



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE GUAYAQUIL**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR EMISIONES DE MATERIAL  
PARTICULADO PROVENIENTE DE UNA CANTERA EN LA URBANIZACIÓN  
BOSQUES DE LA COSTA APLICANDO UN MODELO DE DISPERSIÓN**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero Ambiental

AUTORES: JENNIFER ALVARADO,

VICTORIA CEDEÑO

TUTOR: ALEX ARIAS MORAN

Guayaquil-Ecuador

2024

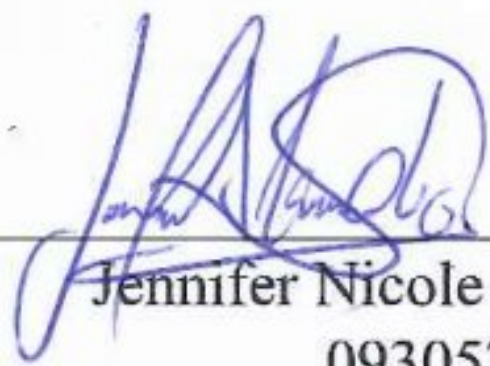
## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Jennifer Nicole Alvarado Medina con documento de identificación N° 0930571302 y Victoria Cedeño Espinoza con documento de identificación N° 0929525947; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 1 de marzo del año 2024

Atentamente,



---

Jennifer Nicole Alvarado Medina  
0930571302



---

Victoria Cedeño Espinoza  
0929525947

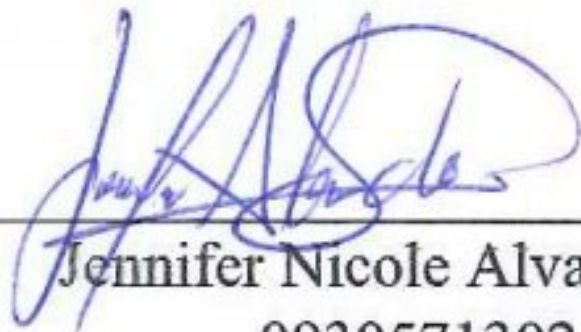
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Jennifer Nicole Alvarado Medina con documento de identificación No. 0930571302 y Victoria Cedeño Espinoza con documento de identificación No. 0929525947, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del “~~EVALUACIÓN DE LA~~ CONTAMINACIÓN POR EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO PROVENIENTE DE UNA CANTERA EN LA URBANIZACION BOSQUES DE LA COSTA APLICANDO UN MODELO DE DISPERSIÓN”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Ambiental en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

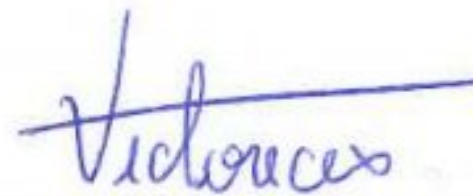
En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 1 de marzo del año 2024

Atentamente,



Jennifer Nicole Alvarado Medina  
0930571302



Victoria Cedeño Espinoza  
0929525947

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Alex Eduardo Arias Morán con documento de identificación N° 0919248161, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO PROVENIENTE DE UNA CANTERA EN LA URBANIZACIÓN BOSQUES DE LA COSTA APLICANDO UN MODELO DE DISPERSIÓN”, realizado por Jennifer Nicole Alvarado Medina con documento de identificación N° 0930571302 y por Victoria Cedeño Espinoza con documento de identificación N° 0929525947, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 1 de marzo del año 2024

Atentamente,



Alex Eduardo Arias Moran  
0919248161

## **DEDICATORIA**

Le dedico mi trabajo de titulación a mis padres por siempre apoyarme tanto en mi trabajo experimental como en toda mi vida universitaria y a todos mis abuelitos a pesar de que unos ya no estén conmigo porque siempre quisieron verme con un título universitario.

-Jennifer Alvarado

Le dedico esta investigación a mis dedicados padres quienes han hecho todo lo posible para ayudarme conseguir mis objetivos. Al igual que a todos los estudiantes de ingeniería ambiental, esperando aportarles material de utilidad para sus propias investigaciones futuros que ayuden a esta comunidad a crecer y dejar nuestra marca en el mundo.

-Victoria Cedeño

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mi familia por siempre animarme en todo el proceso de titulación, a mi hermano y mis amigas por ayudarme y acompañarme a la recolección de datos para este trabajo y a mi pareja por siempre estar conmigo en todas las desveladas para terminar mi trabajo de titulación, los amo a todos.

-Jennifer Alvarado

En este apartado, quisiera agradecer primero que nada a Dios por permitirme llegar a este nivel de educación superior y culminar mis estudios universitarios. También es imperativo a mostrar mi mayor aprecio a mis padres por su constante apoyo y amor al impulsarme lograr mis metas siempre deseando lo mejor para mí.

Asimismo, es importante para mí mencionar a mi compañera de tesis por su ayuda y persistencia durante para la elaboración de este proyecto. Así mismo le agradezco sinceramente a nuestro tutor por su guía constante y correcciones precisas que garantizaron la mejor versión de nuestra investigación.

-Victoria Cedeño

## RESUMEN

El presente estudio se centra en la evaluación de la contaminación ocasionada por emisiones de material particulado provenientes de una cantera ubicada cerca de la urbanización Bosques de la Costa mediante el análisis de datos tomados con un contador de partículas para determinar la propagación de partículas contaminantes en la zona. El objetivo es evaluar el impacto ambiental que generan las actividades de la cantera en términos de concentraciones de material particulado en el aire.

La metodología comprende la aplicación de herramientas de interpolación en el software ArcGIS 10.6 que considera factores como la topografía local, las condiciones meteorológicas y los datos de los monitoreos de las emisiones de la cantera.

Los resultados obtenidos revelan patrones de dispersión y concentración de material particulado en esta área cercanas a la cantera. Se identifican zonas potencialmente afectadas y se cuantifica el alcance de la contaminación atmosférica generada por la actividad de la cantera.

Este estudio proporciona información crucial para la toma de decisiones en cuanto a regulaciones ambientales y gestión de riesgos en la urbanización Bosques de la Costa. Los hallazgos contribuyen a la comprensión de la magnitud del impacto de las emisiones de material particulado en la calidad del aire local, permitiendo la implementación de medidas correctivas y preventivas para mitigar los efectos negativos en la salud pública y el medio ambiente.

**Palabras clave:** Material particulado (PM), contaminación, contador de partículas, concentraciones en el aire, ArcGis, calidad del aire, monitoreo, muestreo, meteorología, normas nacionales e internacionales, salud pública.

## **ABSTRACT**

This study focuses on the evaluation of the pollution caused by particulate matter emissions from a quarry located near the Bosques de la Costa urbanization using an atmospheric dispersion model to analyze the propagation of particulate pollutants in the area. The objective is to evaluate the environmental impact generated by the quarry activities in terms of particulate matter concentrations in the air.

The methodology involves the application of an atmospheric dispersion model in ArcGIS 10.6 software that considers factors such as local topography, meteorological conditions and quarry emissions monitoring data.

The results obtained reveal dispersion patterns and concentration of particulate matter in this area near the quarry. Potentially affected areas are identified and the extent of air pollution generated by the quarry activity is quantified.

This study provides crucial information for decision-making regarding environmental regulations and risk management in the Bosques de la Costa development. The findings contribute to the understanding of the magnitude of the impact of particulate matter emissions on local air quality, allowing the implementation of corrective and preventive measures to mitigate the negative effects on public health and the environment.

**Key words:** particulate matter (PM), pollution, particle counter, air concentrations, ArcGis, air quality, monitoring, sampling, meteorology, national and international standards, public health.



## ÍNDICE

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	II
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA .....	III
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	IV
DEDICATORIA .....	V
AGRADECIMIENTOS .....	VI
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT .....	VIII
ÍNDICE .....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVI
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XVIII
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. PROBLEMA .....</b>	<b>7</b>
<i>1.1.1. Importancia y generalidad del problema para los sectores .....</i>	<i>7</i>
<i>1.1.2. Alcance.....</i>	<i>8</i>
<b>1.2. DELIMITACIÓN.....</b>	<b>9</b>
<i>1.2.1. Delimitación geográfica .....</i>	<i>9</i>
<b>1.3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>9</b>

1.4.	OBJETIVO GENERAL.....	10
1.5.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	10
1.6.	HIPÓTESIS .....	10
1.7.	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	10
2.	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	11
2.1.	CONCENTRACIONES DE PM <sub>10</sub> Y PM <sub>2.5</sub> EN ECUADOR .....	11
2.2.	CONCENTRACIONES EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO .....	12
2.3.	EMISIONES DE PARTÍCULAS GRUESAS Y FINAS POR EMPRESAS PRIVADAS EN URBANIZACIÓN EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL .....	13
2.4.	CONCENTRACIONES PM <sub>10</sub> COLOMBIA.....	13
2.5.	NORMAS NACIONALES E INTERNACIONALES.....	14
2.6.	NORMA CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE .....	15
3.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	16
3.1.	ÁREA DE ESTUDIO.....	16
3.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA .....	17
3.3.	VARIABLES .....	17
3.4.	RECOPIACIÓN DE DATOS.....	20
3.5.	METODOLOGÍA .....	22
3.5.1.	<i>Uso del Contador de Partículas</i> .....	22
3.5.2.	<i>Mediciones</i> .....	22
3.5.3.	<i>Depuración de Datos</i> .....	23
3.5.4.	<i>Datos Meteorológicos</i> .....	23
3.5.5.	<i>Análisis estadístico</i> .....	24

