1. El sector centro en época de lluvia presentó outlayers (valores de concentración que aparecieron una sola vez con valores elevados; $\sim 80.45 \mu\text{g.m}^{-3}$) posiblemente por un incendio de un vehículo el lunes 30Ene2017 a las 12h00 y por un gran taponamiento vehicular producido por las lluvias el 3Feb2017 a las 21h00. Otros outlayers con características similares se encontraron en la época de sequía en el sector residencial e industrial; entre la posible causa está el incendio forestal ocurrido de 20-23Oct2016 cercano al lago Capeira. Se destaca que durante este muestreo todos los días hubo taponamiento de tráfico y en cuatro ocasiones ocurrieron incendios de maleza. La visualización gráfica permite estimar que la calidad del aire en época de lluvia es mejor que en la época de sequía.

En la Figura 3.3 se repite el estudio anterior, pero en este caso PM_{10} -24horas, por sector y día de la semana (cada día de la semana incluye la época de lluvia y sequía). En ella se observa que la concentración diaria de los cuatro sectores en términos generales es similar, tanto a nivel de día por sector como la concentración de los sectores. Algunos días como martes industrial y el sábado en el sector centro. Esto podría ser consecuencia de las emisiones producidas por los cuatro taponamientos de tránsito y un incendio de vegetación en el sector industrial y, en el centro por la alta actividad comercial sabatina. Las anchas bandas entre el 1er y 3er cuartil en el sector industrial son las mayores, con la mayor cantidad de outlayers, seguido por el sector del centro que también contiene alta presencia de estos.

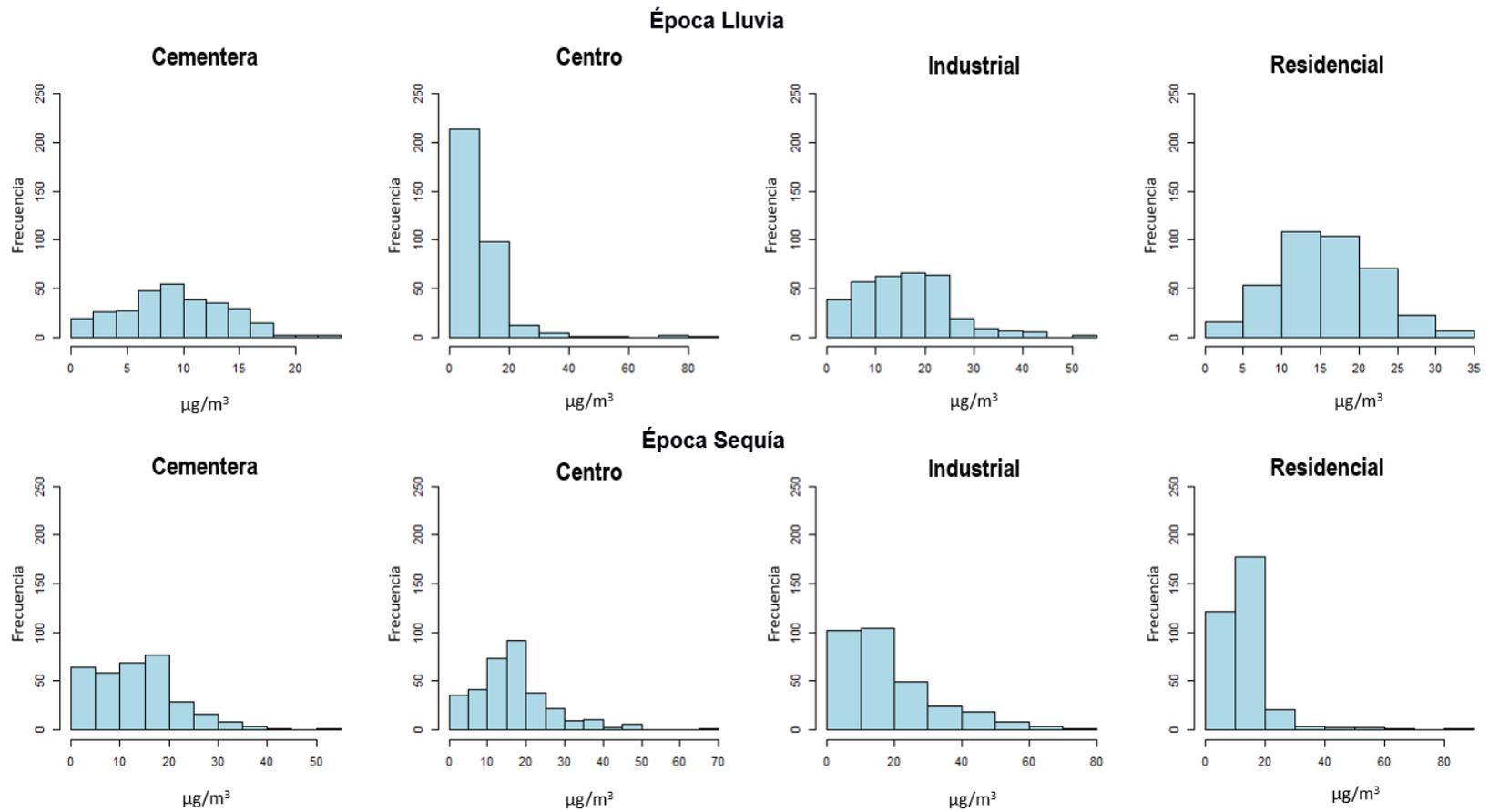


Figura 0.1 Histograma de frecuencia de rangos de concentración de PM₁ por sector y época climática

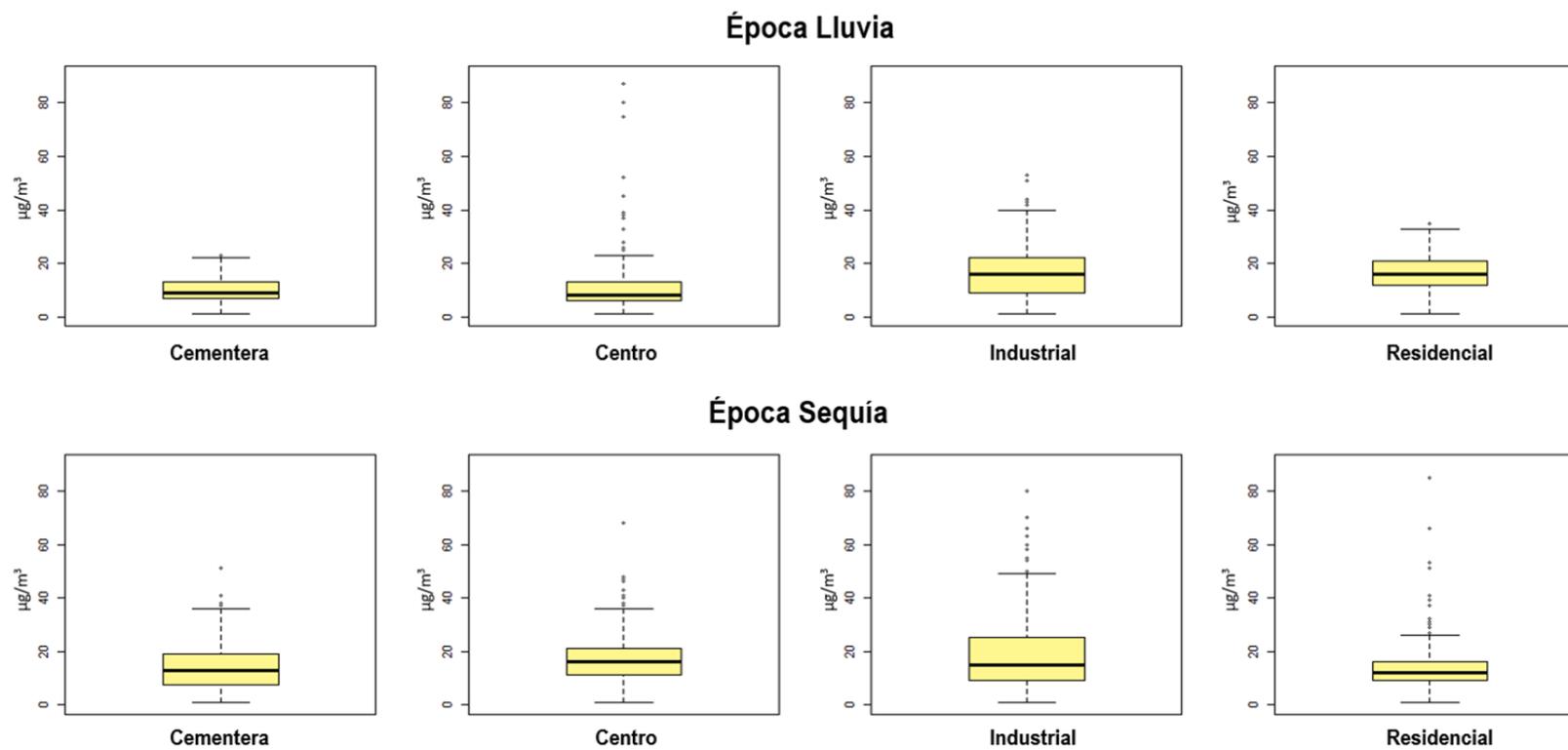


Figura 0.2 Estadística descriptiva de PM₁ en los cuatro sectores y épocas climáticas

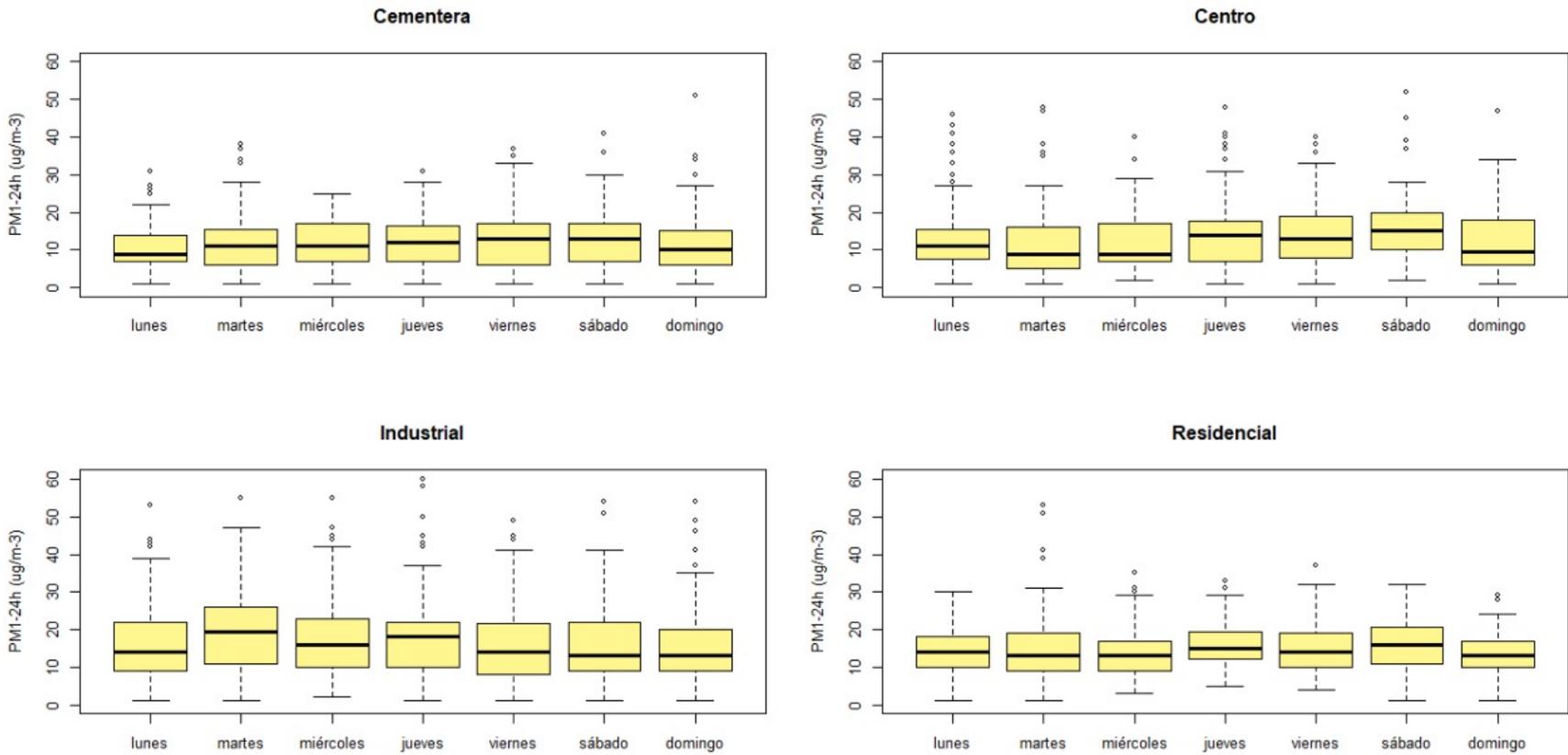


Figura 0.3 Estadística descriptiva de PM₁-24 horas en los cuatro sectores

Para comprender el comportamiento de la concentración de PM_{10} en la ciudad de Guayaquil se analiza la concentración horaria en cada sector. Ver Figura 3.4 y Figura 3.5. Estas figuras, se presenta el diagrama de cajas horario de PM_{10} de cada sector, en ellas vemos una variación de la concentración de PM_{10} horaria, a medida que transcurre el día. En la Figura 3.4 (época de sequía), se ve un comportamiento estacional horario equivalente en los tres sectores (cementera, centro y residencial). En estos tres sectores, la concentración comienza a aumentar a partir de las horas del mediodía hasta las 5 de la tarde donde se alcanza la mayor concentración horaria del contaminante. En estos tres sectores las concentraciones menores aparecen después de las 7 de la mañana, lo cual puede estar influenciado por la estabilidad atmosférica. Esto sugiere hacer un estudio que considere esa nueva variable meteorológica. En el sector industrial el comportamiento descrito no se observa, pero llama la atención que la banda en el 1er y 3er cuartil se ensancha en horas de la noche, con valores máximos que alcanzan aproximadamente los $60 \mu g.m^{-3}$. Se destaca que la mayoría de esas industrias trabajan las 24 horas. En la Figura 3.5 (época de lluvia) el comportamiento estacional diario es más suave. En el sector industrial, nuevamente la banda entre el 1er y 3er cuartil se hace más ancha a partir de las 4 de la tarde, presentando máximo sobre los $50 \mu g.m^{-3}$.

Este análisis descriptivo permitió visualizar posibles diferencias entre las medianas, producto del efecto de las variables independientes (época climática, sector de estudio, días de semana y precipitación el día del muestreo). Se hace necesario probar estadísticamente dicho hallazgo

Estudio de similitud del comportamiento de los estratos

El resultado de la prueba de desigualdad de Bonferroni entre las medianas de PM_{10} -24horas para lluvia y sequía, comprobó que la mediana de ambos grupos de datos es estadísticamente diferente: $\tilde{x}_{sequía} = 15,85 \mu g.m^{-3}$ y $\tilde{x}_{lluvia} = 13,52 \mu g.m^{-3}$ para un p-valor igual a $10,88 \times 10^{-10}$. Este resultado hace necesario analizar los datos de lluvia y de sequía por separado.