<b>3.5.6. Representación de datos</b> .....	24
3.5.6.1. Interpolación IDW-modelo de dispersión .....	24
3.5.6.2. Validación del modelo de dispersión (IDW) .....	26
<b>4. RESULTADOS</b> .....	<b>28</b>
<b>4.1. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS DATOS</b> .....	<b>28</b>
<b>4.2. DATOS METEOROLÓGICOS</b> .....	<b>33</b>
<b>4.3. MAPAS DE INTERPOLACIÓN</b> .....	<b>39</b>
<b>4.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS</b> .....	<b>61</b>
<b>4.5. CORRELACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LOS DATOS METEOROLÓGICA.</b> .....	<b>67</b>
<b>5. DISCUSIÓN:</b> .....	<b>68</b>
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>71</b>
<b>6.1. CONCLUSIONES:</b> .....	<b>71</b>
<b>6.2. RECOMENDACIONES:</b> .....	<b>72</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA:</b> .....	<b>73</b>
<b>8. ANEXOS</b> .....	<b>77</b>
<b>8.1. REGISTRO DE LOS PROMEDIOS SOBRE LOS DÍAS EN QUE SE TOMARON LAS</b> <b>MEDICIONES DE MATERIAL PARTICULADO</b> .....	<b>77</b>
<b>8.2. CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DEL CONTADOR DE PARTÍCULAS CEM/DT9881</b> .	<b>80</b>
<b>8.3. EVIDENCIA DE TOMAS DE MUESTRA</b> .....	<b>83</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1. VALORES DE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PERMITIDOS EN LA NORMA DE CALIDAD DE AIRE AMBIENTE ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD(OMS)-AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL DE ESTADOS UNIDOS (EPA) .....</b>	<b>15</b>
<b>TABLA 2. VALORES DE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PERMITIDOS EN LA NORMA DE CALIDAD DE AIRE AMBIENTE NACIONAL. ....</b>	<b>16</b>
<b>TABLA 3.- CARACTERÍSTICAS DE LOS FACTORES METEOROLÓGICOS EN ENERO-GUAYAQUIL. ....</b>	<b>19</b>
<b>TABLA 4. SELECCIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO .....</b>	<b>20</b>
<b>TABLA 5: CRONOGRAMA DE LA TOMA DE MEDICIONES PARA MATERIAL PARTICULADO.....</b>	<b>23</b>
<b>TABLA 6: CONCENTRACIONES DE PROMEDIOS DE PM<sub>2.5</sub> Y PM<sub>10</sub> EN LOS PUNTOS DE MUESTREO POR SEMANA. ....</b>	<b>28</b>
<b>TABLA 7: VALORES ALTOS MIÉRCOLES SEMANA 1. 9:00 AM .....</b>	<b>37</b>
<b>TABLA 8: VALORES ALTOS MIÉRCOLES SEMANA 3. 23:00 PM .....</b>	<b>38</b>
<b>TABLA 9: COMPARACIÓN ENTRE DATOS INGRESADOS DE LAS EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO PM<sub>2.5</sub> Y LA PREDICCIÓN DE GEOSTADISTICAL WIZARD. MARTES PRIMERA SEMANA. ....</b>	<b>41</b>
<b>TABLA 10: COMPARACIÓN ENTRE DATOS INGRESADOS DE LAS EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO PM<sub>10</sub> Y LA PREDICCIÓN DE GEOSTADISTICAL WIZARD. MARTES PRIMERA SEMANA. ....</b>	<b>41</b>

**TABLA 11: COMPARACIÓN ENTRE DATOS INGRESADOS DE LAS EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO  $PM_{2.5}$  Y LA PREDICCIÓN DE GEOSTADISTICAL WIZARD. MIÉRCOLES PRIMERA SEMANA. .... 42**

**TABLA 12: COMPARACIÓN ENTRE DATOS INGRESADOS DE LAS EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO  $PM_{10}$  Y LA PREDICCIÓN DE GEOSTADISTICAL WIZARD. MIÉRCOLES PRIMERA SEMANA. .... 42**

**TABLA 13: COMPARACIÓN ENTRE DATOS INGRESADOS DE LAS EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO  $PM_{2.5}$  Y LA PREDICCIÓN DE GEOSTADISTICAL WIZARD. JUEVES PRIMERA SEMANA. .... 43**

**TABLA 14: COMPARACIÓN ENTRE DATOS INGRESADOS DE LAS EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO  $PM_{10}$  Y LA PREDICCIÓN DE GEOSTADISTICAL WIZARD. JUEVES PRIMERA SEMANA. .... 43**

**TABLA 15: COMPARACIÓN ENTRE DATOS INGRESADOS DE LAS EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO  $PM_{2.5}$  Y LA PREDICCIÓN DE GEOSTADISTICAL WIZARD. MARTES SEGUNDA SEMANA. .... 46**

**TABLA 16: COMPARACIÓN ENTRE DATOS INGRESADOS DE LAS EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO  $PM_{10}$  Y LA PREDICCIÓN DE GEOSTADISTICAL WIZARD. MARTES SEGUNDA SEMANA. .... 46**

**TABLA 17: COMPARACIÓN ENTRE DATOS INGRESADOS DE LAS EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO  $PM_{2.5}$  Y LA PREDICCIÓN DE GEOSTADISTICAL WIZARD. MIÉRCOLES SEGUNDA SEMANA. .... 47**

<b>TABLA 18: COMPARACIÓN ENTRE DATOS INGRESADOS DE LAS EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO <math>PM_{10}</math> Y LA PREDICCIÓN DE GEOSTADISTICAL WIZARD. MIÉRCOLES SEGUNDA SEMANA. ....</b>	<b>47</b>
<b>TABLA 19: COMPARACIÓN ENTRE DATOS INGRESADOS DE LAS EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO <math>PM_{2.5}</math> Y LA PREDICCIÓN DE GEOSTADISTICAL WIZARD. JUEVES SEGUNDA SEMANA. ....</b>	<b>48</b>
<b>TABLA 20: COMPARACIÓN ENTRE DATOS INGRESADOS DE LAS EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO <math>PM_{10}</math> Y LA PREDICCIÓN DE GEOSTADISTICAL WIZARD. JUEVES SEGUNDA SEMANA. ....</b>	<b>48</b>
<b>TABLA 21: COMPARACIÓN ENTRE DATOS INGRESADOS DE LAS EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO <math>PM_{2.5}</math> Y LA PREDICCIÓN DE GEOSTADISTICAL WIZARD. MARTES TERCERA SEMANA. ....</b>	<b>51</b>
<b>TABLA 22: COMPARACIÓN ENTRE DATOS INGRESADOS DE LAS EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO <math>PM_{10}</math> Y LA PREDICCIÓN DE GEOSTADISTICAL WIZARD. MARTES TERCERA SEMANA. ....</b>	<b>51</b>
<b>TABLA 23: COMPARACIÓN ENTRE DATOS INGRESADOS DE LAS EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO <math>PM_{2.5}</math> Y LA PREDICCIÓN DE GEOSTADISTICAL WIZARD. MIÉRCOLES TERCERA SEMANA. ....</b>	<b>52</b>
<b>TABLA 24: COMPARACIÓN ENTRE DATOS INGRESADOS DE LAS EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO <math>PM_{10}</math> Y LA PREDICCIÓN DE GEOSTADISTICAL WIZARD. MIÉRCOLES TERCERA SEMANA. ....</b>	<b>52</b>

<b>TABLA 25: COMPARACIÓN ENTRE DATOS INGRESADOS DE LAS EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO <math>PM_{2.5}</math> Y LA PREDICCIÓN DE GEOSTADISTICAL WIZARD. JUEVES TERCERA SEMANA.</b> .....	<b>53</b>
<b>TABLA 26: COMPARACIÓN ENTRE DATOS INGRESADOS DE LAS EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO <math>PM_{10}</math> Y LA PREDICCIÓN DE GEOSTADISTICAL WIZARD. JUEVES TERCERA SEMANA.</b> .....	<b>53</b>
<b>TABLA 27: COMPARACIÓN ENTRE DATOS INGRESADOS DE LAS EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO <math>PM_{2.5}</math> Y LA PREDICCIÓN DE GEOSTADISTICAL WIZARD. MIÉRCOLES 17 DE ENERO.</b> .....	<b>56</b>
<b>TABLA 28: COMPARACIÓN ENTRE DATOS INGRESADOS DE LAS EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO <math>PM_{10}</math> Y LA PREDICCIÓN DE GEOSTADISTICAL WIZARD. MIÉRCOLES 17 DE ENERO.</b> .....	<b>57</b>
<b>TABLA 27: COMPARACIÓN ENTRE DATOS INGRESADOS DE LAS EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO <math>PM_{2.5}</math> Y LA PREDICCIÓN DE GEOSTADISTICAL WIZARD. MIÉRCOLES 31 DE ENERO.</b> .....	<b>60</b>
<b>TABLA 28: COMPARACIÓN ENTRE DATOS INGRESADOS DE LAS EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO <math>PM_{10}</math> Y LA PREDICCIÓN DE GEOSTADISTICAL WIZARD. MIÉRCOLES 31 DE ENERO.</b> .....	<b>60</b>
<b>TABLA 29: RESUMEN ESTADÍSTICO DE LAS CONCENTRACIONES DE MATERIAL PARTICULADO. VALORES MÁS ALTOS.</b> .....	<b>61</b>
<b>TABLA 30: CONTINUACIÓN DE LA TABLA RESUMEN ESTADÍSTICO DE LAS CONCENTRACIONES DE MATERIAL PARTICULADO. VALORES MÁS ALTOS.</b> .....	<b>62</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1: <i>ÁREA ESPACIAL DELIMITADA</i></b> .....	<b>9</b>
<b>FIGURA 2: <i>UBICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO</i></b> .....	<b>21</b>
<b>FIGURA 3: <i>ROSA DE LOS VIENTOS. VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO. ESTACIÓN METEOROLÓGICA UPS.</i></b> .....	<b>36</b>
<b>FIGURA 4: <i>DÍAS REPRESENTATIVOS DE LAS MEDICIONES. SEMANA 1 <math>PM_{2.5}</math></i></b> ..	<b>39</b>
<b>FIGURA 5: <i>DÍAS REPRESENTATIVOS DE LAS MEDICIONES. SEMANA 1 <math>PM_{10}</math></i></b> ...	<b>40</b>
<b>FIGURA 6: <i>DÍAS REPRESENTATIVOS DE LAS MEDICIONES. SEMANA 2 <math>PM_{2.5}</math></i></b> ..	<b>44</b>
<b>FIGURA 7: <i>DÍAS REPRESENTATIVOS DE LAS MEDICIONES. SEMANA 2 <math>PM_{10}</math></i></b> ...	<b>45</b>
<b>FIGURA 8: <i>DÍAS REPRESENTATIVOS DE LAS MEDICIONES. SEMANA 3 <math>PM_{2.5}</math></i></b> ..	<b>49</b>
<b>FIGURA 9: <i>DÍAS REPRESENTATIVOS DE LAS MEDICIONES. SEMANA 3 <math>PM_{10}</math></i></b> ...	<b>50</b>
<b>FIGURA 10: <i>DÍA DE VALORES IRREGULARES DE LAS MEDICIONES. MIÉRCOLES 17 DE ENERO <math>PM_{2.5}</math></i></b> .....	<b>54</b>
<b>FIGURA 11: <i>DÍA DE VALORES IRREGULARES DE LAS MEDICIONES. MIÉRCOLES 17 DE ENERO <math>PM_{10}</math></i></b> .....	<b>55</b>
<b>FIGURA 12: <i>DÍA DE VALORES IRREGULARES DE LAS MEDICIONES. MIÉRCOLES 31 DE ENERO <math>PM_{2.5}</math></i></b> .....	<b>58</b>
<b>FIGURA 13: <i>DÍA DE VALORES IRREGULARES DE LAS MEDICIONES. MIÉRCOLES 31 DE ENERO <math>PM_{10}</math></i></b> .....	<b>59</b>
<b>FIGURA 14: <i>CORRELACIÓN ENTRE EL PORCENTAJE DE HUMEDAD Y LAS CONCENTRACIONES DE <math>PM_{2.5}</math> EN LAS 3 SEMANAS DE MONITOREO.</i></b> .....	<b>67</b>



**FIGURA 15: CORRELACIÓN ENTRE LA TEMPERATURA Y LOS NIVELES DE PM10  
EN CADA UNA DE SUS ESTACIONES DURANTE LAS 3 SEMANAS DE  
MONITOREO. .... 68**

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>GRÁFICO 1: REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS NIVELES DE <math>PM_{2.5}</math> Y <math>PM_{10}</math> PARA CADA PUNTO DE MUESTREO.</b> .....	<b>29</b>
<b>GRÁFICO 2: CONCENTRACIONES DE <math>PM_{2.5}</math> Y <math>PM_{10}</math> PARA LOS PUNTOS C Y D DURANTE LAS 3 SEMANAS.</b> .....	<b>30</b>
<b>GRÁFICO 3: CONCENTRACIONES DE MATERIAL PARTICULADO PARA EL PUNTO E DURANTE 3 SEMANAS DE MONITOREO.</b> .....	<b>32</b>
<b>GRÁFICO 4: RELACIÓN ENTRE LOS PROMEDIOS DE HUMEDAD Y MATERIAL PARTICULADO ESTACIONES A-E.</b> .....	<b>33</b>
<b>GRÁFICO 5: TABLA 6</b> .....	<b>37</b>
<b>GRÁFICO 6: TABLA 7</b> .....	<b>38</b>
<b>GRÁFICO 7: GRAFICO DE CAJAS Y BIGOTES, COMPROBACIÓN PARAMÉTRICA DE LOS DATOS DE DISPERSIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE <math>PM_{2.5}</math> DEL MIÉRCOLES SEMANA 3.</b> .....	<b>63</b>
<b>GRÁFICO 8: GRAFICO DE CAJAS Y BIGOTES COMPROBACIÓN PARAMÉTRICA DE LOS DATOS DE DISPERSIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE <math>PM_{10}</math> DEL MIÉRCOLES SEMANA 3.</b> .....	<b>64</b>
<b>GRÁFICO 9: GRAFICO DE CAJAS Y BIGOTES COMPROBACIÓN PARAMÉTRICA DE LOS DATOS DE DISPERSIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE <math>PM_{10}</math> DEL MIÉRCOLES. SEMANA 3</b> .....	<b>65</b>

**GRÁFICO 10: GRAFICO DE CAJAS Y BIGOTES COMPROBACIÓN PARAMÉTRICA  
DE LOS DATOS DE DISPERSIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE  $PM_{10}$  DEL  
MIÉRCOLES A LAS 23:00 PM SEMANA 3..... 66**

## 1. INTRODUCCIÓN

Las principales fuentes de contaminación atmosférica provienen de las actividades humanas como las centrales térmicas, el transporte, la minería e incluso la industria química y nuclear entre otras causas. El nivel de su impacto es de tal magnitud que el incremento de las cantidades de contaminación en el aire desde los entornos urbanos se expande hasta las áreas circundantes afectando a los ecosistemas boscosos (José Carlos Mora-Barrantes, 2021). Estudios acerca del tiempo de exposición a contaminantes en el aire evidencian que su presencia en espacios cerrados y abiertos afectan negativa y directamente a la salud humana al igual que contribuye a la destrucción de los ecosistemas terrestres debido a su influencia en la flora y fauna (Martí, M. A. C. 2007). Cuando la lluvia interacciona con los contaminantes atmosféricos se origina el fenómeno de la lluvia ácida la cual se la distingue por perjudicar directamente la calidad del agua. Tal fenómeno sucede a raíz de la presencia de los aniones del ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) y ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) (Acosta Ochoa, D. M., et al, 2008). En consecuencia, la acidificación del entorno resulta de la presencia de sulfatos y nitratos, los cuales se originan a partir de la oxidación de óxidos de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) presentes en las emisiones gaseosas, siendo estas emisiones mayoritariamente generadas por actividades humanas (Salas, J. 2021). Uno de estos contaminantes es el material particulado (PM) el cual incluye una mezcla de partículas sólidas y gotas líquidas que se encuentran en el aire. Algunas partículas, como la suciedad o el humo, son lo bastante visibles y oscuras como para notarlas sin esfuerzo. En cambio, las demás partículas son tan diminutas que solo pueden verse a través de un microscopio (Beltrán Castañeda, 2020). En otras palabras, estas se clasifican en dos principales grupos como son el  $\text{PM}_{10}$  y el  $\text{PM}_{2.5}$ . La diferencia entre ellas radica en que las partículas  $\text{PM}_{10}$  suelen tener diámetros de 10 micrómetros o menos, mientras que las  $\text{PM}_{2.5}$ , catalogadas como partículas finas respirables, generalmente presentan diámetros de 2.5

micrómetros o menos (Silva Gómez, S. I. 2021). En otras palabras, los 2.5 micrómetros representan una medida considerablemente diminuta. Para tener una referencia, si tomamos un solo cabello humano promedio, que tiene aproximadamente 70  $\mu\text{m}$  de diámetro, la partícula fina más grande, con sus 2.5 micrómetros, resulta siendo 30 veces más pequeña que dicho cabello (US EPA, 2018).

Por lo tanto, este polvo contaminante se caracteriza por la diversidad de tamaños y formas que tienen al igual que la variedad en su composición química. Una abundante cantidad de estas partículas son emitidas desde fuentes particulares como los caminos sin pavimentación, lugares de construcción, incendios, chimeneas o áreas agrícolas (Flores-Cortez, et al. 2022). Las partículas en el aire se producen por medio de procesos químicos múltiples junto con los óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre. Los cuales son contaminantes típicos liberados por las industrias autos y centrales eléctricas (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, 2023).

Por otra parte, las emisiones de  $\text{PM}_{10}$  son de mayor proporción para las industrias de producción de minerales no metálicos (CIU C23) aportando un 42% equivalente a un 3726 ton/año. Mientras que la manufactura o industria de producción de metales comunes aporta un 23% a las emisiones totales de  $\text{PM}_{10}$  es decir a 2043 ton/año (Cepeda, Tomás, & Paredes, 2021).

Sin embargo, las emisiones de contaminantes no actúan por sí solas para su transporte y sedimentación. Existe una fuerte influencia de las condiciones meteorológicas con la naturaleza del traslado de los contaminantes. Entre las principales variables se incluyen la precipitación, velocidad y dirección del viento, la radiación y la estabilidad atmosférica (Vidal, López, Cuesta, Bolufé, García, 2018). El viento tiene un papel importante en el transporte de los contaminantes debido a que cuando la velocidad incrementa y como resultado la

concentración del contaminante disminuye debido a que aumenta el volumen de aire desplazado en el tiempo. Es importante recalcar que el tiempo actúa como un factor en el transporte del material particulado siendo este desplazado desde la fuente de origen hasta las áreas receptoras (Juárez Castro, 2015).

Es importante considerar que la precipitación tiene un rol importante con las concentraciones de material particulado en donde existe una relación fuerte relacionada con la hora en la cual la precipitación sucede. Estudios consideran que la precipitación limpia el aire de la atmósfera especialmente cuando llueve durante la mañana. Otra evidencia indica que en ciertos casos cuando precipita durante la noche algunos contaminantes pueden incrementar sus concentraciones (Mariño, 2020). Indagaciones adicionales complementan el tema indicando que la precipitación puede atrapar aquellas partículas mayores a 2 micras y aquellas de menor tamaño que siguen el flujo del aire conforme a la lluvia (Ochoa,2020).

Asimismo, la estabilidad atmosférica también forma parte de este proceso debido a que la estabilidad es determinada según la diferencia de temperatura y la masa de aire. La temperatura provoca movimientos verticales del aire haciendo que la masa de aire descienda o ascienda debido a que se conoce que la temperatura baja cada 1 centígrados por cada 100 metros (Velasteguí, et al., 2018). En caso de que la temperatura en la atmósfera y sus capas bajas y desciendan a razón mayor a 1 °C cada 100 metros se la describe como atmósfera inestable. Cuando sucede lo contrario se lo denomina estable. Existe estabilidad neutra cuando no existe turbulencia térmica (UNAD, 2015).

Otro factor indispensable es la topografía de la zona en donde las montañas o laderas condicionan la velocidad y dirección del viento. Las barreras antrópicas como los edificios también aumentan la contaminación debido a que la radiación es atrapada y se estanca el aire

acumulando calor debido a los obstáculos que impiden la dispersión del aire (Oscar Andrés Vidal-Daza & Pérez-Vidal, 2018).

Por otro lado, se han realizado investigaciones relacionadas con partículas en varias partes del mundo, por ejemplo en Italia, España, Beijing, Suecia, China y Estados Unidos, entre otros; que demostraron que la presencia de material particulado en la atmósfera se debe a causas naturales y antropogénicas que afectan al ser humano, ya que se puede observar los efectos inflamatorios después de la exposición a  $PM_{10}$ , y  $PM_{2.5}$ , (Barboza Lizano, 2013) después de la inhalación estos pueden depositarse directamente en los alvéolos, provocando cambios en la función fagocítica alveolar. (Cruz Ramos, K. D., & Salcedo Ccallohuanca, R. 2019).

Los estudios de hombres sanos expuestos a altos niveles de partículas han demostrado *“niveles elevados de proteína C reactiva en sangre. Además, se observaron inflamación pulmonar, niveles elevados de citoquinas (p. ej.,  $TNF-\alpha$ ,  $IL-8$ ,  $IL-1\beta$ ), aumento del recuento de neutrófilos y células alveolares viables en muestras de lavado broncoalveolar en voluntarios expuestos a altas concentraciones de partículas”* (Sandoval D., 2019).