Época Sequía

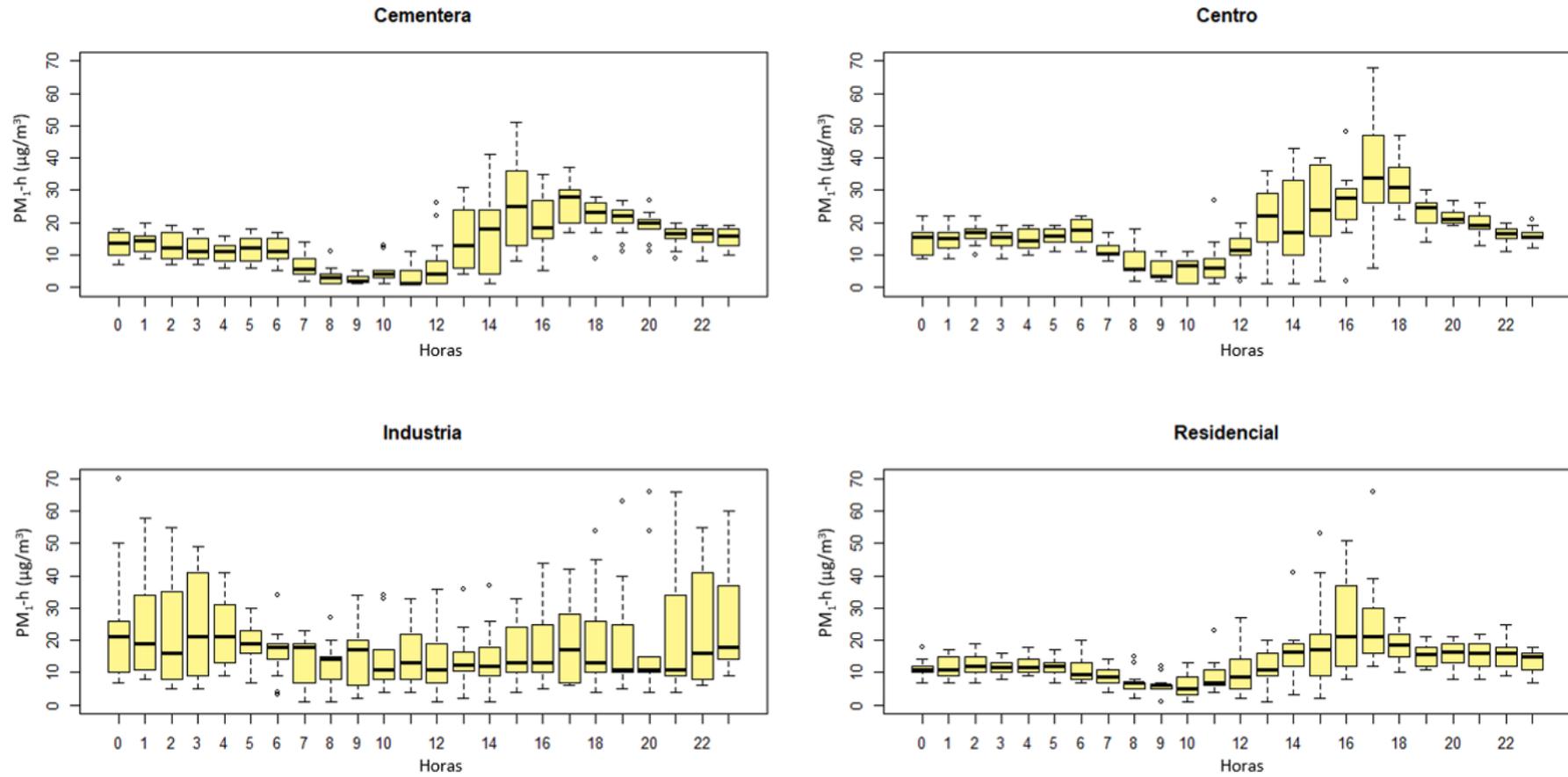


Figura 0.4 Estadística descriptiva de PM₁ por hora en cada sector en época de sequía

Época Lluvia

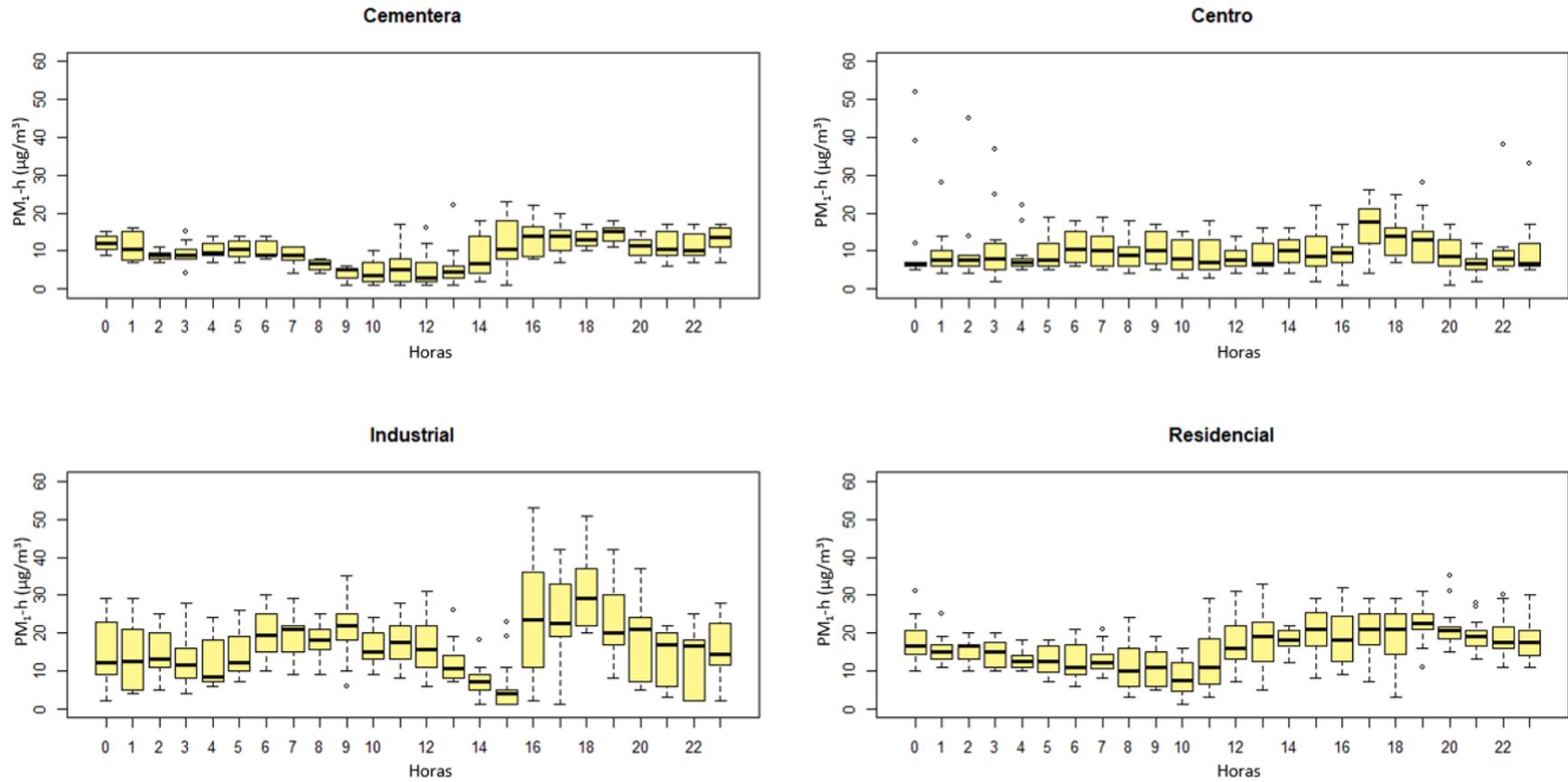


Figura 0.5 Estadística descriptiva de PM₁ por hora en cada sector en época de lluvia

La Figura 3.6 muestra la prueba de Bonferroni para los cuatro sectores en las dos épocas climáticas. En ella se presenta la mediana de cada sector agrupada por Bonferroni (grupo a y b, para cada época climática). En la época de lluvia se estableció una similitud entre el sector cementera- centro (grupo a) y entre el sector industrial- residencial (grupo b), mientras que en la época de sequía los grupos los formaron los sectores centro- industrial (grupo a) y residencial- cementera (grupo b) con un p-valor de $2,2 \times 10^{-16}$ para lluvia y $1,40 \times 10^{-9}$ para sequía.

La Figura 3.7 muestra el resultado de la prueba de Bonferroni para cada día de la semana que incluía los cuatro sectores, en las dos épocas climáticas. Los resultados indican que en lluvia se formó un solo grupo de domingo a jueves (p-valor de 0,01392). En sequía, la prueba de Bonferroni no rechazó la hipótesis nula con p-valor de 0.07213. Se compararon las medianas de cada sector para lluvia y sequia por separado. La Figura 3.8 muestra los estratos con p-valor es aceptable. El estrato lluvia cementera señala que, las medianas de los días de la semana entre domingo y viernes no difieren significativamente formando un grupo homogéneo. El estrato lluvia-residencial formó un grupo homogéneo con los siete días de la semana. Lluvia-centro y sequía residencial no formaron un grupo homogéneo.

Para terminar el análisis de similitud entre el comportamiento de la concentración de PM_{10} en los diferentes sectores de la ciudad de Guayaquil, se analizó si la ocurrencia de precipitación los días de muestreo influían sobre la mediana. Para esto se analizaron los días que llovió o no llovió en la época de lluvia para los cuatro sectores (se conoce si llovió y no llovió, más no de la cantidad de lluvia). Se destaca que en el período de recolección de datos en el sector centro durante la época de lluvia, llovió todos los días. En la Figura 3.9 se presenta el resultado de la prueba de Bonferroni. Las medianas de los sectores industrial-residencial, no difieren significativamente formando un grupo homogéneo. Se destaca que tanto el sector industrial (rodeado por dos vías rápidas) y el sector residencial (rodeado de avenidas con alto tráfico vehicular y mucha actividad comercial) son impactadas por las emisiones vehiculares.

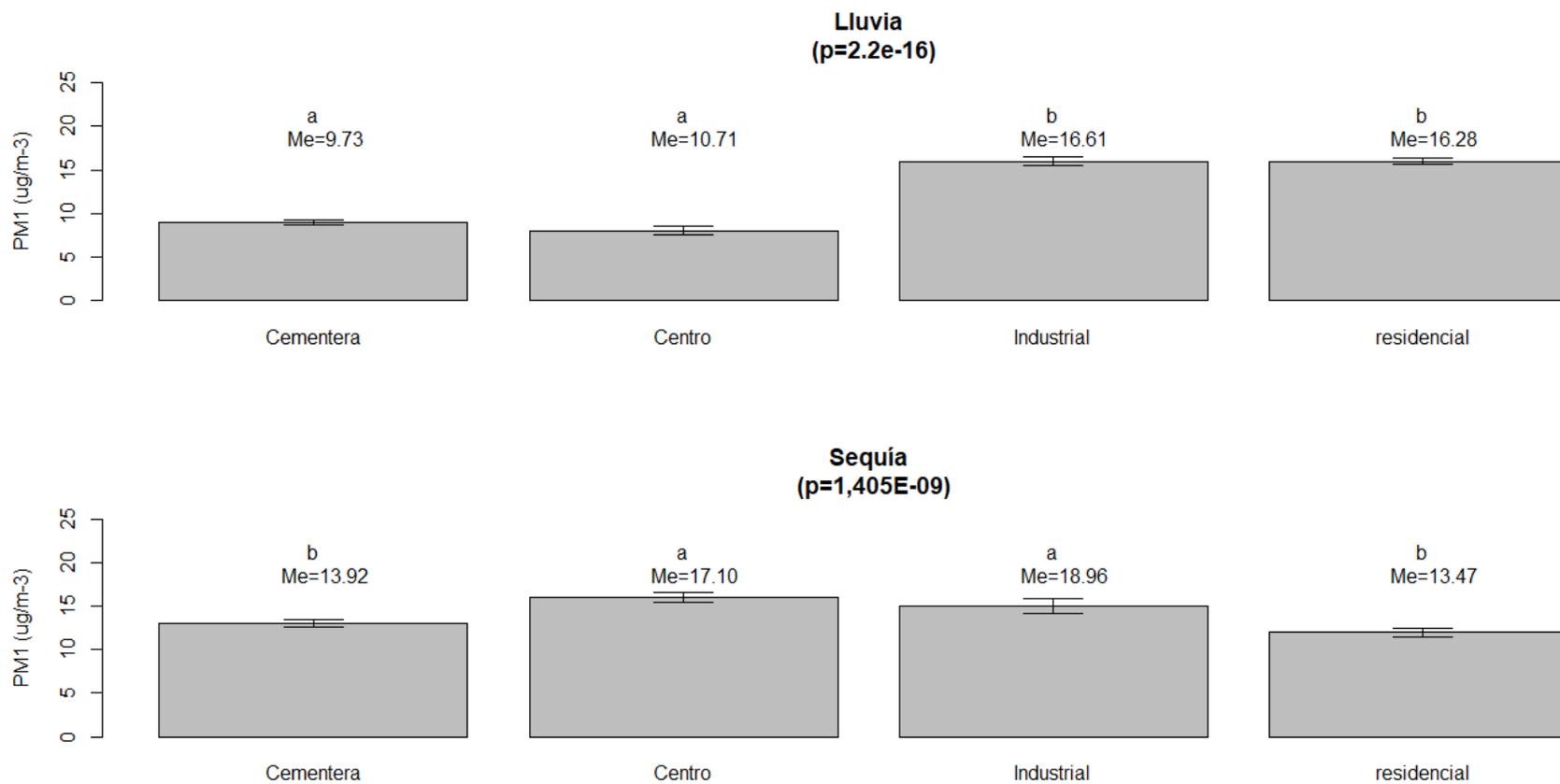


Figura 0.6 Estadística Inferencial prueba Bonferroni: Resultado de similitud de PM₁ por época climática en los cuatro sectores.

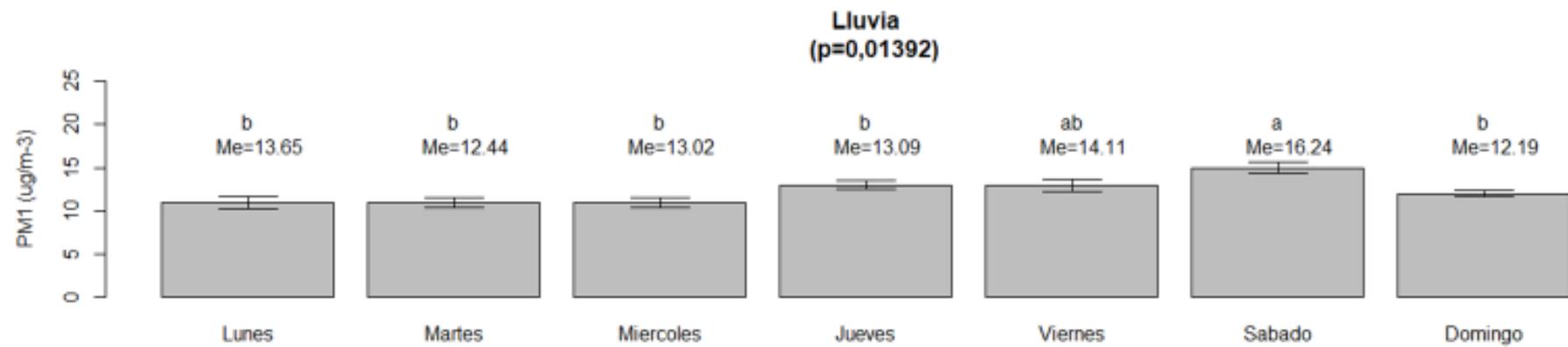


Figura 0.7 Estadística Inferencial prueba Bonferroni: Resultado de similitud de PM₁ lluvia y sequía por día de semana.

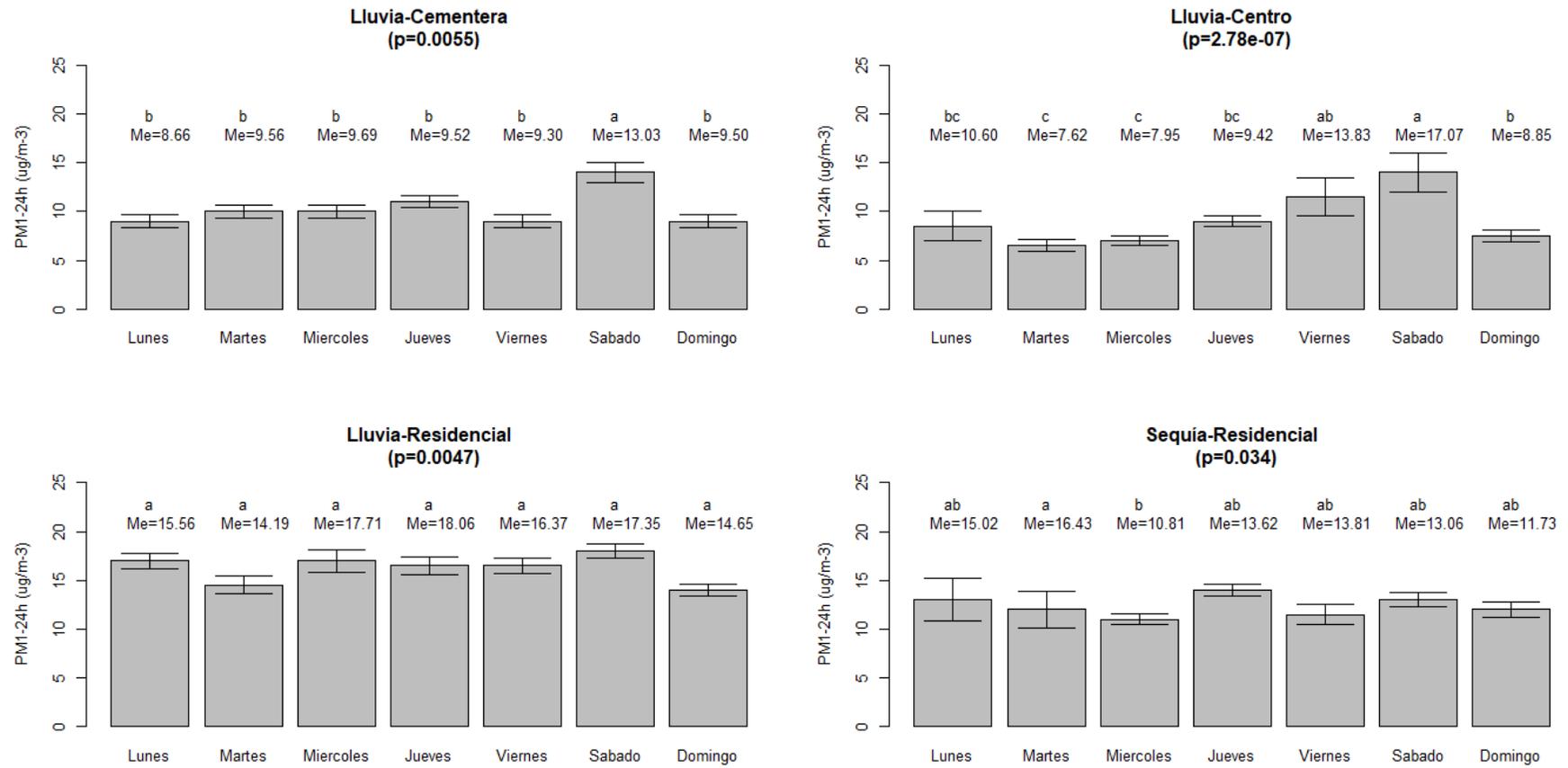


Figura 0.8 Estadística Inferencial prueba Bonferroni: Resultado de similitud de PM₁ lluvia, por día de semana en cada sector.