Otro estudio "in vitro" de muestras de lavado broncoalveolar de ratas expuestas a  $PM_{10}$  mostró que la exposición a altas concentraciones de material particulado  $PM_{10}$  se asociaba con un *“aumento de las células polimorfonucleares (PMN), un aumento de la permeabilidad epitelial, el lactato deshidrogenasa y un aumento de los radicales libres”* (Sandoval D., 2019); lo que demuestra que la exposición a este contaminante puede provocar estrés oxidativo e inflamación local.

No obstante, los efectos del material particulado en el ambiente también suceden, aunque estos son difíciles de medir con certeza. Este contaminante se deposita en la vegetación

por medio del agua, el aire o por medio de la deposición oculta. Las partículas de polvo son capaces de intervenir con las superficies de las hojas de las plantas dificultando el proceso de fotosíntesis (Ramos Pérez, L. K. 2021). Estas perturbaciones toman lugar en los procesos fisiológicos de las plantas, en el ciclo de los nutrientes y en la cadena trófica. Sin embargo, estas perturbaciones pueden representar en un problema temporal y con una recuperación relativamente rápida a diferencia de los efectos que tienen en la salud humana. Por otro lado, también se ha determinado que las partículas más finas que se depositan en el suelo reducen el crecimiento, el rendimiento y la reproducción de las plantas (Whitby, 1978).

Asimismo, se reporta que la deposición de las partículas de polvo tiene efectos negativos en la comunidad de microorganismos los cuales tienen un rol importante en la descomposición de las hojas secas. De tal manera que representa un riesgo para los helechos y musgos. Los principales efectos del material particulado en el ecosistema están muy ligados a la composición química de la misma y puede tener efectos indirectos, pero estos no pueden verse hasta después de 10 años o más. Sin embargo, en los puntos más industrializados en donde se ha observado mínimas interacciones biológicas en los suelos (Santosh & Prajapati, 2012).

Por último, a largo plazo estas partículas pueden contribuir a la acidificación de los lagos y empeorar los efectos de las lluvias ácidas comprometiendo la diversidad de los ecosistemas en donde solo las plantas u organismos tolerantes pueden crecer y reproducirse con más facilidad (US EPA, 2018).

Por los efectos negativos que tienen en la salud la Organización Mundial de la Salud (OMS) ofrece Guías de la Calidad del Aire donde se recomiendan los límites permisibles de concentración del dióxido de nitrógeno, el dióxido de azufre, el ozono y el material particulado. Si bien es cierto cada país establece su propio estándar o normativas de calidad del aire según



sus propias disposiciones. Pero las guías brindadas por la OMS son un amplio conjunto de evidencias científicas en torno a la contaminación del aire y sus efectos en la salud. Según estas guías se tiene que las concentraciones de 24 horas para  $PM_{10}$  se recomienda no sobrepasar los  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y para  $PM_{2.5}$  no debe ser mayor a  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (World Health Organization, 2021). Según las actualizaciones dadas por la OMS se ha mostrado mucha más evidencia de los efectos de los contaminantes en la salud con concentraciones menores a las que se tenían en conocimiento. Por lo tanto, esta institución ha actualizado los límites permisibles volviéndose más estrictos que antes.

A partir de esta información se conoce que la urbanización Bosques de la Costa está experimentando un crecimiento rápido, lo que puede resultar en un aumento en la actividad industrial y de construcción. Esto, a su vez, puede contribuir a niveles significativos de emisiones de material particulado (PM) en el aire. La concentración de  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  en la atmósfera podría superar los límites recomendados por las regulaciones ambientales y organismos de salud (COSTA, L., 2020). El actual proyecto se manifiesta por la contaminación atmosférica que surgen por resultado de actividades humanas liberadas por una cantera que se dan cerca de las zonas residenciales. Es vital hacer un control o estudios de la calidad del aire para proteger el estado de salud de la población y el entorno ambiental. Desafortunadamente no existe información actual acerca de los contaminantes que llegan a la residencia y tampoco aquellos liberados por las carreteras y zonas productivas. Sin estudios previos, la comunidad no está consciente de los niveles de contaminación a los que están expuestos.

## **1.1. Problema**

### **1.1.1. Importancia y generalidad del problema para los sectores**

A lo largo de la Vía a la Costa se encuentran varias residencias las cuales se expanden conforme crece su población. Así mismo, muchas de estas se encuentran muy cercanas de industrias, zonas comerciales y entre ellos, canteras.

La marcada disparidad en el uso de suelo provoca tensiones entre las actividades creando conflictos como sucede en esta zona de Guayaquil en donde la diferencia y cercanía de las actividades representan un desafío (Bryan CIPAGAUTA, 2017). Tal como acontece, en la urbanización Bosques de la Costa, varios residentes han mostrado sus preocupaciones acerca de las actividades de la cantera, y cómo ésta afecta negativamente a los habitantes alrededor de la misma. Han testificado las “nubes de polvo” y detonaciones frecuentes cerca de las viviendas lo cual se ha convertido en un malestar reiterado e interminable para los usuarios (Diario Expreso, 2022). El polvo descrito por los residentes corresponde a material particulado liberado por la cantera, el cual según la Agencia de Protección Ambiental (EPA, en sus siglas en inglés) describe los efectos nocivos en la salud que provoca la exposición prolongada a partículas finas o material particulado. Entre estas destacan el incremento de problemas respiratorios, irritación de las vías respiratorias y reducción de las funciones pulmonares (EPA USA, 2018).

Asimismo, este problema se ha agravado a tal nivel de que los residentes de distintas urbanizaciones de la zona han manifestado que las actuales canteras afectan la biodiversidad de los bosques y comprometen la seguridad de las viviendas cercanas como consecuencia de las explosiones y el ruido que provocan las actividades mineras cercanas (Juan Carlos Holguin, 2023). Por lo tanto, resulta de vital importancia llevar a cabo un análisis exhaustivo de las concentraciones de material particulado, centrándonos específicamente en la Urb. Bosques de

la Costa, dado que es una de las zonas más afectadas por este contaminante. Es esencial determinar el nivel de concentración de partículas finas en la residencia con el fin de estimar las áreas más afectadas por la dispersión de polvo. Esto cobra especial relevancia considerando que, en esta zona residencial, donde reside una población de aproximadamente 1000 personas, se busca explorar soluciones alternativas que contribuyan a minimizar los posibles daños en la salud de los habitantes.

### **1.1.2. Alcance**

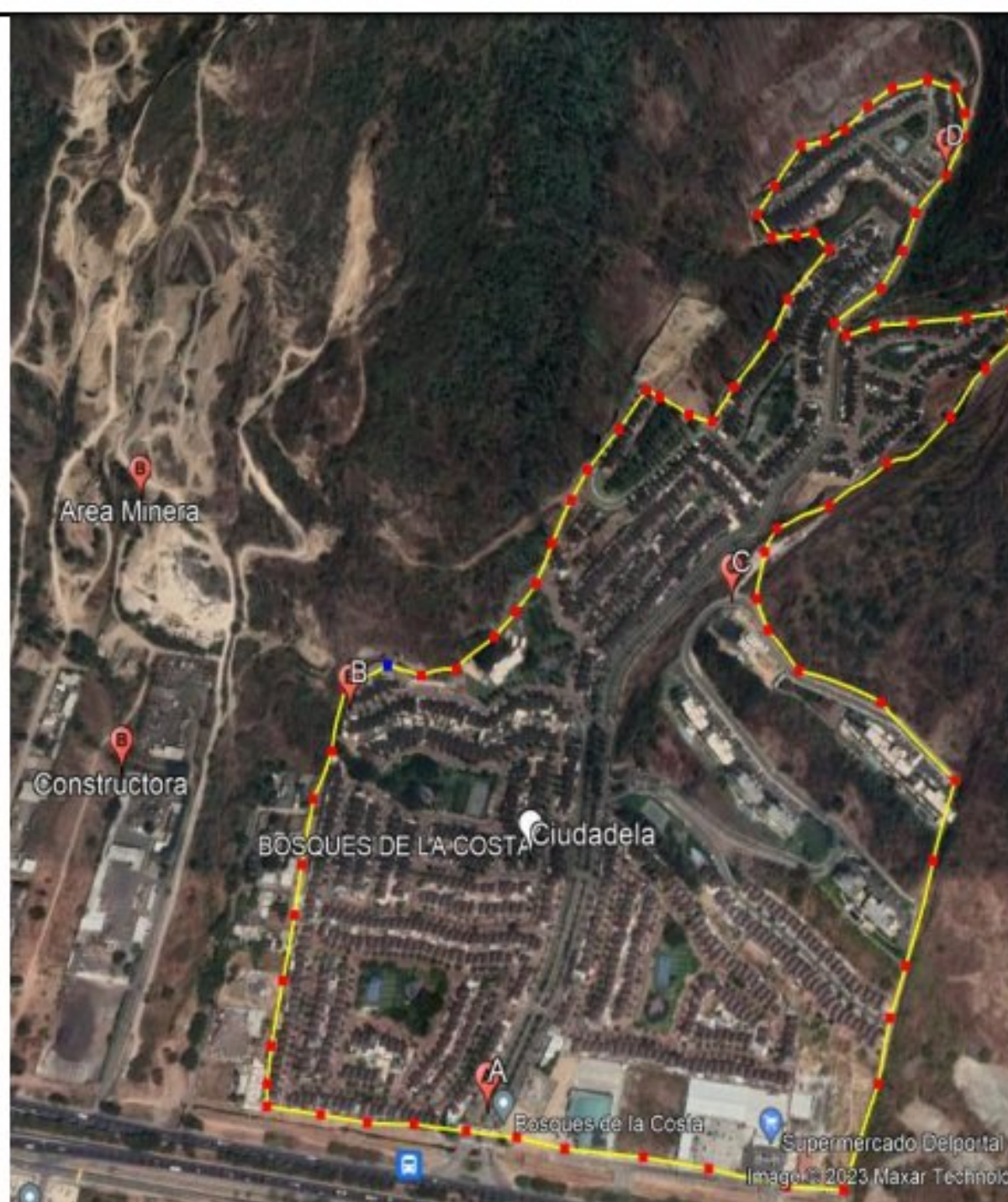
El presente proyecto pretende evaluar las concentraciones de partículas finas y el comportamiento de su dispersión en una zona residencial afectada por la propagación de polvo liberado por una cantera. Mediante la medición y representación de las concentraciones de material particulado  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  en 5 puntos clave de la urbanización. Por medio del uso y el software del sistema de información geográfica ArcMap se digitalizarán los datos obtenidos para ser visualizados. Para complementar este estudio los resultados serán validados por medio de un modelo estadístico básico lo cual ayudará a determinar si los valores obtenidos se encuentran fuera de la norma legal vigente. El monitoreo de partículas finas se llevará a cabo durante un período de tres semanas, abarcando tanto las horas de la mañana, tarde y noche. Esto se realiza con el objetivo de conseguir una representación integral y equiparable a un monitoreo continuo de 24 horas, permitiendo una evaluación más completa de la presencia de partículas a lo largo del día. Además, con la ayuda de datos provenientes de una estación meteorológica cercana se complementa el análisis del fenómeno en estudio.

## 1.2. Delimitación

### 1.2.1. Delimitación geográfica

En el presente trabajo se investigó en la ciudadela residencial Bosques de la Costa en el área urbana de Vía a la Costa, ciudad de Guayaquil, Ecuador.

**Figura 1:** *Área espacial delimitada*



*Delimitación sectorial: Norte de Guayaquil*

*Delimitación institucional: Urbanización privada*

**Elaborado por:** Victoria Cedeño Espinoza-**Fuente:** Google Earth

### 1.3. Pregunta de investigación

¿Los resultados de las concentraciones de material particulado PM10 y PM2.5 en la urbanización Bosques de la Costa superan la normativa nacional e internacional referentes a este parámetro?

#### **1.4. Objetivo general**

Evaluar los niveles de emisiones del material particulado PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> en la urbanización Bosques de la Costa, provenientes de una fuente fija por medio de herramientas especializadas para analizar la dispersión de los contaminantes durante horarios diurnos y nocturnos con la aplicación del software “ArcMap”.

#### **1.5. Objetivos Específicos**

- Identificar el sitio de mayor y menor influencia mediante visitas técnicas para designar los puntos clave de medición.
- Realizar las mediciones de material particulado con el contador de partículas para monitorear el nivel de contaminación.
- Evaluar los resultados del nivel de material particulado mediante un modelo de dispersión con el software “ArcMap”.
- Comparar los resultados obtenidos con la normativa legal nacional e internacional para determinar la contaminación por partículas en zona poblada.

#### **1.6. Hipótesis**

¿La cantera cercana a la zona residencial Bosques de la Costa cumple con los estándares nacionales e internacionales de la normativa aire ambiente y como está siendo afectada la calidad del aire en la ciudadela por el material particulado PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>?

#### **1.7. Hipótesis específicas**

- ¿Los niveles de material particulado cumplen con la normativa ecuatoriana vigente durante el horario nocturno y diurno?
- ¿Cuáles son los lugares de menor y mayor influencia de acuerdo con los puntos clave medidos?

- ¿Cómo las variables meteorológicas influyen en los resultados de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$ ?

## **2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **2.1. Concentraciones de $PM_{10}$ y $PM_{2.5}$ en Ecuador**

Problemas ambientales relacionados con la calidad del aire se presentan en Ecuador especialmente en las grandes ciudades como Quito, Guayaquil y Cuenca, ya que hay mayor concentración de población urbana y presencia de industrias manufactureras.

Para la investigación correspondiente se crearon mapas topográficos en donde se indica que la topografía del lugar es irregular lo cual influye directamente en el clima de la zona en estudio (DMQ et al. 2010). Se ubicaron más de 30 estaciones de monitoreo en donde se buscó obtener los datos de las valoraciones del suelo para cada radio de influencia y así realizar un análisis estadístico de las variables. Para un periodo de 5 años se tiene que hacia partículas finas se cuenta con una tendencia estable. Sin embargo, para  $PM_{2.5}$  las concentraciones sobrepasan los límites estipulados por la OMS, pero no la normativa legal nacional. Asimismo, para el  $PM_{10}$  este no sobrepasa en su mayoría los límites nacionales, pero tiene una tendencia creciente conforme a los años. En cada caso existen valores que sobrepasan los límites permisibles otorgados por la Norma de Calidad de Aire Ambiente lo cual nos indica una afectación a la calidad del aire.

Según el informe emitido por la Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) las partículas  $PM_{10}$  superaron la Norma Ecuatoriana de Calidad de Aire (NECA) en la mayoría de las ubicaciones y los niveles de  $PM_{2.5}$  en todas las estaciones de monitoreo excedieron los estándares para 2018 (Rodríguez-Guerra y Kuvé, 2019).

## 2.2. Concentraciones en el distrito Metropolitano de Quito

Estudios realizados en el Distrito de Quito, se basa en una metodología semejante con la investigación presente en la cual que explora de manera aproximada enfoques comparativos para la obtención de resultados. Este estudio analiza la contaminación atmosférica de diversos contaminantes como monóxido de carbono, ozono, material particulado y entre otros. Para la medición de las concentraciones de  $PM_{2.5}$  usaron el sensor de bajo costo llamado Sensirion del modelo SPS30. Tales sensores se basan en la difracción láser y el cálculo de algoritmos para tener el número y cantidad de masa de partículas para diferentes tipos de polvo (SOS Electronic 2018). Se designaron 5 puntos de monitoreo por cada estación. Dentro de los resultados para la medición de  $PM_{2.5}$  se encontró una correlación con la temperatura y la humedad relativa en donde se determinaron picos del parámetro junto con mayor temperatura. Lo cual indica que, a mayor temperatura, el error de las mediciones del sensor se incrementa. Asimismo, se registran picos en el error de las mediciones a medida que la humedad relativa disminuye (Guerrero, Rolando, Hidalgo, Javier, 2021). Para el análisis de datos, se consideró la metodología realizada en un estudio de Taiwán en donde se comparaban los resultados obtenidos por sensores de bajo costo junto con los valores dados por el sistema de monitoreo del gobierno. Esto es debido a que ambos resultados serán diferentes pero los sensores de igual manera servirán para disuadir la contaminación ilegal del aire en ciertas áreas y las personas conocerán la calidad de aire en sus residencias (Liang y Yu 2021). En cuanto al cumplimiento de la legislación ecuatoriana para  $PM_{2.5}$  se tiene que los límites permisibles no fueron sobrepasados en ninguno de sus dos estaciones, pero en cambio sí superan aquellos valores recomendados por la OMS. Además, se concluye que los valores de los sensores tienen una relación directa con los factores climáticos como temperatura y humedad relativa.

### **2.3. Emisiones de partículas gruesas y finas por empresas privadas en urbanización en la ciudad de Guayaquil**

Dentro del contexto de nuestra ciudad también se ha realizado una investigación dentro de los límites de Guayaquil lo cual permite realizar un análisis comparable con este proyecto debido a que se analiza a la urbanización Cumbres del Sol la cual se encontraba rodeada de empresas que guardan contenedores y sus actividades generan ruido y contaminación por material particulado. La residencia se ubica dentro de un uso de suelo mixto. En el respectivo estudio se realizaron monitoreos de ruido con el uso de un sonómetro al igual que la medición de las partículas  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  con la ayuda de un muestreador de bajo caudal. Para ello se determinaron 2 puntos de monitoreo para las mediciones de las partículas de polvo y solo un punto de muestreo para la medición de ruido. Para el primer punto de muestreo de  $PM_{10}$  obtuvieron un valor de  $47.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  mientras que para el monitoreo de  $PM_{2.5}$  en el punto 2 dio como resultado una concentración de  $17.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Guambo et al., 2022). Por lo tanto, para ambos resultados estos no se encuentran mayores a la norma ecuatoriana. Asimismo, se recalca que las condiciones climáticas influyen mucho en el resultado de las mediciones y estas fueron realizadas durante época de lluvia.

Sin embargo, para 2023 La Municipalidad de Guayaquil registro que para octubre de este año se reportaron 1.968 casos de infecciones respiratorias altas y quienes entran entre los pacientes son adolescentes y adultos (CIUDADANO, 2023).

### **2.4. Concentraciones $PM_{10}$ Colombia**

Se realizó un monitoreo de la zona en Ciudad Salitre, ubicado en el centro-occidente de Bogotá, Colombia, en un parqueadero, el cual tuvo una duración de 27 días donde se utilizaron equipos muestreadores para  $PM_{10}$  que deben estar ubicados a una altura de 3 metros.



En la metodología utilizada requirió medir con gravimetría las concentraciones de  $PM_{10}$  junto con el uso de cálculos para hallar los niveles del contaminante en unidades de  $\mu g/m^3$ . Para el contaminante  $PM_{10}$  en la normativa colombiana se permite hasta una concentración de  $75 \mu g/m^3$  durante la exposición de 24 horas. También se demostró una tendencia del número de consultas realizadas para las enfermedades respiratorias fue mayor en el 2021 que en el 2020 con una diferencia de 16 consultas de incremento. Con la ayuda de la realización de una rosa de vientos se pudo identificar que una cantidad de partículas contaminantes son transportadas desde el noreste de Fontibón con una velocidad de 5 a 7 m/s. Por último, también se identificó las enfermedades respiratorias reportadas en donde la rinofaringitis aguda fue la más consultada y en el puesto número 2 está el COVID para el 2020. Para el 2021 la bronquitis aguda estuvo en el puesto 2 después del COVID (D. Tirado, et al., 2022).

## **2.5. Normas nacionales e internacionales**

La Constitución del 2008 del Ecuador garantiza el derecho a vivir en un entorno equilibrado y sano para lo cual la calidad del aire se encuentra incluida dentro de la política pública la cual presenta sus primeras políticas en torno a la gestión ambiental. Continuamente se realizaron modificaciones y una de ellas incluye a la Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire Ambiente. La cual busca gestionar correctamente el ambiente para proteger los recursos naturales y la salud (MAATE 2010 p3).

Las legislaciones tanto internacionales como locales tienen el objetivo de encontrar la concordancia entre el desarrollo social de las políticas públicas (Observatorio de la Sostenibilidad en España, 2007). Es por esa razón que en la tabla se han incluido los límites implementados por organismos internacionales como la Organización mundial de la salud (OMS) y la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos para poder

establecer una comparación entre los límites permisibles de cada institución. Las políticas ambientales buscan identificar el sector que presenta un mayor deterioro en el aire la cual debe considerar el bienestar, calidad de vida y la eficiencia ambiental (M. Jiménez 2009).