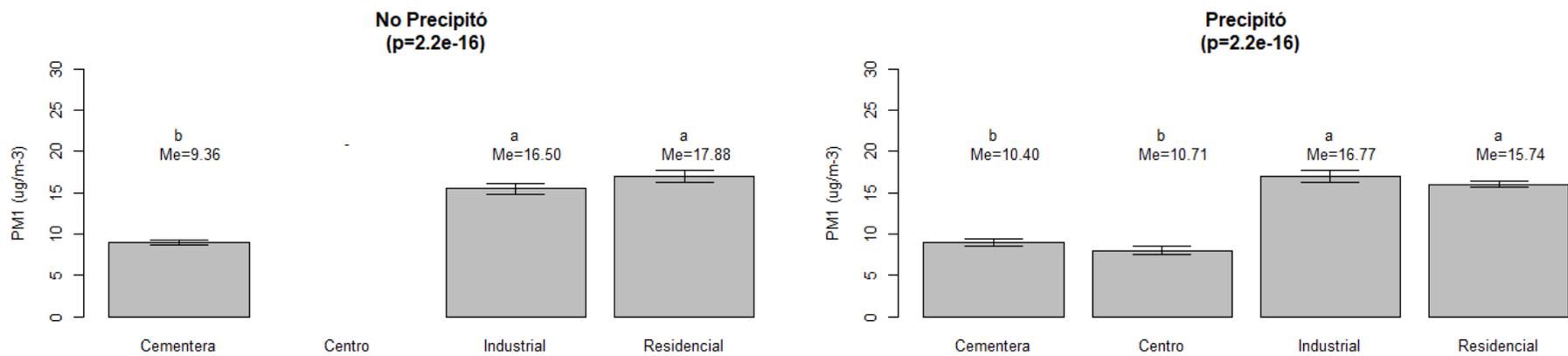


Figura 0.9 Estadística Inferencial prueba Bonferroni: Resultado de similitud de PM₁ lluvia para los 4 sectores, respecto a la existencia de precipitaciones.

PM_{2,5}

Análisis del comportamiento de PM_{2,5}

El material particulado PM_{2,5} es todo aquel menor a 2,5 µm, lo cual hace que esta fracción contengan las partículas PM₁. En la Tabla 3.1 se observa que las concentraciones promedio de PM_{2,5} para todos los datos registrados por estrato fueron; las más alta, 22,78 µg.m⁻³ y 18,70 µg.m⁻³ en sequía y lluvia, respectivamente y, las más bajas de 16,06 µg.m⁻³ en el sector residencial en sequía y en lluvia en el sector centro con 9,58 µg.m⁻³. El comportamiento general de PM_{2,5} es similar al de PM₁, aunque su concentración, como era de esperar, resultó más elevada. El ancho de las bandas de PM₁ en general parecieran ser un poco mayores que las de PM_{2,5}, mostrando mayor dispersión en la distribución de la concentración horaria de esta fracción.

La Figura 3.10 grafica mediante histogramas la frecuencia de concentración en los cuatro sectores para las dos épocas climáticas. En ella se observa que el comportamiento de los datos es no normal al igual que en el caso de PM₁. En época de lluvia las concentraciones bajas son las más frecuentes en el sector cementera, centro e industrial. En el sector residencial las concentraciones más frecuentes están entre 10 y 25 µg.m⁻³. En la época de sequía éstas están entre 10 y 20 µg.m⁻³ en los sectores cementera e industrial y entre 5 y 30 µg.m⁻³ en los sectores centro y residencial.

La Figura 3.11 es equivalente a la Figura 3.3, la misma muestra el día lunes un comportamiento totalmente distinto a los otros días de la semana y respecto a los otros sectores, teniendo una mediana con un valor que dobla los valores mostrados en los otros días de la semana y para los otros sectores. Además, el ancho de banda que observa el día lunes se extiende unos 50 µg.m⁻³. Se destaca que a través de las fuentes secundarias revisadas, no se reportó ningún evento que justificara este comportamiento los dos días lunes de monitoreo en el sector cementera.

La Figura 3.12 para PM_{2,5}, equivalente a la Figura 3.4 para sequía, presenta el mismo comportamiento estacional horario observado para PM₁: donde las menores concentraciones ocurren a primera hora de la mañana y comienza a observarse un incremento en la concentración a partir del mediodía en los sectores cementera, centro

y residencial. El sector industrial, aun cuando no muestra un comportamiento equivalente al de los otros tres sectores: para este tamaño de fracción se observa una disminución de la concentración en las primeras horas del día y un incremento de la misma a medida que se desarrolla el día. No se observa un incremento en la concentración del contaminante en las horas nocturnas como se observó para PM_{10} .

La Figura 3.13 es equivalente a la Figura 3.5 pero solo para lluvia. En esta gráfica se puede observar cómo la concentración de material particulado en el sector industrial es superior al resto de los sectores, en especial en los horarios entre 6h00 y 9h00 y, entre 13h00 a 19h00, debido a un mayor taponamiento del tráfico vehicular en esos horarios, comprobado a través de las cuentas revisada en las redes sociales. Lo señalado marca una diferencia con el comportamiento de PM_{10} , el cual muestra una bajada en la concentración en horas de la tarde (16h00).

Estudio de similitud del comportamiento de los estratos

Igualmente que en el caso de PM_{10} , al aplicar Bonferroni para $PM_{2,5}$ se encontró que las medianas de las concentraciones en lluvia y en sequía no presentan similitud ($\tilde{x}_{sequía} = 17,88\mu g.m^{-3}$ y $\tilde{x}_{lluvia} = 13,88\mu g.m^{-3}$), p-valor de $6,469 \times 10^{-16}$. En la Figura 3.14 se hace un análisis de los resultados de la prueba de Bonferroni por sector y época climática. Para la época de sequía las medianas de los grupos cementera-centro no difieren significativamente formando un grupo homogéneo, (p-valor= $4,88 \times 10^{-13}$). En la época de lluvia se formó un grupo entre industrial-residencial, con un p-valor de $2,2 \times 10^{-16}$.

Al analizar la similitud de las medianas de la concentración para los días de la semana (Figura 3.15), se encontró que en sequía las medianas del martes al domingo no difieren significativamente, pudiendo formar parte de un grupo homogéneo (p-valor= $2,54 \times 10^{-8}$). En la época de lluvia vemos que las concentraciones en martes-miércoles y viernes-domingo forman cada uno un grupo homogéneo (p-valor= $2,2642 \times 10^{-13}$).

Este análisis se repitió para la época de lluvia por sector (Figura 3.16). La prueba de Bonferroni determinó que en el sector cementeras las medianas no difieren significativamente de martes a sábado, encontrándose un comportamiento totalmente diferente el lunes. (como ya se mostró en los análisis anteriores), con p-valor de

$2,2 \times 10^{-16}$. En el sector centro, se formó un grupo que excluía el sábado, lo cual se justifica por la alta actividad comercial de ese día ($p\text{-valor}=1,181 \times 10^{-5}$). El sector industrial y residencial no mostraron un patrón de comportamiento entre los días de la semana.

La Figura 3.17 demuestra que nuevamente en el sector cementera se excluye al día lunes del grupo formado de martes a domingo ($p\text{-valor}=1,37 \times 10^{-12}$). En el sector residencial los días miércoles a domingo forman un grupo homogéneo, $p\text{-valor}=0,008349$.

En la Figura 3.19 se muestra el resultado de la prueba de Bonferroni para los días de precipitación o no, en la época de lluvia. climáticas (sequía y lluvia). El resultado de la prueba indica que el sector industrial y residencial no muestran diferencia significativa entre sus medianas, formando un grupo homogéneo y, además mostraron medianas más elevadas. Los sectores cementera y centro formaron un grupo homogéneo con medianas más bajas cuando ocurrieron precipitaciones, $p\text{-valor}= 2,2 \times 10^{-16}$. Cuando no hay precipitación cada sector se comporta de manera distinta ($p\text{-valor}=2,67 \times 10^{-5}$).

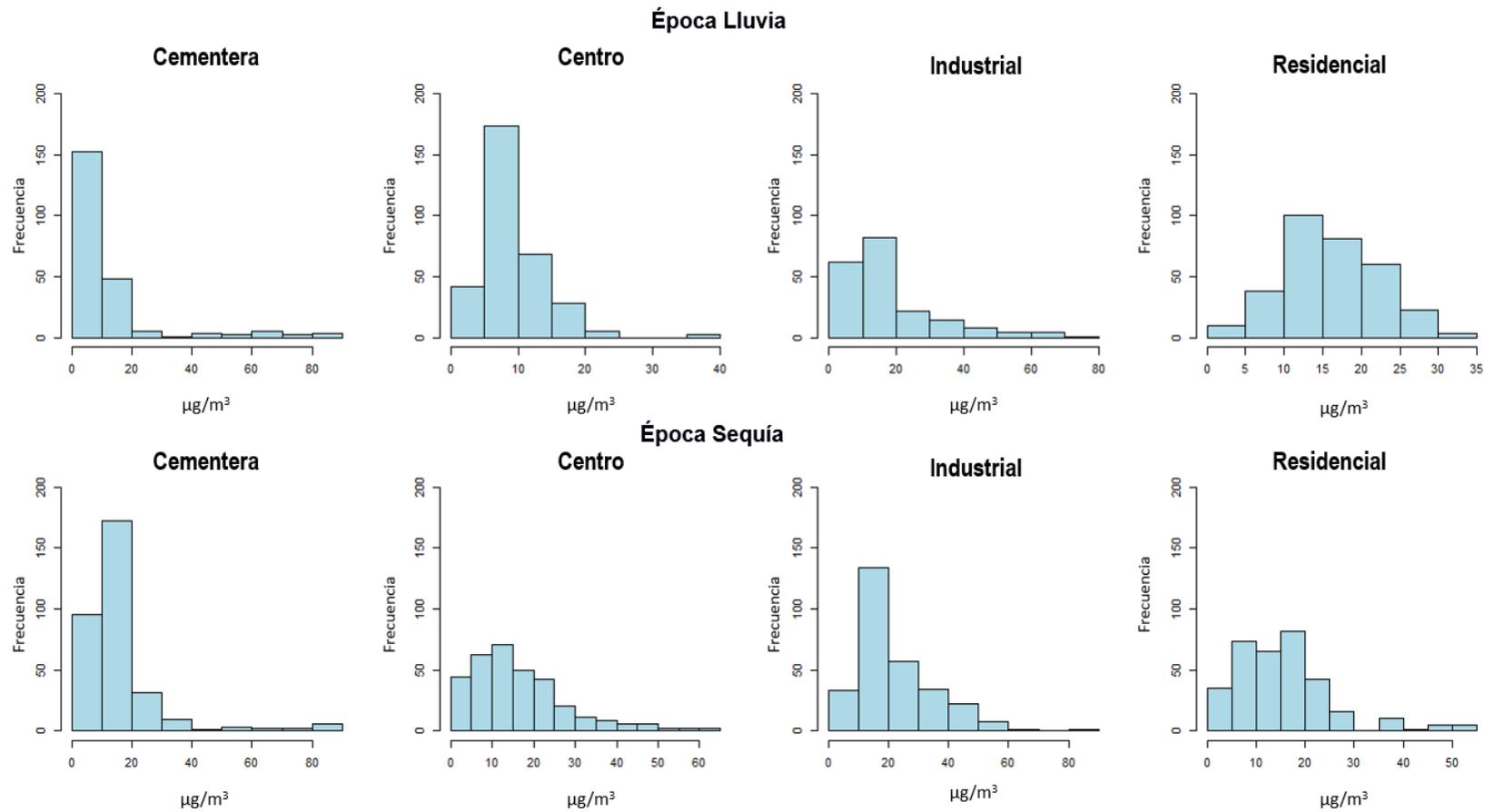


Figura 0.10 Histograma de frecuencia de rangos de concentración de PM_{2,5} por sector y época climática

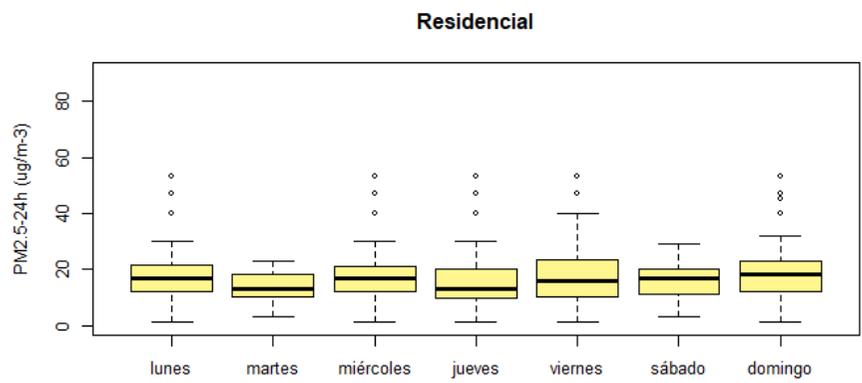
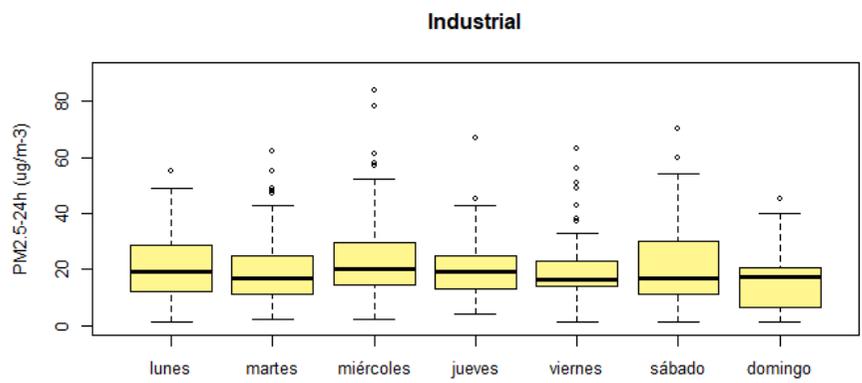
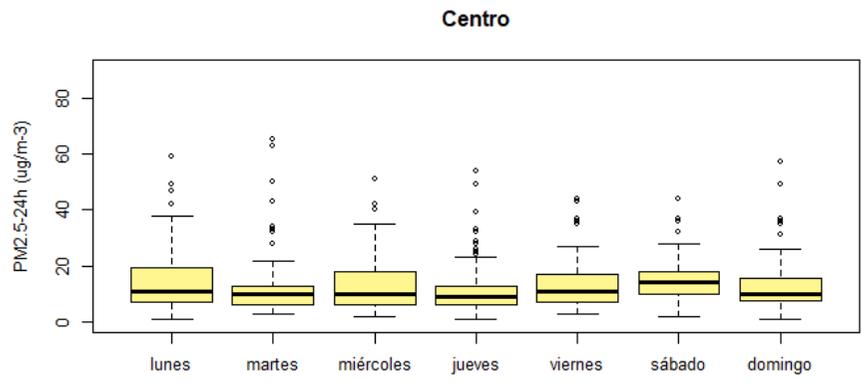
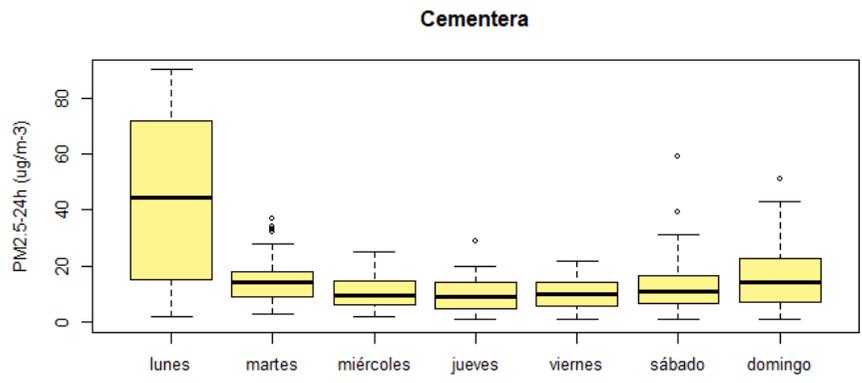