**Tabla 1.** *Valores de los límites máximos permisibles permitidos en la Norma de Calidad de Aire Ambiente Organización Mundial de la Salud(OMS)-Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA)*

Contaminante	Valor Máximo		Unidades	Periodo de medición
	OMS	EPA		
PM2.5	15	35	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Promedio de todas las muestras colectadas en 24 horas.
PM10	45	150	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Promedio de todas las muestras colectadas en 24 horas.

## 2.6. Norma Calidad del Aire Ambiente

Esta norma es de carácter técnico el cual tiene como propósito la preservación del bienestar y calidad del aire para los diferentes ecosistemas de manera general. De tal manera que tienen la competencia para establecer los valores permisibles de los contaminantes criterio y seguidamente establecen los procedimientos para el monitoreo de las zonas donde existen estaciones de monitoreo instaladas (Acuerdo No 61 REFORMA DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA 2015). Para la presente investigación se tomó en cuenta los límites de exposición de 24 horas.

**Tabla 2.** Valores de los límites máximos permisibles permitidos en la Norma de Calidad de Aire Ambiente Nacional.

Contaminante	Valor Máximo	Unidades	Periodo de medición
PM2.5	50	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Promedio de todas las muestras colectadas en 24 horas.
	15	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Promedio de todas las muestras colectadas en 1 año.
PM10	100	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Promedio de todas las muestras colectadas en 24 horas.
	50	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Promedio de todas las muestras colectadas en 1 año.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Área de Estudio

El área de estudio se encuentra ubicado en la urbanización Bosques de la Costa con un perímetro de aproximadamente 4 485 metros y área de 574 449 metros cuadrados. Tal como se ha demostrado en la imagen se han marcado 5 puntos clave donde se realizarán las mediciones día y noche hasta cumplir con los 12 días de monitoreo en total.

*Duración de las mediciones:* 3 semanas de lunes a viernes durante el mes de enero del 2024.

**Total:** 15 días de monitoreo.

*Duración del muestreo y monitoreo:* 3 semanas

*Días representativos:* Martes a Jueves. Total:9 días

### **3.2. Población y muestra**

Para la investigación se consideró como población a la urbanización Bosques de la Costa con un número de habitantes de aproximadamente 1000 personas.

Dentro del área de estudio se determinaron 5 puntos clave para la medición siendo los más representativos de la zona por las características de la ubicación. El primer punto corresponde a la entrada de la ciudadela; el segundo se lo encuentra en un lugar muy cercano a la cantera; el tercer punto está influenciado por edificios que servirían como barrera contra los contaminantes; el cuarto punto es el sitio más alejado de la cantera y se encuentra dentro de una zona topográficamente irregular; y el quinto es el punto medio escogido para garantizar una mejor representación gráfica.

Para el monitoreo se registraron 3 valores por cada punto de monitoreo en el horario determinado. Es decir, se realizaron tomas de martes a viernes por 3 semanas con 5 puntos de monitoreo en donde se realizaron mediciones en los horarios diurnos y nocturnos específicamente a las 9:00 am, 14:00pm, y 23:00 pm. Durante cada medición se hicieron 3 repeticiones para luego calcular su promedio y tener resultados más representativos. Por último, el único equipo que se usó fue el Contador de Partículas CEM/DT9881.

### **3.3. Variables**

Independiente: Material Particulado

Dependientes: El comportamiento de la dispersión del material particulado

Dentro de un estudio de campo, existen muchas variables a considerar las cuales tienen una influencia en el comportamiento de los datos. Para la investigación consideramos a la

variable independiente como el material particulado y sus niveles de concentración. Mientras que la variable dependiente es la dispersión del contaminante debido a que el transporte del contaminante depende de varios factores que toman lugar como las condiciones meteorológicas y las condiciones topográficas las cuales definirán el comportamiento de la dispersión de partículas lo que nos daría el resultado final de la identificación de los sitios más afectados por este contaminante.

Dentro de la investigación se consideraron las siguientes variables meteorológicas fundamentales para el análisis de la naturaleza del contaminante.

**Tabla 3.- Características de los factores meteorológicos en enero-Guayaquil.**

<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>
Temperatura	Durante el mes de enero en Guayaquil las temperaturas máximas van entre 30 °C hasta 34 °C, pero rara vez se encuentran debajo de los 22 °C. Las temperaturas mínimas oscilan de los 22°C a 24 °C (Atlas, 2024).
Viento	Para la costa sur los vientos se caracterizan por ser irregulares especialmente Guayaquil se ve influenciado por el mar, pero los vientos llegan a ser menores a 3 m/s (INOCAR, 2007).
Precipitación	En la estación meteorológica de Puerto Hondo se registró una precipitación de 119.7 mm para el mes de enero. Se consideran normales las precipitaciones que pueden llegar hasta 194.7 mm (INOCAR, 2021).
Humedad	Durante el mes de enero el porcentaje de humedad suele estar por 50% en el día y 95% en los días lluviosos.

### 3.4. Recopilación de datos

**Tabla 4.** Selección de puntos de monitoreo

Puntos de monitoreo	Ubicación	Coordenadas	
		Latitud	Longitud
A	Entrada (Garita principal) de la urbanización Bosques de la Costa	9758488.00 m S	614542.00 m E
B	Punto más cerca de la cantera (mayor afección posible)	9758919.23 m S	614334.67 m E
C	Punto de relieve (Localización de los edificios departamentales)	9759018.00 m S	614814.00 m E
D	Punto de relieve (Barrera natural que obstaculiza los contaminantes)	9759587.00 m S	615088.00 m E
E	Punto medio para garantizar una interpolación más precisa	9759121.00 m S	614799.00 m E

Elaborado por: Alvarado y Cedeño

El tipo de muestreo utilizado para la selección de los puntos de medición fue por el muestreo aleatorio simple en donde se escogieron los lugares de las tomas en base a la su relevancia según la perspectiva de los autores de la investigación. A continuación, se

muestran los puntos de medición en el siguiente mapa elaborado con el software ArcMap 10.8.

**Figura 2:** *Ubicación de puntos de muestreo*



**Elaborado por:** Victoria Cedeño con ArcMap 10.8



### **3.5. Metodología**

#### **3.5.1. Uso del Contador de Partículas**

Los datos recolectados se obtuvieron usando el Contador de Partículas CEM/DT9881. Este equipo ya estaba calibrado por un laboratorio acreditado bajo la norma ISO 17025. Se va al punto donde se escogió tomar la muestra, se coloca el contador a una altura de más de 1.50 m del suelo y se enciende, la medición debe realizarse sin agitar el equipo. El equipo se manipuló de la siguiente manera, se presiona el botón de RUN/STOP para iniciar la detección el cual medirá las concentraciones durante un tiempo determinado y automáticamente se detendrá., este ya tiene un temporizador que se puede configurar según el tiempo que se requiera, cuando este acaba se revisan los datos de  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  que recolectó y se la registra en una hoja de registro, tiene un tiempo programado de 10 segundos para tomar una segunda medición automáticamente, cada medición se realizó de 2 a 3 repeticiones para mayor precisión.

#### **3.5.2. Mediciones**

Para la toma de muestra se clasificaron en dos principales tamaños de partícula las cuales son  $PM_{2.5}$  Y  $PM_{10}$ . Para las cuales se hicieron mediciones durante el horario nocturno y diurno durante 4 días de la semana en otras palabras de martes a viernes durante las 9 am para luego continuar las mediciones a las 14:00 pm continuando las mediciones a las 17:00 pm y culminando el monitoreo a las 23:00 pm. Se realizaron 3 repeticiones por cada toma por punto de medición para obtener una mejor representación promedio de los datos aumentando su factibilidad al reducir el error de los datos obtenidos. El monitoreo en total dura un periodo de 3 semanas en donde se monitoreo 4 días seguidos de la semana.

**Tabla 5:** Cronograma de la toma de mediciones para material particulado.

	Actividad	Hora	Tiempo		
			1 mes		
			<i>1era semana</i>	<i>2da semana</i>	<i>3era semana</i>
1	Toma de muestras en la mañana	9:00:00 AM	X	X	X
2	Toma de muestras en la tarde	14:00:00 PM	X	X	X
3	Toma de muestras en la noche	23:00:00 PM	X	X	X

Elaborado por: Alvarado y Cedeño

### 3.5.3. Depuración de Datos

Dentro de la depuración se ha realizado un análisis de los datos recolectados de todos los días y se consideró solo trabajar con las recopilaciones de los días martes, miércoles y jueves de cada semana ya que el resto se los evaluó y catalogó como de menor variación en comparación con los otros días.

### 3.5.4. Datos Meteorológicos

Las condiciones del tiempo durante los monitoreos tienen una relación fuerte con los niveles de material particulado y la dispersión de este. Por lo tanto, se han obtenido los datos meteorológicos necesarios de una estación ubicada en las coordenadas 606367.00 m E y 9757236.00 m S UTM a 8.26 km de la zona de estudio. Estos datos complementan nuestra comprensión y análisis acerca del comportamiento de los niveles de material particulado determinando su influencia en el transporte de los contaminantes. De tal manera que podremos

determinar si el grado de contaminación por material particulado en la zona de estudio aumenta o disminuye según las variables meteorológicas dadas por el entorno.

### **3.5.5. Análisis estadístico**

El análisis estadístico estudia la relevancia que existe en el comportamiento de los resultados. Mediante el cálculo estadístico de los niveles de concentración de los contaminantes se puede determinar el porcentaje de error e índice de correlación de los datos. Mediante el software RStudio, se determinó la correlación de los factores climáticos de temperatura, humedad, dirección y velocidad del viento. Con la herramienta de importación de los datos en Excel, se ejecutó un código con la función de `pairs_panel(data2)`, se obtuvo la relación de las variables con las concentraciones de material particulado en promedio de las 24 horas para el miércoles de la semana 3. Momento donde se encontraron anomalías en las mediciones. Seguidamente, se implementó un código con la función `summary()` para obtener el promedio, los cuartiles, y los niveles mínimos y máximos para las concentraciones del PM2.5 y PM10. Asimismo, se realizaron los mismos cálculos para los datos correspondientes a la noche del miércoles de la semana 3; junto con las mediciones del punto D realizados en ese momento, en el cual se hallaron niveles extremos. Por último, se usó el ONE SAMPLE t-test para determinar la relevancia de los datos con el cálculo del valor de p y la hipótesis alternativa que concluye conforme al conjunto de datos para los contaminantes.

### **3.5.6. Representación de datos**

#### **3.5.6.1. Interpolación IDW-modelo de dispersión**

Para visualizar los datos de manera gráfica se realizó el método de interpolación IDW-INVERSE DISTANCE WEIGHTING en ArcMap a partir de una capa de puntos. Este método se encarga de modelar una superficie de tipo ráster por medio de una interpolación de puntos

IDW. En el cual hay un valor de salida para las celdas que usan la distancia inversa ponderada limitando a un rango de datos determinado para la interpolación. La IDW calcula un promedio de la distancia ponderada, pero tiene la condición de que aquel promedio no puede ser menor que la entrada mínima o mayor que la entrada máxima. La interpolación con este método se realiza por medio de una combinación ponderada linealmente de un grupo de coordenadas, La superficie interpolada presenta los cálculos de manera que muestra como si la variable representada cartográficamente disminuye su influencia mientras exista más distancia desde la ubicación de la muestra. Ya que un modelo de dispersión, como indica su nombre describe con precisión la dispersión de los contaminantes en el espacio y en el tiempo, es por ello que esta modelación es la más precisa para graficar los puntos de mayor concentración de material particulado al igual que la identificación de los puntos más bajos. La ecuación con la que se maneja este método de interpolación para su predicción es la siguiente:

$$Z(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n w_i * Z_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

- Donde  $Z(x, y)$  hace referencia al valor que se busca en la ubicación  $x, y$  de interés, en este caso  $x, y$  se representan en coordenadas UTM.
- $n$  es la cantidad de puntos conocidos en la muestra, en este caso de estudio tenemos 5 estaciones.
- $Z_i$  es el valor que se le desea colocar en el punto de referencia  $i$ , al nosotros evaluar las emisiones de material particulado (PM), aquí colocamos el valor de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  respectivamente para cada representación.
- $w_i$  es el peso asignado al punto de referencia  $i$ , generalmente este utiliza la inversa de la distancia entre el punto de interés y el punto de referencia, para sacar el valor se utiliza la siguiente formula:

$$w_i = \frac{1}{d_i^p}$$

- $d_i$  es la distancia entre el punto de interés y el punto de referencia  $i$ , a medida que aumenta la distancia, las ponderaciones disminuyen rápidamente.
- $p$  es un parámetro de potencia que controla la influencia relativa de los puntos de referencia en la estimación. Se le puede designar cualquier valor a  $p$  según la naturaleza de los datos y el problema, sin embargo se recomienda usar  $p = 2$ .

Con este método se determinarán las zonas mayor o menor afectadas por la dispersión del material particulado dentro del área de estudio las cuales serán clasificadas e identificadas en rangos de colores. Asimismo, dentro del software ArcMap se realizó una simulación de la dispersión de los contaminantes durante diferentes periodos de tiempo en base a los resultados dados.

### **3.5.6.2. Validación del modelo de dispersión (IDW)**

Para nuestra modelación de dispersión, al utilizar la interpolación IDW, ArcGIS maneja una licencia llamada Geostatistical Analyst que a su vez tiene un apartado llamado Geostatistical Wizard, manejó la siguiente formula:

$$y = mx + b$$

- $y$  es nuestra variable dependiente que tratamos de predecir, lo que en el este caso de estudio serían las concentraciones de material particulado  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  respectivamente.
- $x$  es nuestra variable independiente lo que en este caso representaría la posición en el espacio geográfico.

- $m$  es la línea de regresión, la que nos representa la tasa de cambio de la variable dependiente cuando la variable independiente es 0.
- $b$  es el termino constante, que es el valor esperado de la variable dependiente cuando la variable independiente es 0.

La aplicación del Geostatistical Wizard en ArcGIS realiza este análisis de regresión lineal para modelar la tendencia espacial en los datos y generar predicciones de ubicaciones no muestreadas en función de la posición espacial.

## 4. RESULTADOS

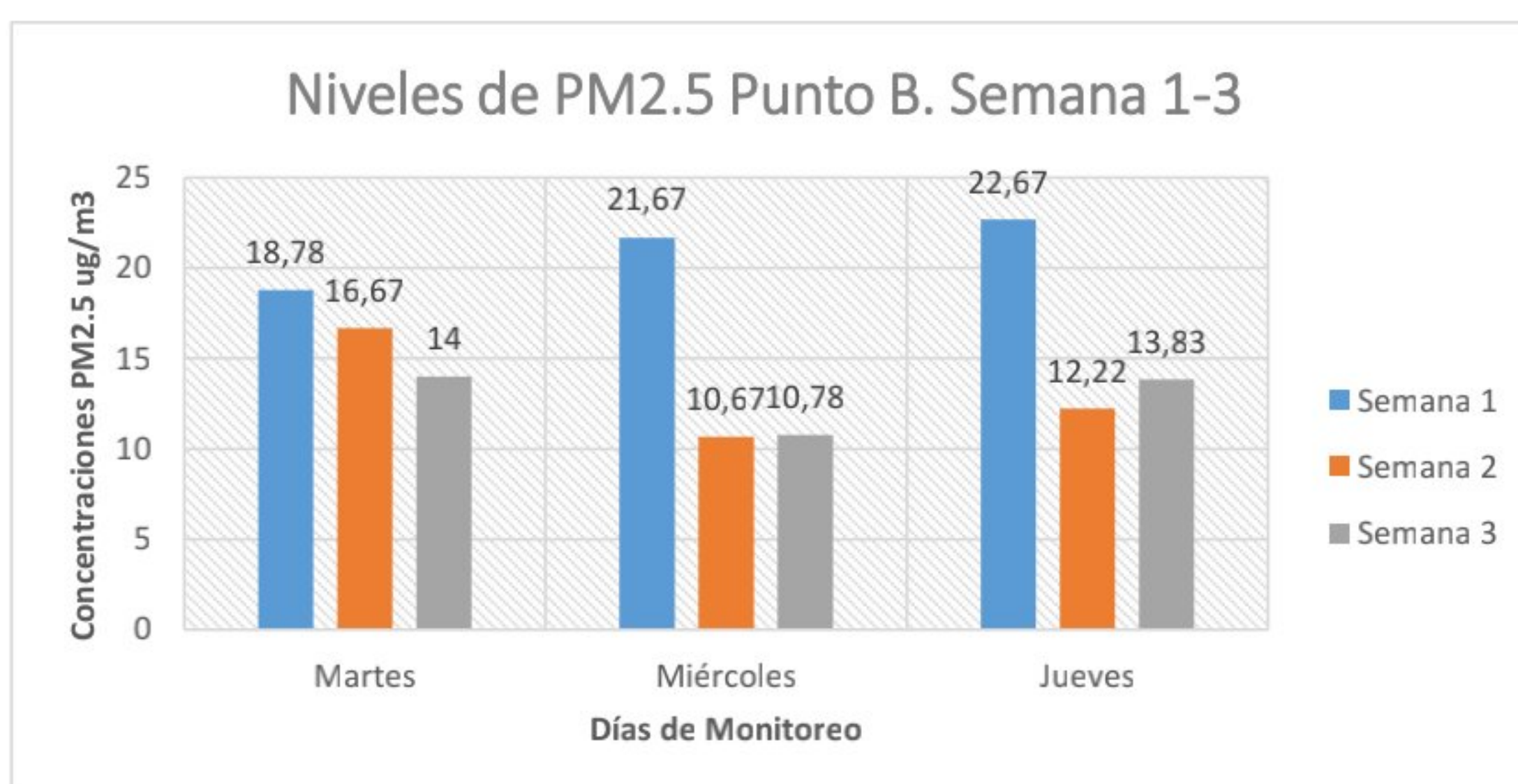
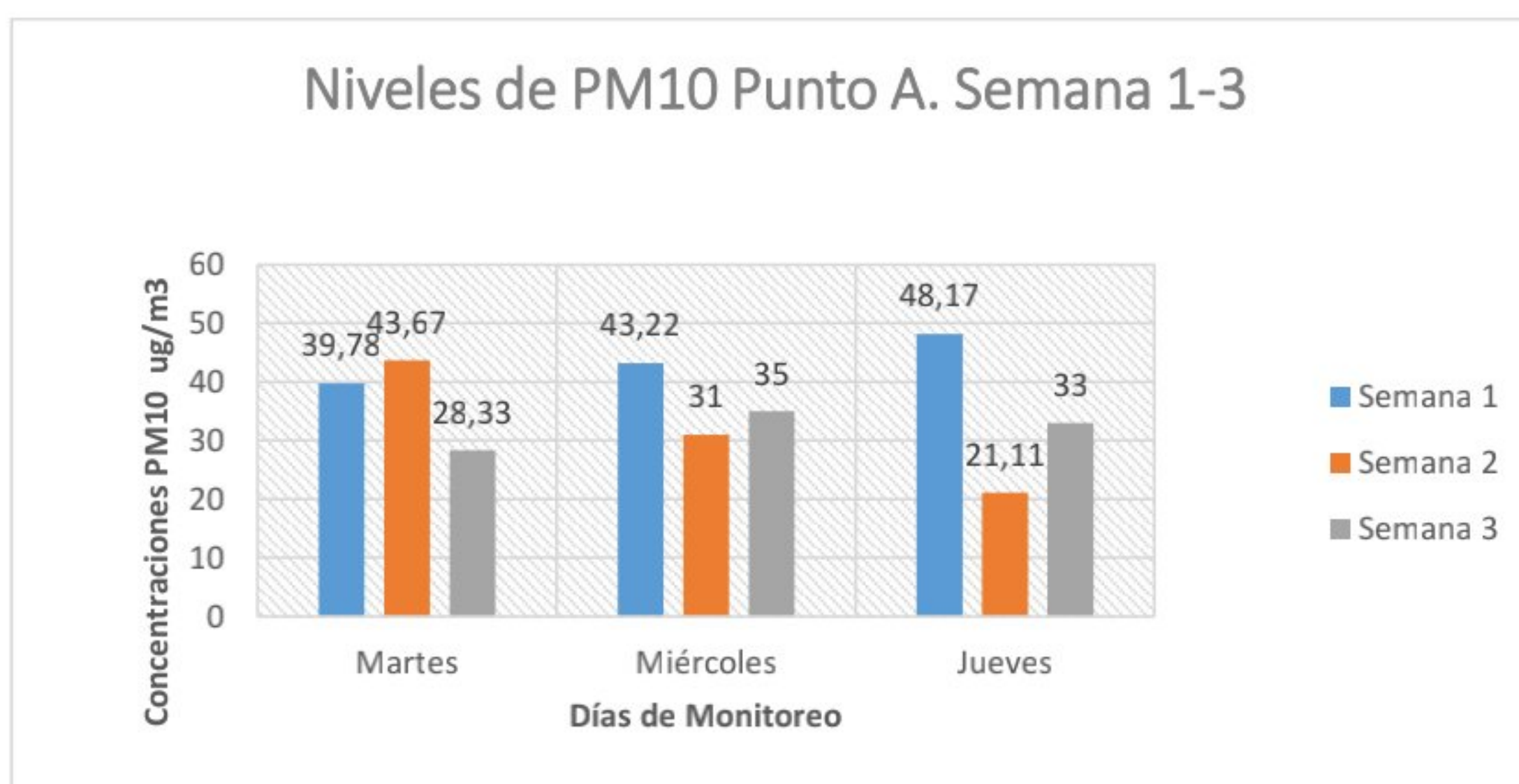
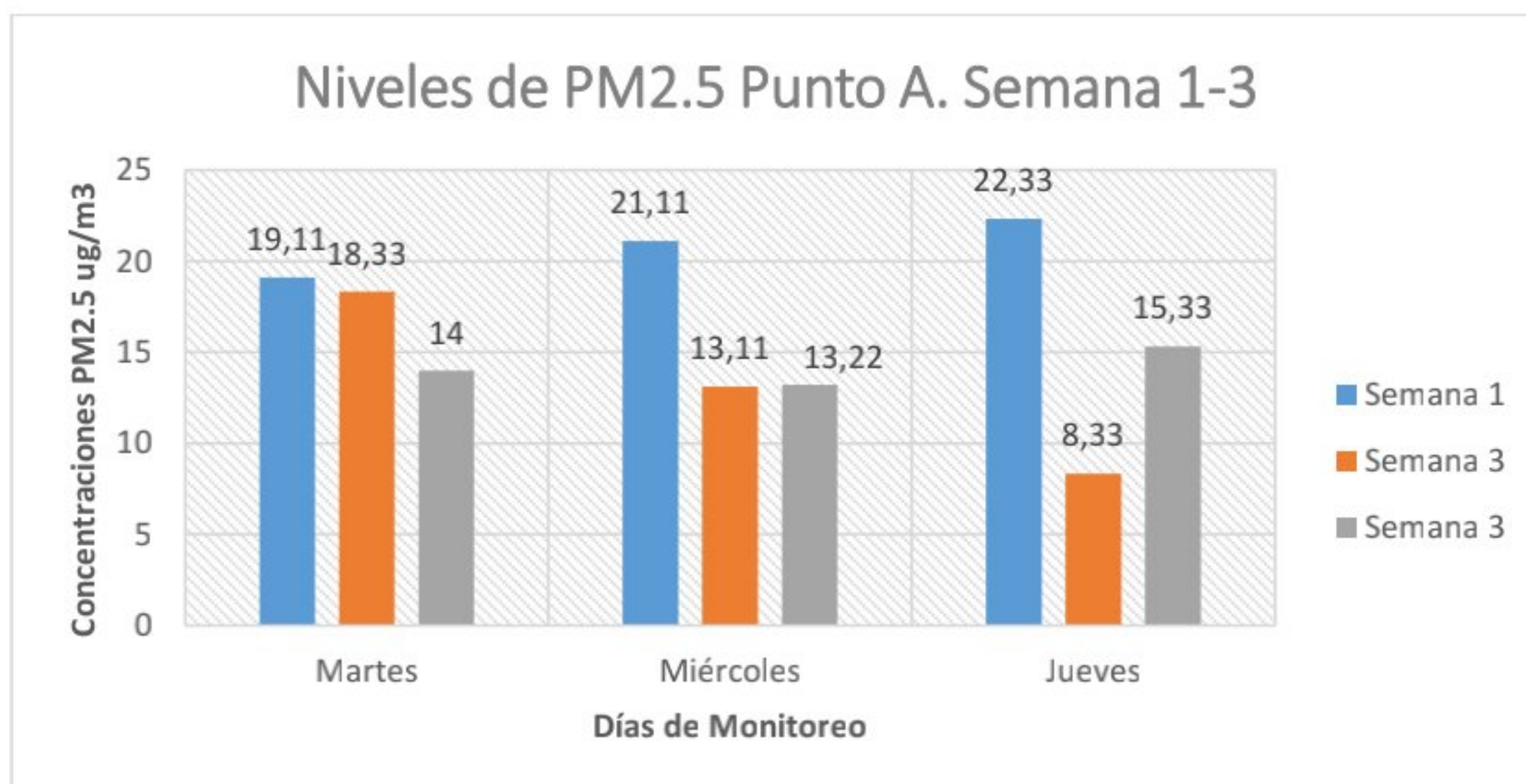
### 4.1. Presentación y Análisis de los datos