Figura 0.11 Estadística descriptiva de PM_{2,5}-24 horas en los cuatro sectores

Época Sequía

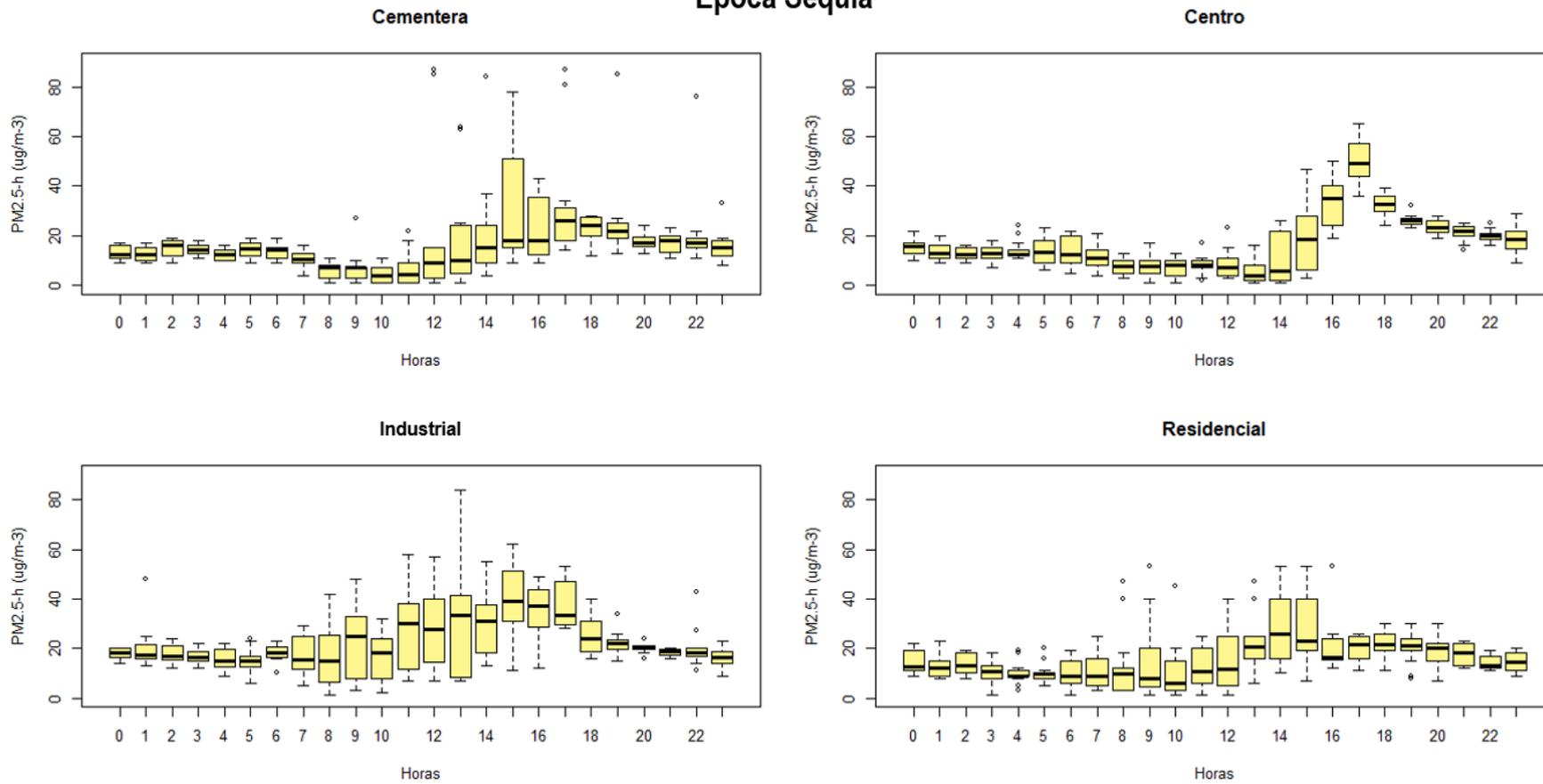


Figura 0.12 Estadística descriptiva de PM_{2,5} por hora en cada sector en época de sequía

Época Lluvia

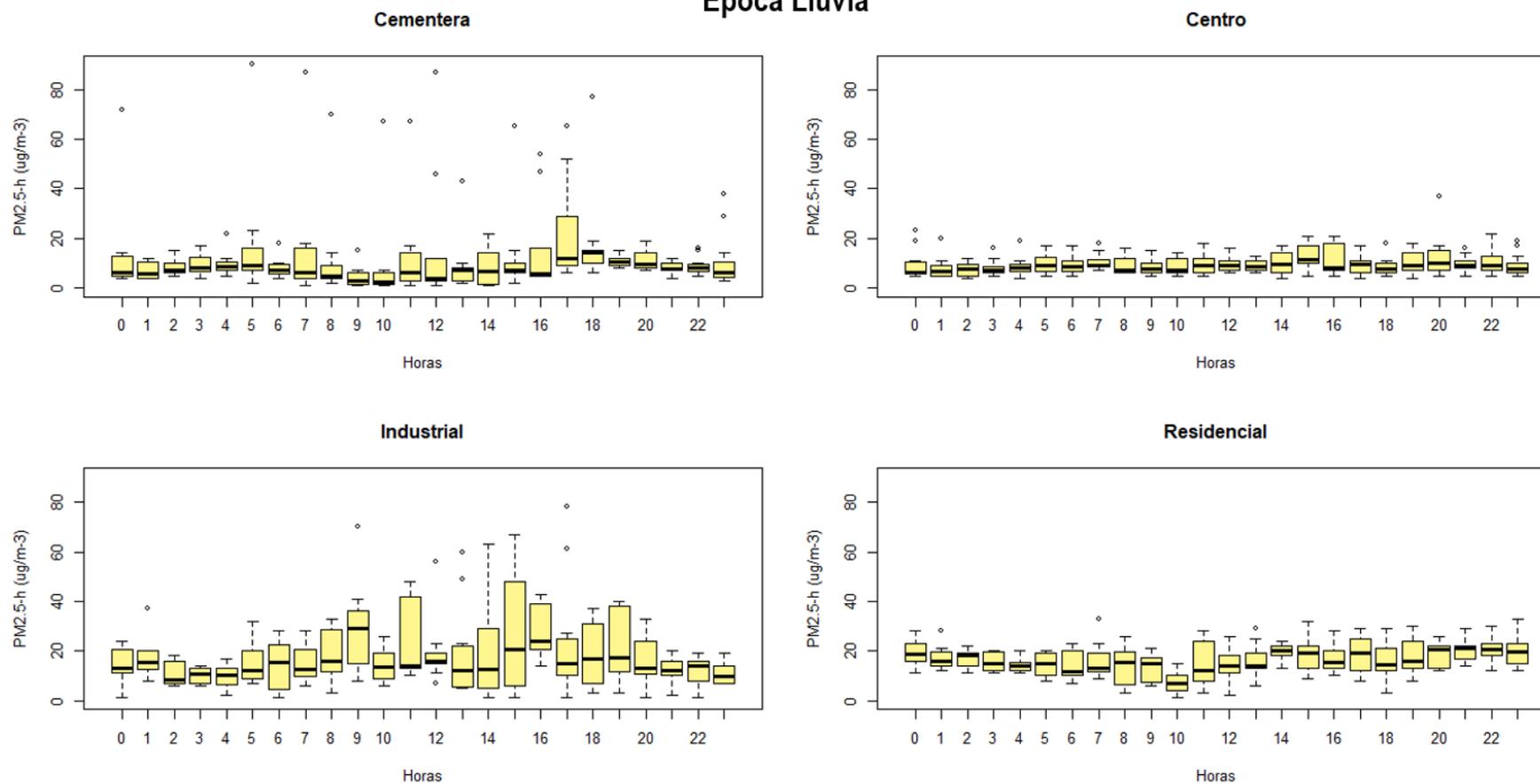


Figura 0.13 Estadística descriptiva de PM_{2,5} por hora en cada sector en época de lluvia

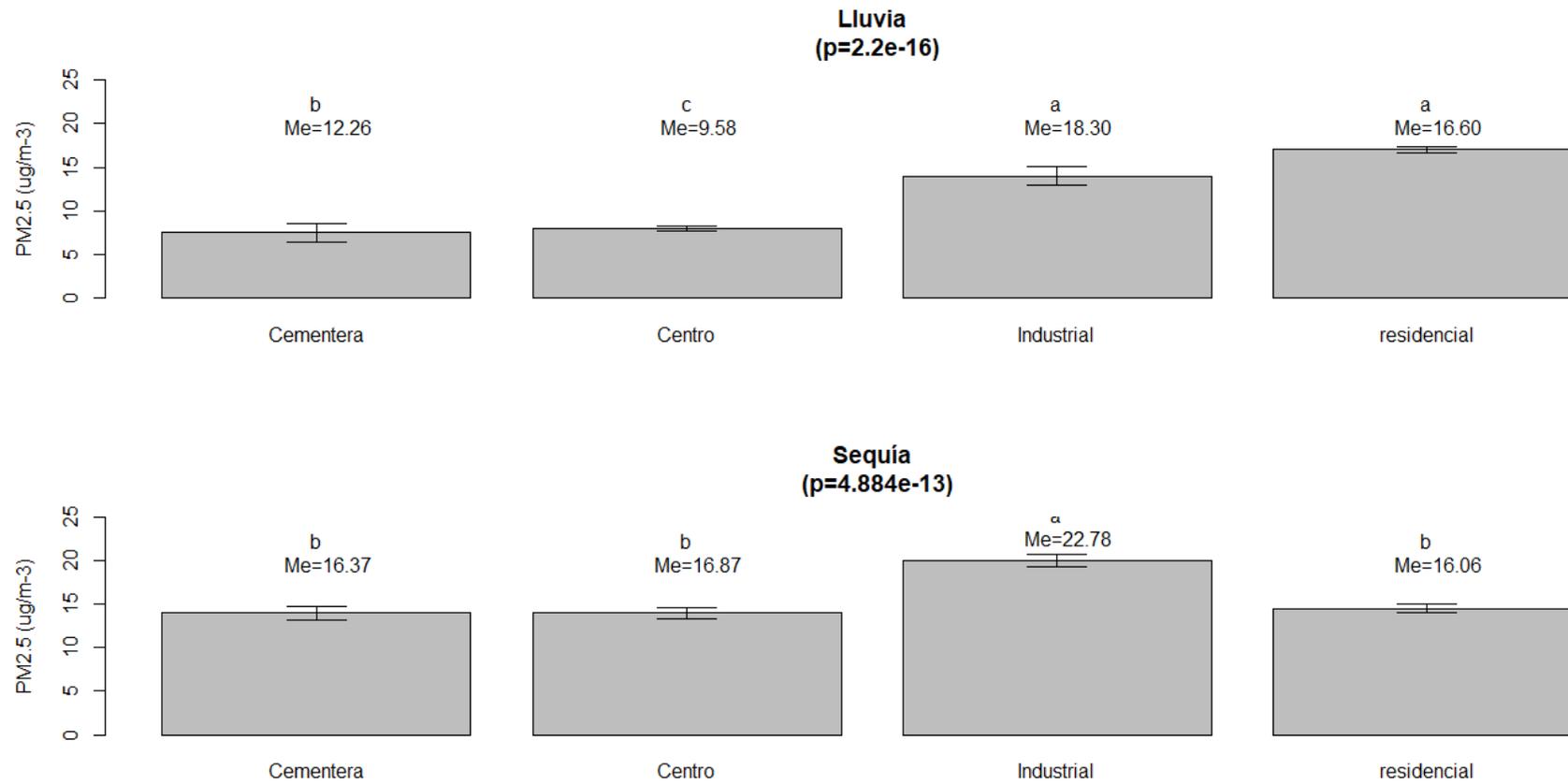


Figura 0.14 Estadística Inferencial prueba Bonferroni: Resultado de similitud de PM_{2,5} por época climática en los cuatro sectores.

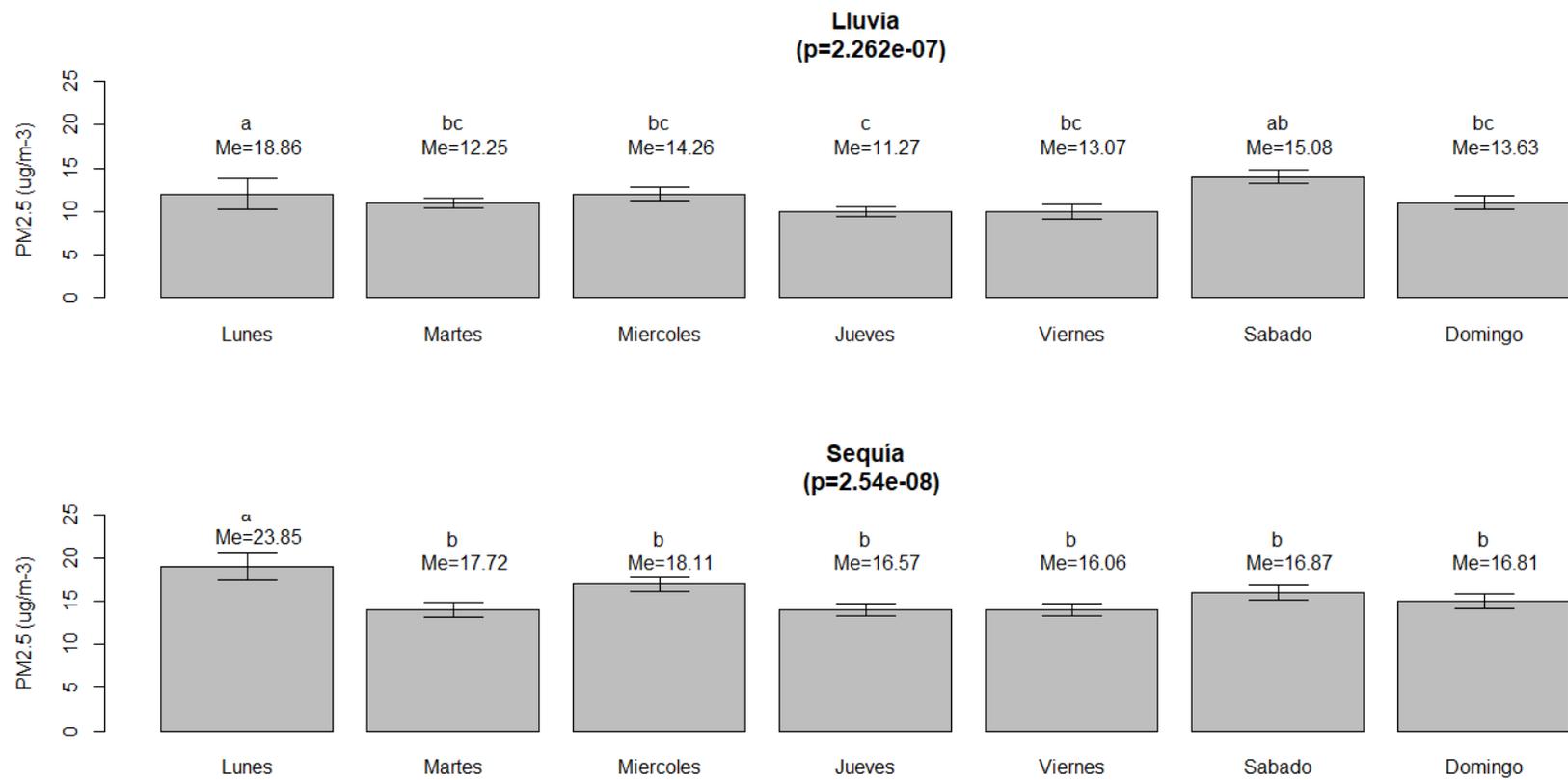


Figura 0.15 Estadística Inferencial prueba Bonferroni: Resultado de similitud de PM_{2,5} lluvia y sequía por día de semana.

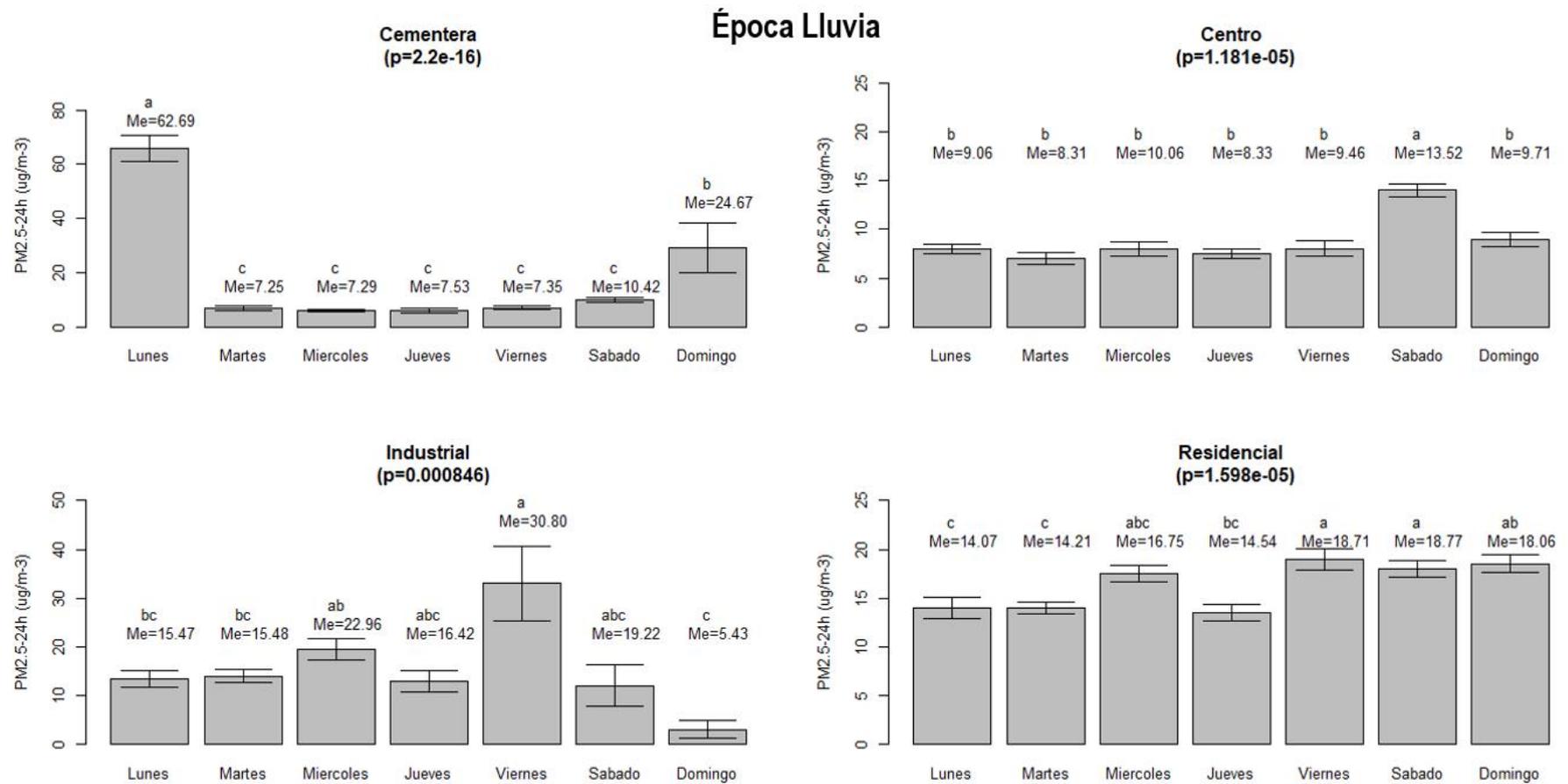


Figura 0.16 Estadística Inferencial prueba Bonferroni: Resultado de similitud de PM_{2,5} lluvia, por día de semana en cada sector

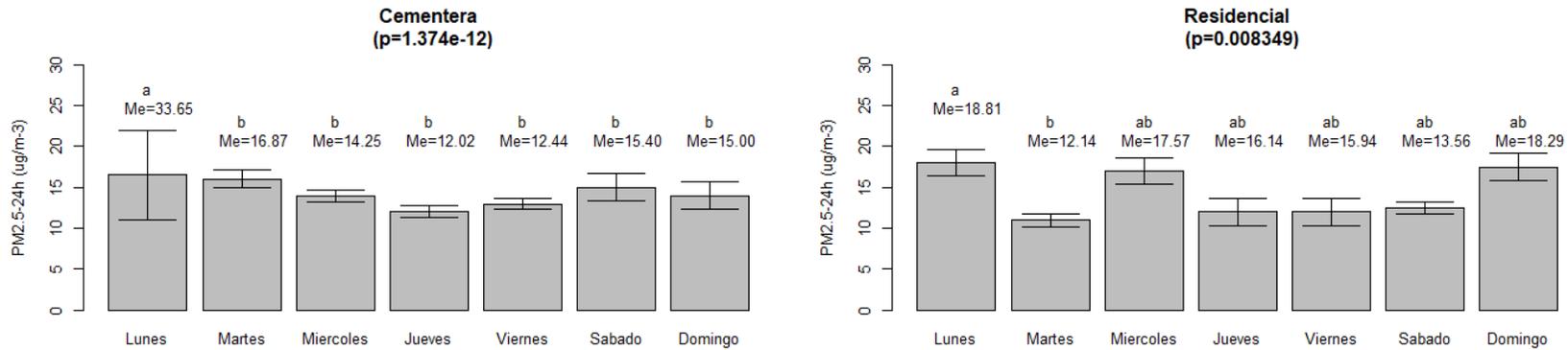


Figura 0.17 Estadística Inferencial prueba Bonferroni: Resultado de similitud de PM_{2,5} sequía, por día de semana en cada sector.

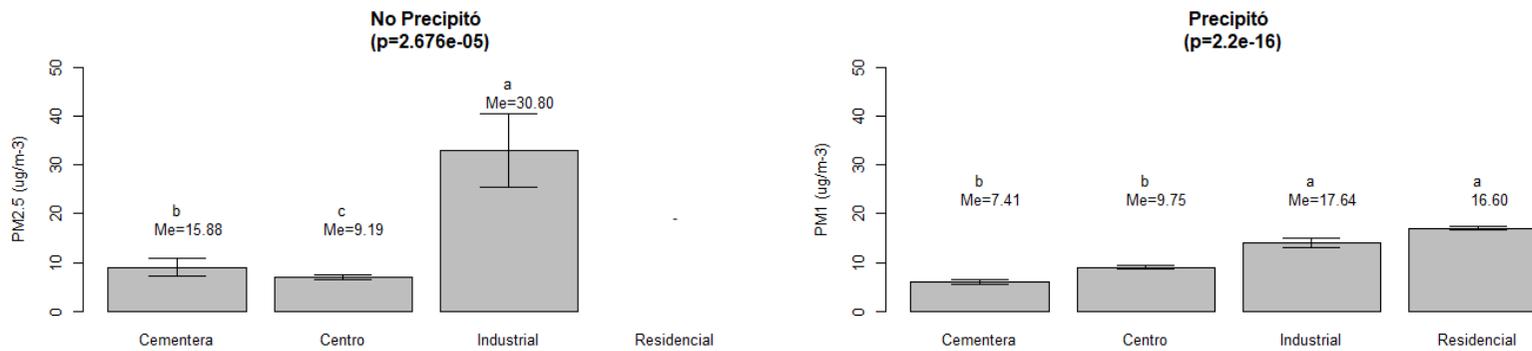


Figura 0.18 Estadística Inferencial prueba Bonferroni: Resultado de similitud de PM_{2,5} lluvia para los 4 sectores, respecto a la existencia de precipitaciones.

Análisis de variables meteorológicas

Las tres variables meteorológicas que se analizan son: temperatura (°C), velocidad (km/h) y dirección del viento (0-360°). Estudios establecen que, el aumento de la temperatura y vientos más lentos están relacionados con el aumento de material particulado en la atmósfera (Gonzalez Ortiz & Torres Mosquera, 2015; Taheri Shahraiyni & Sodoudi, 2016; Villalba, Johanna, Ortiz, & Romero, 2018).

Mediante el estudio estadístico descriptivo de mínimos, medias y máximos de estas variables en los 16 estratos de estudio (ver Tabla 3.2), se obtuvo que durante el monitoreo de PM₁: la temperatura máxima fue de 41,4 °C en el estrato lluvia-industrial, la media más elevada (28,8 °C) se da en el estrato lluvia-cementera; la velocidad del viento máxima se dio en el estrato sequía-centro. El 43,89% de este tamaño de partícula fue monitoreado en vientos de calma. Con respecto a la dirección del viento, la media se encuentra en 140,3°, lo cual significa que, en promedio los vientos provienen del sureste.

Los resultados del estudio estadístico descriptivo para PM_{2,5} (ver Tabla 3.2) mostraron que: la temperatura máxima y media más elevada fueron 41 y 28,9°C, respectivamente, ambas en el estrato lluvia-industrial. El 30,04% de datos monitoreados en este tamaño de partícula fueron bajo vientos de calma, con una dirección de vientos promedio de 179,6° (vientos del sur).

Tabla 0.2 Resultados de la estadística descriptiva propuesta para variables meteorológicas

		Temperatura			Velocidad del Viento			Dirección del Viento		
Estratos		Min.	Media	Max.	Min.	Media	Max.	Min.	Media	Max.
PM ₁		20,2	24,4	41,4	0,2	0,9	6,2	2,0	140,3	359,0
Sequía	PM ₁	20,2	26,3	40,6	0,2	1,0	6,2	2,0	135,2	352,0
	Cementera	23,1	27,8	40,6	0,3	0,6	1,8	106,0	112,8	119,0
	Industrial	23,1	26,28	37,1	0,2	0,9	2,7	2,0	153,1	299,0
	Centro	20,2	24,5	35,9	0,3	1,3	6,2	91,0	143,2	278,0
	Residencial	20,7	26,7	37,1	0,3	1,1	4,9	5,0	134,1	352,0
Lluvia	PM ₁	22,5	27,8	41,4	0,3	0,8	5,7	5,0	145,0	359,0
	Cementera	24,4	28,8	37,5	0,3	0,5	0,7	34,0	35,4	40,0
	Industrial	22,5	28,1	41,4	0,3	0,7	2,0	5,0	140,9	247,0
	Centro	23,2	27	40,2	0,3	0,8	3,3	9,0	258,4	353,0
	Residencial	23,6	27,7	35,7	0,3	1,0	5,7	35,0	135,2	359,0
		Temperatura			Velocidad del Viento			Dirección del Viento		
Estratos		Min.	Media	Max.	Min.	Media	Max.	Min.	Media	Max.
PM _{2,5}		20,7	27,3	41	0,0	0,6	6,5	0,0	179,6	360,0
Sequía	PM _{2,5}	20,7	26,8	40	0,0	0,9	6,5	0,0	196,9	360,0
	Cementera	21,9	27,2	40	0,0	0,6	2,8	0,0	252,7	360,0
	Industrial	20,9	27,5	40	0,0	0,8	3,6	40,0	210,8	281,0
	Centro	20,7	26	36	0,0	1,2	6,5	130,0	178,2	234,0
	Residencial	20,7	26	37	0,0	1,1	4,9	0,0	149,4	352,0
Lluvia	PM _{2,5}	22,5	28,0	41	0,0	0,2	4,3	0,0	159,0	359,0
	Cementera	22,5	27,9	38,3	0,0	0,2	2,6	0,0	75,7	359,0
	Industrial	22,9	28,9	41	0,0	0,2	2,0	15,0	152,4	300,0
	Centro	23,6	27,8	39	0,0	0,3	4,3	34,0	286,5	352,0
	Residencial	22,5	27,7	35,2	0,0	0,2	2,0	15,0	94,2	300,0

Evaluar correlación entre las variables independientes y la concentración PM

Se calculó la correlaciones de Pearson entre las variables PM₁ y PM_{2,5} con temperatura, velocidad y dirección del viento.

Se encontró una correlación levemente positiva entre PM₁ y la velocidad del viento ($r=0,089$; $p\text{-valor}=0,004274$). Esto podría ser consecuencia a que los vientos fuertes, los cuales arrastran a la atmósfera grandes cantidades de polvo del suelo encontrados en la superficie de terreno secos.

Para PM_{2,5} se encontró correlaciones positivas con la temperatura ($r_1=0,16$; $p\text{-valor}=2,077 \times 10^{-11}$) y la velocidad del viento ($r_2=0,14$; $p\text{-valor}=1,26 \times 10^{-8}$), y negativa con la dirección del viento ($r_3=-0.16$; $p\text{-valor}=6,48 \times 10^{-12}$).

Con respecto a la correlación de temperatura, estudios establecen que la presencia de sistemas atmosféricos de alta presión con poca velocidad de vientos, cielos despejados y soleados, son consecuencia de la elevación de la temperatura en el aire. Cuando esta condiciones se dan se acumulan contaminantes, ocasionando mayores concentraciones de estos (Morantes Quintana, Rincón Polo, & Pérez Santodomingo, 2018; Taheri Shahraiyni & Sodoudi, 2016).

Los coeficientes de correlación de Spearman establecen la correlación entre variables cuantitativas y cualitativas para PM₁ y PM_{2,5} respectivamente, presentados en la Tabla 3.2 con sus respectivos p-valores. Se estableció la existencia de correlación significativa entre PM₁ y: época ($r_{h1}=0.1004843$; $p\text{-valor}=2,28 \times 10^{-4}$), sector ($r_{h2}=0.1543702$; $p\text{-valor}=1,50 \times 10^{-12}$) y ocurrencia de evento antropogénico ($r_{h3}=0.07143246$; $p\text{-valor}=2,389 \times 10^{-4}$); los coeficientes de estas correlaciones determinan que existe una relación lineal positiva leve entre ellas. Así mismo se determinó la existencia de una correlación significativa entre PM_{2,5} y: época ($r_{h1}=0.2080512$; $p\text{-valor}=2,16 \times 10^{-16}$), sector ($r_{h2}=0.2256042$; $p\text{-valor}=2,16 \times 10^{-16}$) y ocurrencia de evento antropogénico ($r_{h3}=0.09715083$); los coeficientes de estas correlaciones determinan que existe una relación lineal positiva leve entre ellas.

Debido a que la época de sequía fue representada por el valor numérico 1 y la época de lluvia con 0 (ver Tabla 2.5), mediante los resultados del coeficiente de correlación r_{h1}

(para $PM_{2,5}$ y PM_1) se interpreta que la relación lineal positiva presentada significa que en época de sequía existe mayor concentración para ambos tamaños de partícula. A esto se vincula que respecto a la precipitación, tanto como para PM_1 y $PM_{2,5}$ se da una relación lineal negativa leve, causado por la deposición húmeda, que ocasiona que las partículas sean absorbidas por la gotas de lluvia y estas sean removidas por la precipitación. (Figueroa & Marino, 2004)

Tabla 0.3 Coeficientes de correlación de Spearman para variables cuantitativas-cualitativas, PM_1

Variables	Época	Sector	Ocurrencia evento antropogénico	Precipitación
PM_1	0.1004843 (p=0,0002284)	0.1543702 (p=1,50E-12)	0.07143246 (p=0.0002389)	(-)0.08839852 (p=5,37E-03)
$PM_{2,5}$	0.2080512 (p<2,2e-16)	0.2256042 (p<2,2e-16)	0.09715083 (p=0,002613)	(-)0.1125413 (p=0,00005096)

Relación entre $PM_{2,5}$ y PM_1

Al realizar el análisis para conocer si las variables ($PM_{2,5}$ y PM_1) son independientes entre sí, se aplica la prueba de Correlación Cruzada. Para esto primero se prueba la estacionariedad de las series de datos, mediante la prueba de Dicker y Fuller, en lo cual se conoce si la serie tiene una raíz unitaria. Luego de aplicar dicha prueba se obtuvo que para PM_1 el estadístico d_{fuller} fue de -12,369 (p-valor= 0,01), para la serie temporal de $PM_{2,5}$ el resultado de coeficiente de correlación es igual -9.889 (p-valor=0,01). Estos resultados señalan que las dos series temporales son estacionarias y las medias no tienen mucha fluctuación. Luego, se realizó una diferenciación de las dos series de tiempos para conocer si las mismas están autocorrelacionadas y conocer si existe dependencia del día anterior de toma de muestra: se obtuvo que PM_1 y $PM_{2,5}$ no tienen autocorrelación entre sí.

Por último, se aplicó la correlación cruzada para establecer la similitud entre la serie de tiempo de PM_1 y $PM_{2,5}$. La Figura XXX muestra que existe una correlación entre ambas variables independientes. En ella se observa que PM_1 se encuentra a la derecha de Lag

0, (retardo), lo que indique que PM_1 influye sobre $PM_{2,5}$, tal como se esperaba ya que $PM_{2,5}$ contiene todas las partículas menores a $2,5 \mu m$, lo que incluye a las partículas PM_1 .

El valor de correlación en el Lag 0 resultó ser igual que el valor de correlación de Pearson entre estas dos variables ($r= 0,037$; $p\text{-valor}=0,001$). Aun cuando la correlación entre estas dos variables es baja, el sentido positivo del valor indica que al aumentar PM_1 aumenta $PM_{2,5}$ y viceversa.

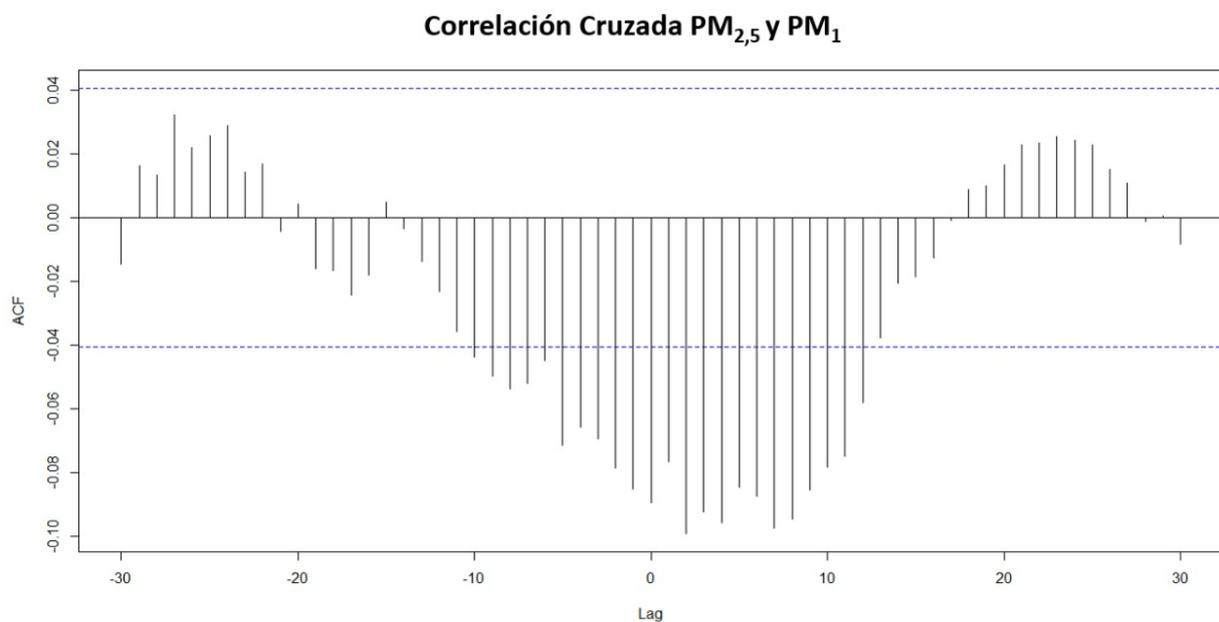


Figura 0.19 Relación $PM_{2,5}$ y PM_1 : Resultado Correlación Cruzada

Establecimiento del cumplimiento de la regulación ambiental

La norma de ecuatoriana para calidad del aire establece que la concentración promedio para $PM_{2,5-24h}$ no debe superar los $50 \mu g.m^{-3}$, por otro lado la regulación propuesta por la OMS establece el límite por debajo de $25 \mu g.m^{-3}$. Para este análisis se dividió la concentración de $PM_{2,5}$ en sus dos épocas climáticas, debido a que se comprobó que son estadísticamente distintas previamente. En la Figura 3.21 se grafica la media de cada día de la semana para los cuatro sectores de monitoreo; el sector cementeras en lunes ($\sim 70 \mu g.m^{-3}$), es el único sector que sobrepasa los límites de la norma ecuatoriana en un 40% y a los de la OMS en un 180%, ejerciendo una fuerte alerta de contaminación del aire en la ciudad con respecto a las emisiones de $PM_{2,5}$ lanzadas a la atmósfera. Con respecto a la regulación propuesta por la OMS, existen otros dos sectores que sobrepasaron los umbrales sugeridos por este organismo: el sector industrial el día martes (mayor en un $\sim 48\%$), y el sector cementera nuevamente en lunes (mayor en un $\sim 68\%$). Cabe recalcar que el sector industrial el miércoles y sábado se encuentran muy cercanos al límite de la OMS.

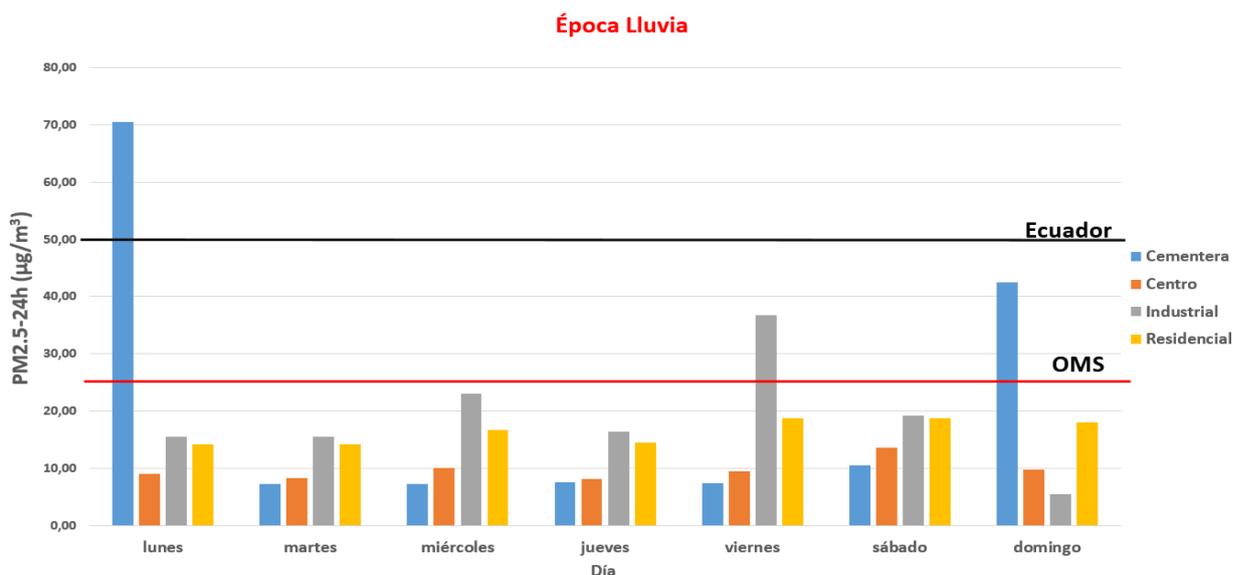


Figura 0.20 Comparación de la concentración promedio de $PM_{2,5-24}$ horas, para los cuatro sectores en los 7 días de la semana en lluvia, respecto a la norma ecuatoriana establecida.

La Figura 3.22 es equivalente a la 3.21 pero respecto a la época de sequía. En esta gráfica se observa que ningún sector sobrepasa el límite establecido por la norma ecuatoriana; sin embargo, con respecto a la regulación propuesta por la OMS es el lunes en que el sector cementera supera el máximo promedio establecido en un 44% y el sector industrial en un 10%. Comparando las dos época climáticas es notoria la mala calidad del aire en estos dos sectores los lunes. Es necesario mencionar que el resto de las concentraciones de los siete días de la semana en esta época climática están muy cercanas al límite de la OMS, en especial en el sector industrial.

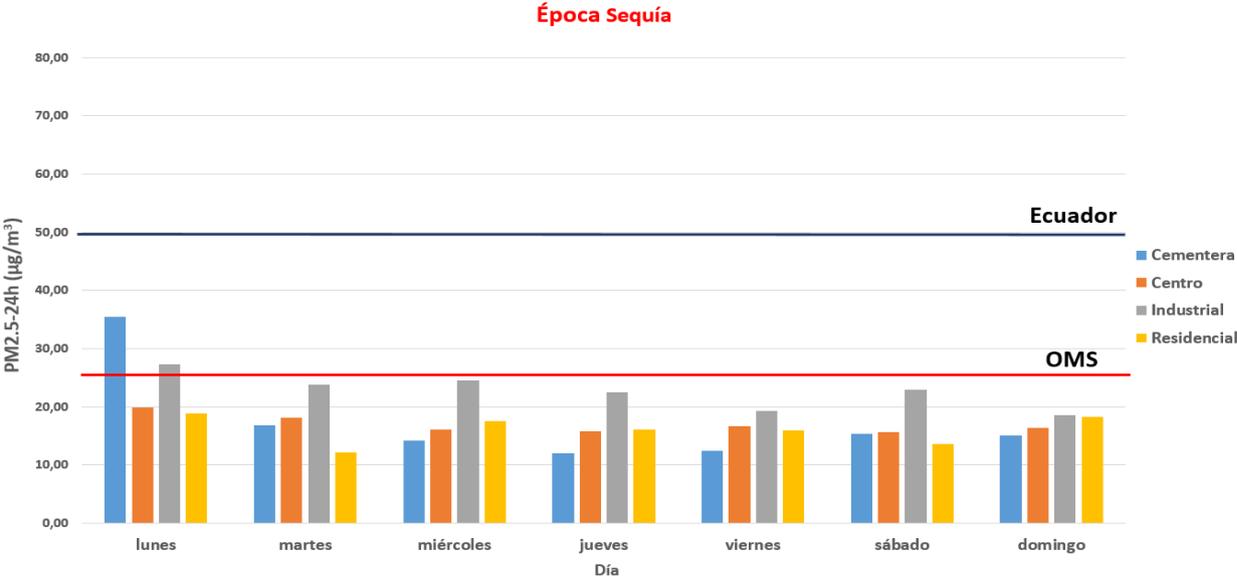


Figura 0.21 Comparación de la concentración promedio de PM_{2,5}-24 horas, para los cuatro sectores en los 7 días de la semana en sequía, respecto a la norma ecuatoriana establecida.

Para PM₁-24h no es posible hacer esta comparación con alguna norma establecida debido a la inexistencia de esta por falta de estudios epidemiológicos que validen alguna restricción. Sin embargo, es de gran alarma que en las Figura 3.22 y 3.24, se observe que, las concentraciones de PM₁-24h para cada época climática son muy cercanas al límite para PM_{2,5}-24h propuesto por la OMS. La futura norma de regulación de PM₁-24h con toda seguridad deberá ser mucho más estricto que el valor actual de PM_{2,5}-24h. Se toma como referencia máxima para PM₁-24h, una extrapolación a partir relación de los límites de emisión para PM₁₀ y PM_{2,5} (ver Tabla 1.1); el valor obtenido fue 15µg.m⁻³.

Respecto al valor máximo de PM₁-24h estimado, en época de sequía (Figura 3.22) los siete días de la semana existió sobrepaso del límite de referencia. El sector centro está por encima un 100% de las veces; mientras que el sector industrial se sobrepasa todos los días excepto el lunes, sin embargo, sus concentraciones son más altas que las del sector centro.

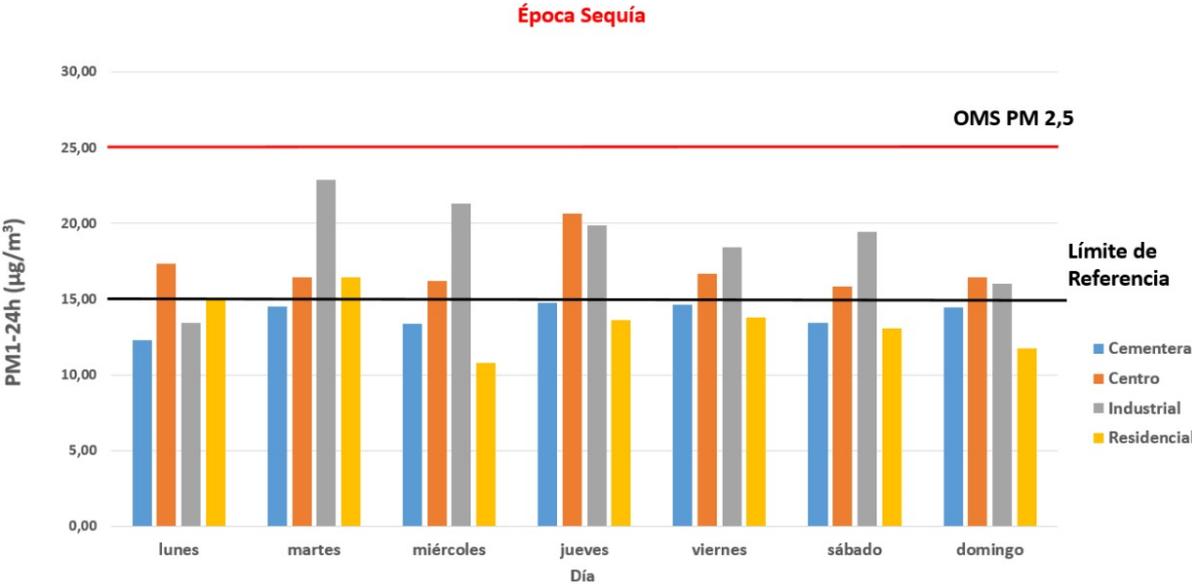


Figura 0.22 Comparación de la concentración promedio de PM₁-24 horas, para los cuatro sectores en los 7 días de la semana en sequía.

La Figura 3.23 es equivalente a la 3.22, pero para época de lluvia, en esta se observa que con respecto al límite de referencia establecido previamente, solo el domingo las concentraciones de PM_{1-24h} en los cuatro sectores se mantienen por debajo del límite (cementerera y centro) y justo en 15µg.m⁻³ (industrial y residencial). El sábado tres de los cuatro sectores sobrepasaron el límite. El sector industrial solo tuvo concentraciones mayores o iguales a 15µg.m⁻³, seguido del sector residencial que solo en dos ocasiones estuvo por debajo del límite (14µg.m⁻³ aproximadamente).

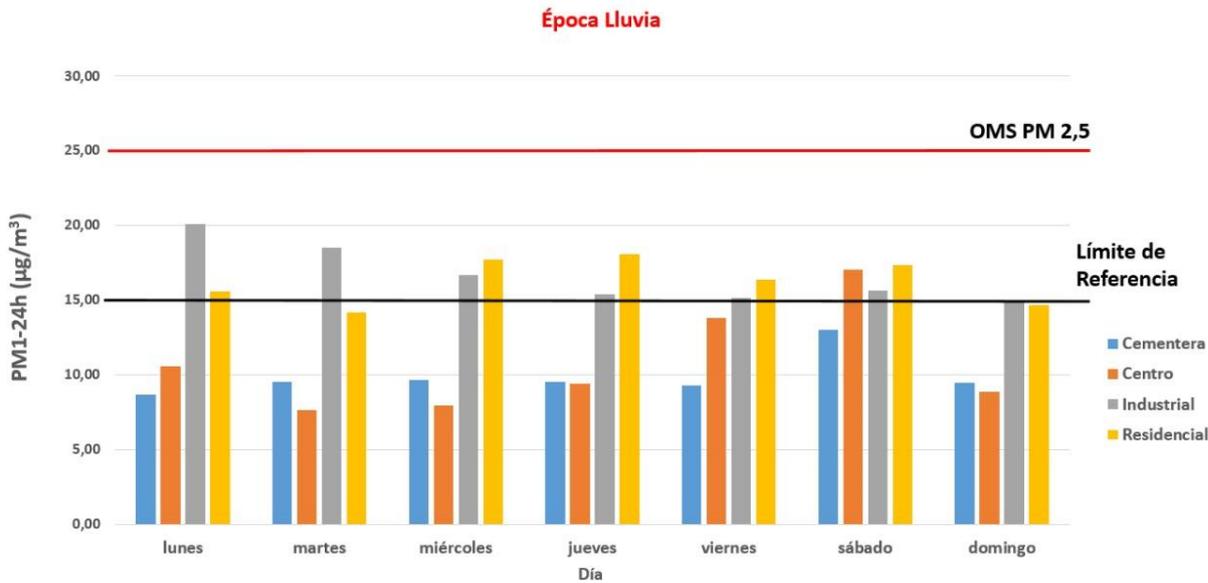


Figura 0.23 Comparación de la concentración promedio de PM₁₋₂₄ horas, para los cuatro sectores en los 7 días de la semana en sequía.

CAPÍTULO 4

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- Este estudio es de importancia ya que no se conoce de ningún estudio publicado sobre calidad de aire para la ciudad de Guayaquil. Se encontró un comportamiento horario que se repite para ambos tamaños de partículas y para todos los sectores excepto el industrial, en el cual la concentración del contaminante alcanzaba el mínimo al empezar la mañana y el máximo en el transcurso de la tarde (~4:00 pm).

Se encontraron suficientes evidencias estadísticas que demuestran que el comportamiento de PM_1 varía según la época climática (sequía y lluvia). En época de lluvia se establecieron dos grupos con patrones de comportamiento similar: cementera-centro ($\bar{x} = 9,73 \mu\text{g.m}^{-3}$ - $\bar{x} = 10,71 \mu\text{g.m}^{-3}$) y el de mayor concentración los sectores industrial-residencial ($\bar{x} = 16,61 \mu\text{g.m}^{-3}$ - $\bar{x} = 16,28 \mu\text{g.m}^{-3}$). Se resalta que en las fechas de recolección de muestras de los sectores industrial-residenciales en la época de lluvia, fue cuando ocurrieron el 73% para esta época (accidentes de tránsito, taponamiento vehicular, fumigación e incendios). En época de sequía, de igual manera se formaron dos grupos con comportamiento semejante. El grupo de menor concentración fueron los sectores formado cementera-residencial ($\bar{x} = 13,92 \mu\text{g.m}^{-3}$ - $\bar{x} = 13,47 \mu\text{g.m}^{-3}$) y el mayor concentración los sectores centro-industrial ($\bar{x} = 17,10 \mu\text{g.m}^{-3}$ - $\bar{x} = 18,96 \mu\text{g.m}^{-3}$). Una de las posible causa por la que este grupo tiene mayor concentración de PM_1 , se vincula con que representa el 69% de los eventos antropogénicos ocurridos en el monitoreo de esta época.

Para $PM_{2,5}$ en época de lluvia se estableció un grupo homogéneo entre los sectores industrial-residencial ($\bar{x} = 18,39 \mu\text{g.m}^{-3}$ - $\bar{x} = 16,60 \mu\text{g.m}^{-3}$), en cual se obtiene mayores concentraciones. De igual manera para la época de sequía se

formó un grupo homogéneo entre los sectores cementera-centro-residencial ($\bar{x}=16,37 \mu\text{g.m}^{-3}$ – $\bar{x}=16,87 \mu\text{g.m}^{-3}$ – $\bar{x}=16,06 \mu\text{g.m}^{-3}$) con menores concentración y siendo el sector industrial el de mayor concentración ($\bar{x}=22,78 \mu\text{g.m}^{-3}$). Para los 56 días en los que se monitoreó la calidad del aire de $\text{PM}_{2,5}$ se encontró que sólo en una oportunidad se sobrepasa la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire ($\sim 70 \mu\text{g.m}^{-3}$ frente $50 \mu\text{g.m}^{-3}$), y es el sector cementera en época de lluvia. Mientras que el valor sugerido como seguro por la Organización Mundial de la Salud (OMS) - $25 \mu\text{g.m}^{-3}$ - para este tamaño de partículas se sobre pasó en cinco oportunidades: en lluvia, en el sector cementera en dos oportunidades y en el sector industrial en una; en sequía, en el sector cementera y en el industrial en una oportunidad en cada localización. Dado que sólo se monitorearon 56 días de 365 días del año, este resultado de calidad del aire no es concluyente.

Haciendo uso de diferentes pruebas estadísticas se encontró de manera significativa lo siguiente: i) comportamientos estadísticamente diferentes para la época de lluvia y sequía, para ambos tamaños de partículas, obteniéndose menores concentraciones en lluvia. ii) Se encontraron comportamientos distintos de la concentración de ambos tamaños de partículas según la localización y actividades antropogénicas del sector. iii) Se encontró una correlación directamente proporcional entre velocidad del viento y temperatura con ambos tamaños de partículas, e inversamente proporcional entre precipitación y dirección del viento con las partículas.

- Existe una correlación significativa directamente proporcional entre los dos tamaños de material particulado, demostrando de $\text{PM}_{2,5}$ es función de PM_1 , debido a que $\text{PM}_{2,5}$ contiene todas las partículas de diámetro equivalente menores o iguales a 2,5 micrómetros.
- Hasta la fecha no existe normativa para PM_1 , aun así se usa como referencia el valor extrapolado de los valores sugeridos por la OMS para PM_{10} y $\text{PM}_{2,5}$ ($15 \mu\text{g.m}^{-3}$). La concentración en 24 horas de PM_1 en los 56 días monitoreados, sobrepasó en catorce oportunidades el valor extrapolado para PM_1 en época de sequía y, en doce oportunidades en época de lluvia. Estos valores parecieran ser una

advertencia, aun cuando no existen umbrales oficiales que indiquen un límite de concentración seguro para la salud humana para este tamaño de partículas. Se destaca que menores tamaños de partículas tienen mayores capacidades de penetrar en las profundidades del sistema respiratorio. Dado que sólo se monitorearon 56 días de 365 días del año, este resultado de calidad del aire no es concluyente.

Recomendaciones

- Se recomienda muestrear en los sectores definidos por un periodo de tiempo mayor para lograr una evaluación de calidad del aire de resultados concluyente, ya que los datos analizados en el presente proyecto solo fueron monitoreados 56 días de 365 días del año para cada tamaño de partícula.
- Para poder alcanzar una mayor cobertura del perímetro de la ciudad de Guayaquil, se sugiere aumentar a ocho puntos de muestreo con al menos tres puntos móviles, y con esto también disminuir los efectos de aleatoriedad.
- Las emisiones de $PM_{2,5}$ y PM_1 registradas en el sector industrial posiblemente se podrían disminuir con un mayor control en cuanto a eventos antropogénicos, tales como congestionamiento vehicular (causados por accidentes de tránsito), e incendios provocados.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía de Guayaquil Dirección de Ambiente. (n.d.-a). ¿Qué es la Estrategia Ambiental Cantonal (EAC)? Retrieved January 25, 2019, from Alcaldía de Guayaquil website: <https://www.guayaquilambiente.com/eac-guayaquil/>
- Alcaldía de Guayaquil Dirección de Ambiente. (n.d.-b). Calidad del Aire y Cambio Climático. Retrieved January 25, 2019, from Alcaldía de Guayaquil website: <https://www.guayaquilambiente.com/calidad-aire-cambio-climatico/>
- Allende, D. G., Romero, G. E., Cremades, P. G., Mulena, G. C., & Puliafito, S. E. (2013). Caracterización horaria y diaria de la concentración del número total de partículas en ambientes urbanos y suburbanos en Mendoza. In *Contaminación Atmosférica e Hídrica en Argentina-Tomo II: Contribuciones de la IV Reunión Anual PROIMCA y II Reunión Anual PRODECA*.
- Aneja, V. P., Agarwal, A., Roelle, P. A., Phillips, S. B., Tong, Q., Watkins, N., & Yablonsky, R. (2001). Measurements and analysis of criteria pollutants in New Delhi, India. *Environment International*. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(01\)00051-4](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(01)00051-4)
- Arnau Gras, J., & Bono Cabré, R. (1996). Análisis de la potencia del estadístico c mediante simulación. *Psicothema*.
- Cantrell, B. K., & Whitby, K. T. (1978). Aerosol size distributions and aerosol volume formation for a coal-fired power plant plume. *Atmospheric Environment* (1967). [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(78\)90214-7](https://doi.org/10.1016/0004-6981(78)90214-7)
- Caselli, M. (2000). *La contaminación atmosférica: Causas y fuentes. Efectos sobre el clima y los animales* (6ta edición). Retrieved from https://books.google.com.ec/books?id=VNuvHQDylqUC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Chen, G., Li, S., Zhang, Y., Zhang, W., Li, D., Wei, X., ... Guo, Y. (2017). Effects of ambient PM1 air pollution on daily emergency hospital visits in China: an epidemiological study. *The Lancet Planetary Health*. <https://doi.org/10.1016/S2542->

5196(17)30100-6

- Churg, A., & Brauer, M. (1997). Human lung parenchyma retains PM2.5. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*.
<https://doi.org/10.1164/ajrccm.155.6.9196123>
- Churg, Andrew, Brauer, M., del Carmen Avila-Casado, M., Fortoul, T. I., & Wright, J. L. (2003). Chronic exposure to high levels of particulate air pollution and small airway remodeling. *Environmental Health Perspectives*.
- Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). (n.d.). *Informe: Contaminación Ría de Huelva, Río Piedras y Marismas del Pinar Huelva*. Huelva.
- Díaz Poma, C. (2018). 'Black carbon': el lado oscuro y peligroso de los nanomateriales. *El Tiempo*. Retrieved from <https://www.eltiempo.com/vida/ciencia/que-es-el-black-carbon-o-carbono-negro-y-como-afecta-al-ambiente-281862>
- Dockery, D., Pope, C. A., Xu, X., Spengler, J., Ware, J., Fay, M., ... Speizer, F. (1993). An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *New England Journal of Medicine*, 1753–1759.
- Empresa Pública Municipal de Movilidad de Cuenca. (2017). *2017 EMOV EP*. 1–123.
- Espin Esparza, I. N. (2017). *ESTIMACION DEL NIVEL DE CONTAMINACION DE MATERIAL PARTICULADO PM2.5 Y PM1 EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL* (Escuela Superior Politécnica del Litoral). Retrieved from <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/40001>
- Expreso, R. (2018). La medición de calidad del aire inicia a paso lento. *Diario El Expreso*, 1(1), 1. Retrieved from <https://www.expreso.ec/guayaquil/calidad-aire-ambiente-municipal-monitoreo-CE2262712>
- Figueruelo, J., & Marino, M. (2004). Química física del ambientes y de los procesos medioambientales. In *Igarss 2014*. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Fries, A. (n.d.). *El clima en el Ecuador y su influencia en la salud*. Retrieved from [https://smartland.utpl.edu.ec/sites/default/files/files/El Clima y las enfermedades en Ecuador\(1\).pdf](https://smartland.utpl.edu.ec/sites/default/files/files/El%20Clima%20y%20las%20enfermedades%20en%20Ecuador(1).pdf)

- Glaccum, R. A., & Prospero, J. M. (1980). Saharan aerosols over the tropical North Atlantic — Mineralogy. *Marine Geology*. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(80\)90107-3](https://doi.org/10.1016/0025-3227(80)90107-3)
- Gonzalez Ortiz, M. A., & Torres Mosquera, C. L. (2015). INCIDENCIA DE LAS VARIABLES METEOROLOGICAS EN EL COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACION DE PM10 Y NOx (Vol. 151). <https://doi.org/10.1145/3132847.3132886>
- Harrison, R. M. (2007). *Pollution: Causes, Effects and Control* (4th ed.). Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2007.
- IPCC. (2001). Physical Climate Processes and Feedbacks. *Climate Change 2001: The Scientific Bases. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://doi.org/10.1256/004316502320517344>
- Kan, H. (2017). The smaller, the worse? *The Lancet Planetary Health*. [https://doi.org/10.1016/s2542-5196\(17\)30095-5](https://doi.org/10.1016/s2542-5196(17)30095-5)
- Kuehl, R. O. (2001). Diseño de Experimentos. Principios estadísticos de diseño y análisis de investigación. In *Diseño de experimentos*.
- Kulmala, M., Vehkamäki, H., Petäjä, T., Dal Maso, M., Lauri, A., Kerminen, V. M., ... McMurry, P. H. (2004). Formation and growth rates of ultrafine atmospheric particles: A review of observations. *Journal of Aerosol Science*, 35(2), 143–176. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2003.10.003>
- Langner, J., & Rodhe, H. (1992). Anthropogenic influence on the distribution of tropospheric sulfate aerosol. *Nature* 359.
- Martínez Atas, E., & Díaz de Mera Morales, Y. (2004). *Contaminación atmosférica* (1ª edición). Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=sLE8xbtcK-gC&printsec=frontcover&dq=contaminacion+atmosferica&hl=en&sa=X&ved=0ahUKewjeqKzylaHjAhVlpVkkHehnBZEQ6AEIQTAD#v=onepage&q=contaminacion+atmosferica&f=false>

- Meszáros, E. (1999). *Fundamentals of atmospheric aerosol chemistry* (illustrate). Budapest: Akadémiai Kiadó.
- Milford, J. B., & Davidson, C. I. (1987). Time Bases Of Particulate Sulfate And Nitrate In The Atmosphere—A Review. *Journal of the Air Pollution Control Association*. <https://doi.org/10.1080/08940630.1987.10466206>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2014). *Inventario Preliminar de las Emisiones de Contaminantes del Aire , de los cantones Ambato , Riobamba , Santo Domingo de los Colorados , Latacunga , Ibarra , Manta , Portoviejo , Esmeraldas y Milagro*. 3, 124. Retrieved from <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/05/Libro-Resumen-Inventario-13-02-2014-prensa.pdf>
- Ministerio del Ambiente, & Núñez, L. T. NORMA DE CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE O NIVEL DE INMISIÓN LIBRO VI ANEXO 4. , Pub. L. No. MSP-INSPI-2015-0004-RES, 387 Ministerio del Ambiente 6 (2015).
- Morantes Quintana, G. R., Rincón Polo, G., & Pérez Santodomingo, N. A. (2018). Modelo de regresión lineal múltiple para estimar concentración de PM 1. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 35(1), 179–194. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.01.13>
- Mountford, H., & Keppler, J. H. (1999). Financing incentives for the protection of biodiversity. *Science of the Total Environment*. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(99\)00312-5](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00312-5)
- Pedroza, H. ., & Dicoovskyi, L. (2006). Sistema de análisis estadísticos con SPSS. In E. Rodriguez, N. Alvarado, H. Mendieta, & I. Alvarado (Eds.), *IICA; INTA*. Retrieved from https://books.google.com.ec/books?id=sE0qAAAAYAAJ&dq=coeficiente+de+correlacion+de+pearson+y+spearman&source=gbs_navlinks_s
- Pérez, N., Pey, J., Cusack, M., Reche, C., Querol, X., Alastuey, A., & Viana, M. (2010). Variability of particle number, black carbon, and PM 10 , PM 2.5 , and PM 1 Levels and Speciation: Influence of road traffic emissions on urban air quality. *Aerosol*

Science and Technology. <https://doi.org/10.1080/02786821003758286>

- Polichetti, G., Cocco, S., Spinali, A., Trimarco, V., & Nunziata, A. (2009). Effects of particulate matter (PM₁₀, PM_{2.5} and PM₁) on the cardiovascular system. *Toxicology*, 261(1–2), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2009.04.035>
- Querol, X., Alastuey, A., Rodriguez, S., Plana, F., Ruiz, C. R., Cots, N., ... Puig, O. (2001). PM₁₀ and PM_{2.5} source apportionment in the Barcelona Metropolitan area, Catalonia, Spain. *Atmospheric Environment*. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(01\)00361-2](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(01)00361-2)
- Querol, X., Viana, M. del M., Alastuey, A., Moreno, T., González, A., Pallarés, M., & Jiménez, S. (2009). NIVELES , COMPOSICIÓN Y FUENTES PM₁₀, PM_{2.5} Y PM₁ EN ESPAÑA: Cantabria , Castilla León , Madrid y Melilla. *Ministerio de Medio Ambiente Medio Rural y Marino*.
- Rodríguez, S., Cuevas, E., González, Y., Ramos, R., Romero, P. M., Pérez, N., ... Alastuey, A. (2008). Influence of sea breeze circulation and road traffic emissions on the relationship between particle number, black carbon, PM₁, PM_{2.5} and PM_{2.5-10} concentrations in a coastal city. *Atmospheric Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.04.022>
- Seinfeld, J. H., Pandis, S. N., & Spyros, N. (2006). Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change. In *John Wiley & Sons Editorial*. <https://doi.org/10.1063/1.882420>
- Stanley E., M. (2000). Environmental chemistry. In *Lewis Publishers*. <https://doi.org/10.1002/etc.1717>
- Sullivan, D. (2009). Google Earth Pro. *EContent*.
- Taheri Shahraini, H., & Sodoudi, S. (2016). Statistical modeling approaches for pm₁₀ prediction in urban areas; A review of 21st-century studies. *Atmosphere*. <https://doi.org/10.3390/atmos7020015>
- The European Court of Auditors. (2017). *Audit brief: AIR QUALITY IN THE EU*. (September).

- US EPA: Climate Change Division. (2015). *Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2014 – Main Text*. [https://doi.org/EPA 430-P-17-001](https://doi.org/EPA%20430-P-17-001)
- Villalba, D., Johanna, E., Ortiz, F., & Romero, H. (2018). Relación entre el material particulado PM10 y variables meteorológicas en la ciudad de Bucaramanga - Colombia: Una aplicación del análisis de datos longitudinal. *XXVIII Simposio Internacional de Estadística*, (July), 6. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/329155299>
- WBG, W. B. G. (1999). Pollution prevention and abatement handbook, 1998: toward cleaner production. In *Pollution prevention and abatement handbook, 1998*. <https://doi.org/10.1596/0-8213-3638-x>
- WHO/SDE/PHE/OEH. (2005). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005. *Organización Mundial de La Salud*.
- WHO. (2016a). *Ambient Air Pollution Database, WHO, May 2016* (p. 2). p. 2. Geneva: World Health Organization.
- WHO. (2016b). *Mortality and burden of disease from ambient air pollution data base*.

APÉNDICES

APÉNDICE I

Tabla I.1 Eventos Antropogénicos sucedidos en los sectores en época de lluvia y sequía para PM₁ y PM_{2.5}.

Pm	Época	Sector	Día	Fecha	Hora	Descripción
1	Sequía	Industrial	lunes	17/10/2016	09h	Taponamiento de tráfico vía Daule exceso de semáforos
1	Sequía	Industrial	lunes	17/10/2016	14h	Accidente de moto en curva de vía perimetral a vía Daule
1	Sequía	Industrial	martes	18/10/2016	14h	Taponamiento de tráfico por semáforos fuera de servicio
1	Sequía	Industrial	martes	18/10/2016	17h	Taponamiento de tráfico km 4,5 a 7,5 vía a Daule
1	Sequía	Industrial	martes	18/10/2016	21h	Incendio de vegetación
1	Sequía	Industrial	miércoles	19/10/2016	12h	Incendio de vegetación km 8 1/2
1	Sequía	Industrial	miércoles	19/10/2016	16h	Accidente de tránsito vía a Daule km 12
1	Sequía	Industrial	jueves	20/10/2016	06h	Taponamiento de tráfico por vehículo dañado y accidente de tránsito
1	Sequía	Industrial	jueves	20/10/2016	07h	Taponamiento de tráfico por vehículo dañado y accidente de tránsito
1	Sequía	Industrial	jueves	20/10/2016	08h	Taponamiento de tráfico por accidente de tránsito
1	Sequía	Industrial	jueves	20/10/2016	12h	Incendio km 19 vía Daule
1	Sequía	Industrial	jueves	20/10/2016	17h	Accidente de tránsito km 8,5 vía a Daule
1	Sequía	Industrial	jueves	20/10/2016	19h	Incendio de vegetación lago Capeira
1	Sequía	Industrial	viernes	21/10/2016	12h	Accidente de tránsito km 22,5 vía a Daule
1	Sequía	Industrial	viernes	21/10/2016	17h	Accidente de tránsito cercano al zoológico pantanal
1	Sequía	Industrial	viernes	21/10/2016	20h	Accidente de tránsito km 8,5 vía a Daule

1	Sequía	Industrial	sábado	22/10/2016	16h	Taponamiento de tráfico por caravana, taponamiento de tráfico
1	Sequía	Industrial	sábado	22/10/2016	17h	Taponamiento de tráfico por caravana, taponamiento de tráfico
1	Sequía	Industrial	sábado	22/10/2016	18h	Taponamiento de tráfico por caravana, taponamiento de tráfico
1	Sequía	Industrial	sábado	22/10/2016	19h	Accidente de tránsito vía Daule santa lucia
1	Sequía	Industrial	domingo	23/10/2016	14h	Accidente de tránsito vía a Daule peaje de chivería
1	Sequía	Industrial	domingo	23/10/2016	15h	Accidente de tránsito vía a Daule altura de cervecería
1	Sequía	Industrial	domingo	23/10/2016	15h - 21h aprox.	Incendio en vía a Daule Urb. Lago Capeira, y en dos lugares más de la ciudad
1	Sequía	Industrial	domingo	23/10/2016	20h	Accidente de tránsito km 11,5 vía a Daule
2,5	Sequía	Industrial	lunes	24/10/2016	15h	Taponamiento de tráfico km 6,5 vía a Daule
2,5	Sequía	Industrial	lunes	24/10/2016	15h	Trabajos en la vía, vía a Daule km 11,5 por Interagua.
2,5	Sequía	Industrial	lunes	24/10/2016	22h	Accidente de tránsito km 14 vía a Daule
2,5	Sequía	Industrial	lunes	24/10/2016		Accidente de tránsito vía a Daule, taponamiento de tráfico km 8,5
2,5	Sequía	Industrial	lunes	24/10/2016		Incendio forestal vía a Daule km 23 atrás de Capeira
2,5	Sequía	Industrial	martes	25/10/2016	12h	Accidente de tránsito km 16 vía a Daule
2,5	Sequía	Industrial	miércoles	26/10/2016	08h	Taponamiento de tráfico vía a Daule
2,5	Sequía	Industrial	miércoles	26/10/2016	10h - 15h	Incendio de vegetación
2,5	Sequía	Industrial	jueves	27/10/2016	09h	Accidente de tránsito km 12,5 vía a Daule
2,5	Sequía	Industrial	jueves	27/10/2016	14h	Accidente de tránsito km 7,5 vía a Daule
2,5	Sequía	Industrial	viernes	28/10/2016	06h	Accidente de tránsito km 22 vía a Daule

2,5	Sequía	Industrial	viernes	28/10/2016	12h	Accidente de tránsito km 5,5 vía a Daule
2,5	Sequía	Industrial	viernes	28/10/2016	16h	Incendio fuerte de bodegas Parque California Vía a Daule km 11, taponamiento de tráfico
1	Sequía	Residencial	lunes	31/10/2016	12h	Taponamiento de tráfico en Urdesa por cierre de Av. Francisco de Orellana y salida hacia Carlos L Plaza Dañín
1	Sequía	Residencial	lunes	31/10/2016	21h	Incendio en Urdesa costanera por Albán Borja
1	Sequía	Residencial	martes	01/11/2016	13h	Taponamiento de tráfico en zona de san marino, Urdesa (colapso)
2,5	Sequía	Residencial	lunes	07/11/2016	18h	Taponamiento de tráfico Urdesa
2,5	Sequía	Residencial	miércoles	09/11/2016	07h	Taponamiento de tráfico Urdesa, bellavista, av. Carlos julio Arosemena
2,5	Sequía	Residencial	jueves	10/11/2016	14h	Taponamiento de tráfico por festival, accidente de tránsito, Urdesa, Víctor Emilio estrada y Las Monjas
2,5	Sequía	Residencial	jueves	10/11/2016	17h	Accidente de tránsito Urdesa central
2,5	Sequía	Residencial	sábado	12/11/2016	13h	Taponamiento de tráfico debido al parqueo en Policentro, Urdesa central
2,5	Sequía	Residencial	sábado	12/11/2016	22h	Accidente de tránsito Víctor Emilio estrada y bálsamos
1	Sequía	Centro	lunes	21/11/2016	18h	Taponamiento de tráfico en centro de la ciudad
2,5	Sequía	Centro	miércoles	23/11/2016	07h	Incendio en Luque y 6 de marzo, taponamiento de tráfico
1	Sequía	Cementería	viernes	02/12/2016	06h a 07h	Accidente vía a la costa km 16, taponamiento de tráfico
1	Sequía	Cementería	domingo	04/12/2016	19h	Accidente de tránsito y taponamiento de tráfico en vía a la costa
1	Sequía	Cementería	lunes	05/12/2016	08h	Accidente de tránsito km 54
1	Sequía	Cementería	jueves	08/12/2016	12h	Accidente de tránsito km 30 y km 50
1	Sequía	Cementería	viernes	09/12/2016	03h	Incendio de una bomba en estación de motores en vía a la costa-cerecita

1	Sequía	Cementera	viernes	09/12/2016	18h	Incendio de tanquero km 1 vía a la costa
1	Sequía	Cementera	viernes	09/12/2016	18h	Taponamiento de tráfico en sentido norte sur en perimetral desde vía a la costa
1	Sequía	Cementera	viernes	09/12/2016		Accidente de tránsito Vía A La Costa Km 9,5 y taponamiento de tráfico
2,5	Sequía	Cementera	miércoles	14/12/2016	0h	Accidente de tránsito Vía A La Costa Km24 y taponamiento de tráfico
2,5	Sequía	Cementera	miércoles	14/12/2016	20h	Accidente de tránsito Vía A La Costa Km 10,5
2,5	Sequía	Cementera	jueves	15/12/2016	17h	Explosión de canteras
2,5	Sequía	Cementera	viernes	16/12/2016		Accidente de tránsito Vía A La Costa
1	Lluvia	Residencial	sábado	07/01/2017	10h	Accidente de tránsito Av. Rotarismo y calle 1era Urdesa
1	Lluvia	Residencial	lunes	09/01/2017	07h	Taponamiento de tráfico
1	Lluvia	Residencial	lunes	09/01/2017	18h	Lluvia torrencial en Urdesa, Miraflores y sectores aledaños, taponamiento de tráfico
1	Lluvia	Residencial	lunes	09/01/2017	22h	Taponamiento de tráfico por lluvias fuertes
1	Lluvia	Residencial	martes	10/01/2017	10h	Taponamiento de tráfico en Urdesa norte, desde la joya
1	Lluvia	Residencial	jueves	12/01/2017	17h	Taponamiento de tráfico Víctor Emilio Estrada Urdesa
1	Lluvia	Residencial	viernes	13/01/2017	19h	Taponamiento de tráfico Urdesa
1	Lluvia	Cementera	sábado	14/01/2017	00h	Accidente de tránsito vía a la costa km 26
1	Lluvia	Residencial	sábado	14/01/2017	07h	Accidente de tránsito Urdesa
1	Lluvia	Cementera	domingo	15/01/2017	16h	Accidente de tránsito vía a la costa km 10,5
1	Lluvia	Cementera	jueves	19/01/2017	00h	Accidente de tránsito vía a la costa km 21, taponamiento de tránsito
1	Lluvia	Cementera	viernes	20/01/2017	13h	Accidente de tránsito km 72

1	Lluvia	Cementerera	viernes	20/01/2017	20h a 21h	Taponamiento de tráfico desde Riocentro Ceibos hasta Vía A La Costa (ruta Guayaquil -Salinas)
2,5	Lluvia	Cementerera	domingo	22/01/2017	14h	Taponamiento en zona del peaje Vía A La Costa por corte de luz
2,5	Lluvia	Cementerera	domingo	22/01/2017	00h	Accidente de tránsito Vía A La Costa Km24
1	Lluvia	Centro	lunes	30/01/2017	12h	Incendio de vehículo en centro de Guayaquil
1	Lluvia	Centro	viernes	03/02/2017	21h	Taponamiento vehicular por llluvias
2,5	Lluvia	Centro	sábado	04/02/2017		Intensas llluvias provocan taponamiento de tráfico en centro de la ciudad
2,5	Lluvia	Centro	lunes	06/02/2017	09h	Taponamiento de tráfico av. De las Américas
1	Lluvia	Industrial	lunes	13/02/2017	05h	Accidente de tránsito vía a Daule ingreso a la florida
1	Lluvia	Industrial	lunes	13/02/2017	10h	Fumigación vía a Daule km 25 1/2
1	Lluvia	Industrial	lunes	13/02/2017	12h	Accidente de tránsito vía a Daule Av. Tanca Marengo
1	Lluvia	Industrial	lunes	13/02/2017	14h	Accidente de tránsito km 6,5 y 9,5 vía a Daule
1	Lluvia	Industrial	martes	14/02/2017	12h	Accidente de tránsito vía a Daule
1	Lluvia	Industrial	martes	14/02/2017	17h	Accidente de tránsito km 10 y 14,5 vía a Daule
1	Lluvia	Industrial	jueves	16/02/2017	12h - 15h	Inundación de vía a Daule, fuertes vientos y lluvia caída de árboles y taponamiento de tráfico
1	Lluvia	Industrial	jueves	16/02/2017	18h	Incendio vehicular km 7,5 vía a Daule
1	Lluvia	Industrial	viernes	17/02/2017	08h	Accidente de tránsito en vía Samborondón - Daule km 7,5
1	Lluvia	Industrial	sábado	18/02/2017	22h	Accidente de tránsito vía a Daule Av. Juan Tanca Marengo
1	Lluvia	Industrial	domingo	19/02/2017	14h	Accidente de tránsito vía a Daule
2,5	Lluvia	Industrial	lunes	20/02/2017	05h	Inundación por llluvias, taponamiento de tráfico

2,5	Lluvia	Industrial	lunes	20/02/2017	06h	Accidente de tránsito Vía Daule km 19,5
2,5	Lluvia	Industrial	martes	21/02/2017	06h	Accidente de tránsito Vía Daule km 10,5
2,5	Lluvia	Industrial	martes	21/02/2017	22h	Accidente de tránsito vía a Daule km 14,5, lluvias intensas
2,5	Lluvia	Industrial	miércoles	22/02/2017	05h	Corte de energía Vía Daule Km 23, intensas lluvias, taponamiento de tráfico
2,5	Lluvia	Industrial	miércoles	22/02/2017	11h	Incendio de vehículo Vía a Daule altura Peca
2,5	Lluvia	Industrial	miércoles	22/02/2017	19h	Accidente de tránsito km 14,5 vía a Daule
2,5	Lluvia	Industrial	jueves	23/02/2017	17h	Accidente de tránsito y taponamiento de tráfico en vía perimetral y vía a Daule
2,5	Lluvia	Industrial	viernes	24/02/2017	10h	Accidente de tránsito vía a Daule Av. Tanca Marengo
2,5	Lluvia	Industrial	viernes	24/02/2017	13h	Taponamiento de tráfico vía a Daule
2,5	Lluvia	Industrial	sábado	25/02/2017	03h	Accidente de tránsito vía a Daule calle 1 era, Mapasingue este
2,5	Lluvia	Industrial	sábado	25/02/2017	15h	Inundación por lluvias, taponamiento de tráfico Vía Daule km 6,5
2,5	Lluvia	Industrial	sábado	25/02/2017	19h	Accidente de tránsito km 8 1/2 vía a Daule
2,5	Lluvia	Industrial	domingo	26/02/2017	11h	Accidente de tránsito km 14 1/2
2,5	Lluvia	Industrial	domingo	26/02/2017	13h	Taponamiento de tráfico e inundación por lluvias
2,5	Lluvia	Residencial	miércoles	01/03/2017	12h	Fuertes lluvias y taponamiento de tráfico
2,5	Lluvia	Residencial	miércoles	01/03/2017	12h	Posible incendio Urdesa, exposición de humo negro

APÉNDICE II

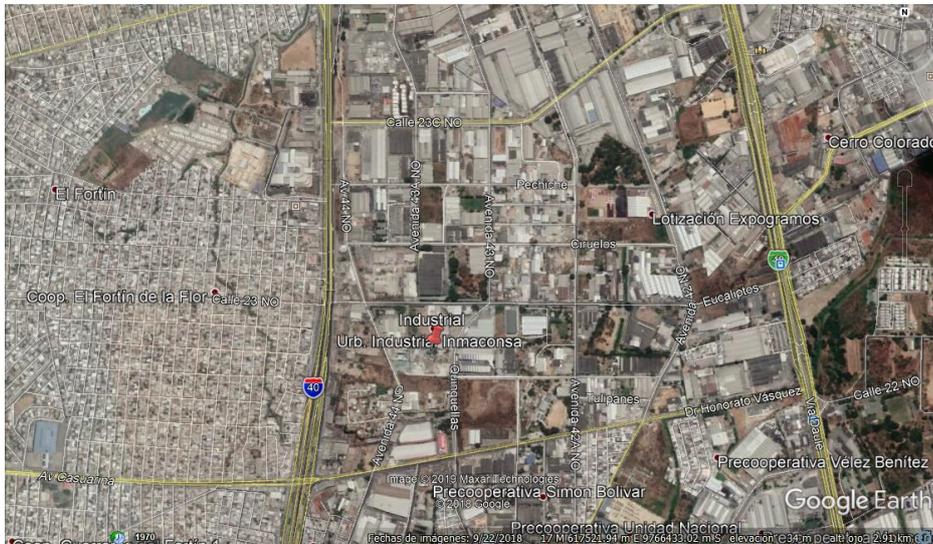


Figura II.1 Localización del lugar de muestreo en el sector Industrial “Urbanización Industrial Inmaconsa”. Fuente: Google Earth.

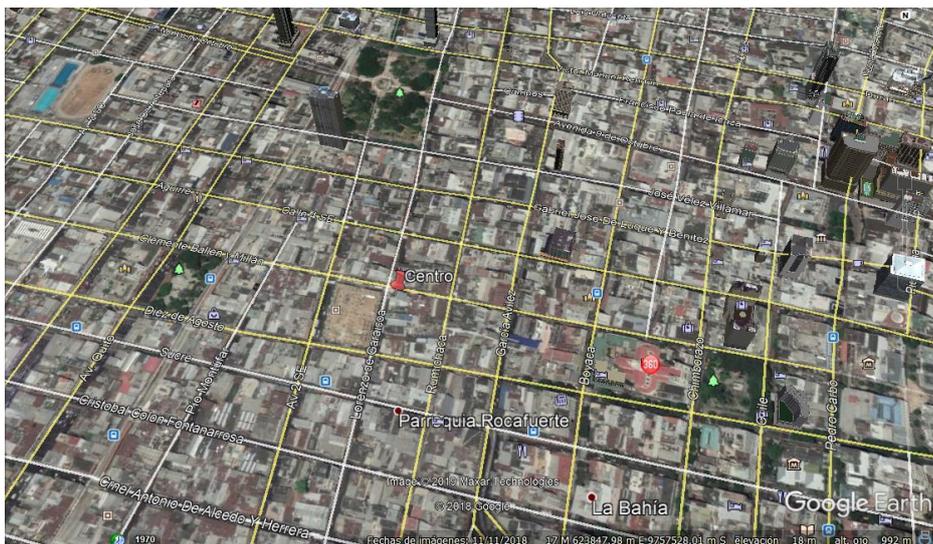


Figura II.2 Localización del lugar de recolección de muestra en el Sector Centro de la ciudad y sus alrededores. Fuente: Google Earth.

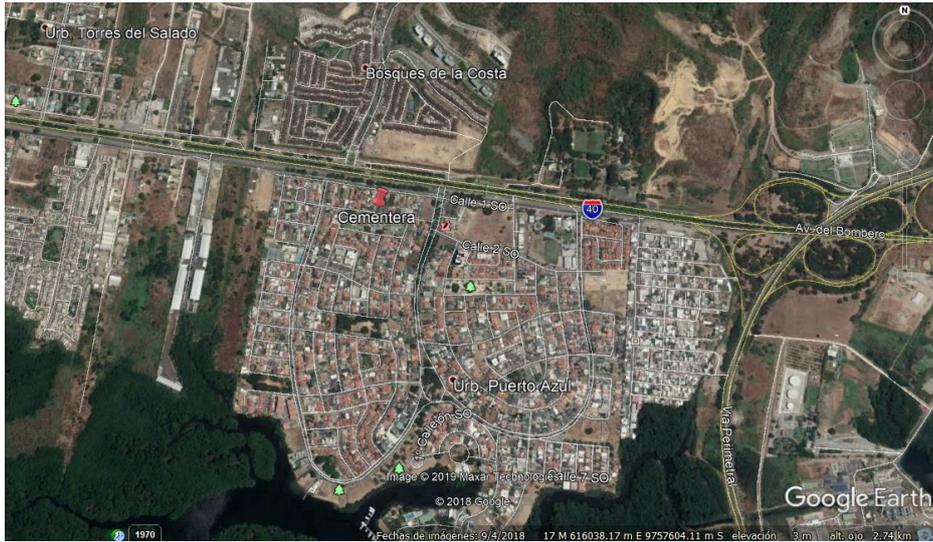


Figura II.3 Ubicación del lugar de muestreo de Sector de Cementera (Vía a la Costa). Localizado al noroeste de Guayaquil. Fuente: Google Earth.



Figura II.4 Localización del Sector residencial, ubicados cerca de la ciudadela Miraflores. Fuente: Google Earth.