**Tabla 6:** Concentraciones de promedios de  $PM_{2.5}$  Y  $PM_{10}$  en los puntos de muestreo por semana.

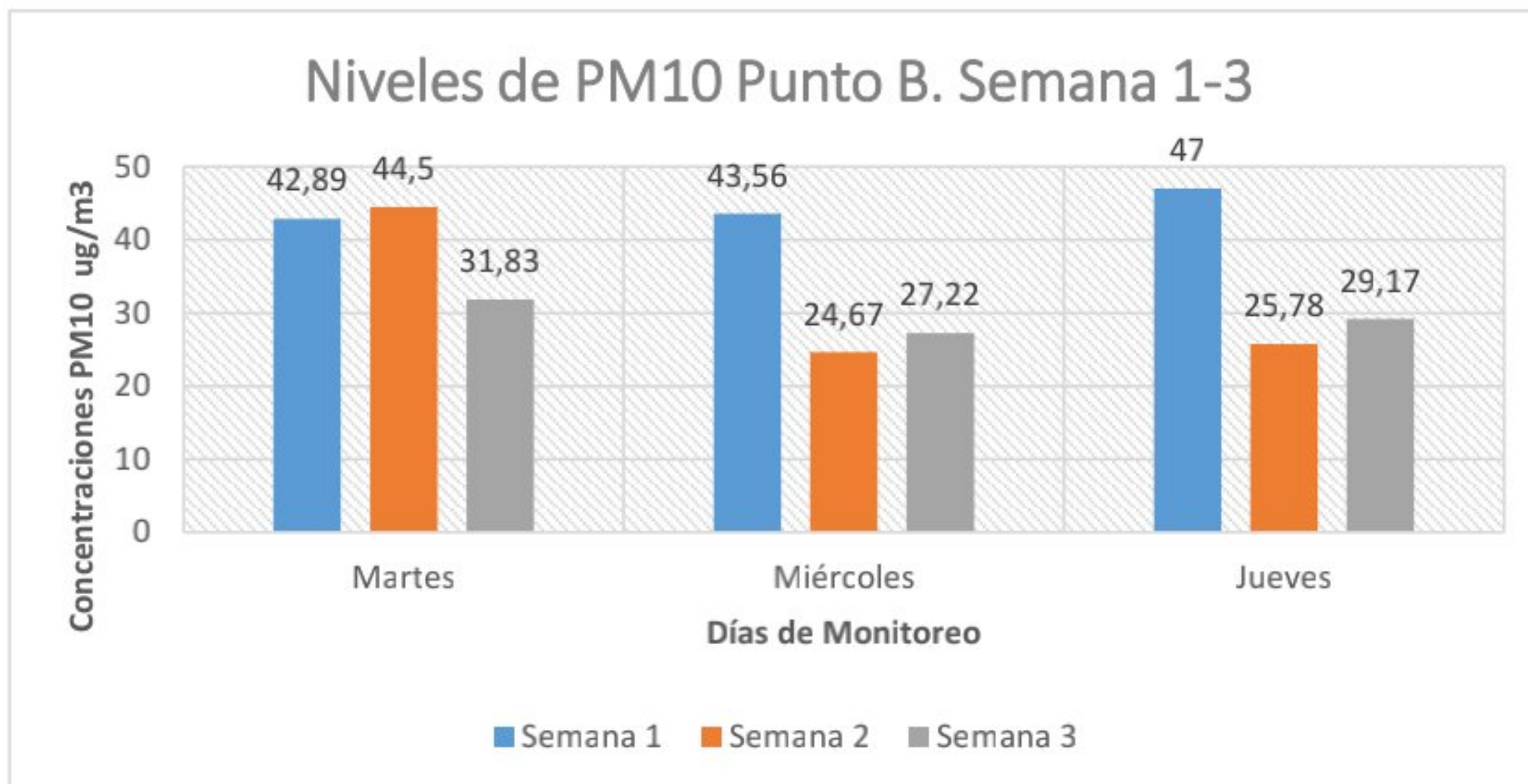
Semana	Puntos	UTM X	UTM Y	PM 2.5			PM 10			Unidades
				Martes	Miércoles	Jueves	Martes	Miércoles	Jueves	
1	A	614542.00	9758488.00	19.11	21.11	22.33	39.78	43.22	48.17	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	B	614334.00	9758919.00	18.78	21.67	22.67	42.89	43.56	47.00	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	C	614814.00	9759018.00	17.89	24.67	21.33	39.78	51.56	41.67	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	D	615088.00	9759587.00	20.33	27.67	23.00	48.22	59.56	46.17	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	E	614799.00	9759121.00	17.33	25.00	22.50	39.67	50.33	41.00	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
2	A	614542.00	9758488.00	18.33	13.11	8.33	43.67	31.00	21.11	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	B	614334.00	9758919.00	16.67	10.67	12.22	44.50	24.67	25.78	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	C	614814.00	9759018.00	17.17	11.78	8.67	45.00	30.78	19.78	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	D	615088.00	9759587.00	17.33	16.56	9.89	43.00	43.11	22.11	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	E	614799.00	9759121.00	16.50	15.00	9.00	45.50	40.33	20.67	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
3	A	614542.00	9758488.00	14.00	13.22	15.33	28.33	35.00	33.00	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	B	614334.00	9758919.00	14.00	10.78	13.83	31.83	27.22	29.17	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	C	614814.00	9759018.00	13.50	12.67	13.17	24.00	36.11	25.00	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	D	615088.00	9759587.00	15.83	17.56	16.33	33.83	49.78	30.00	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	E	614799.00	9759121.00	14.00	12.33	13.50	27.00	33.00	24.00	$\mu\text{g}/\text{m}^3$

Elaborado por: Alvarado y Cedeño

**Gráfico 1:** Representación gráfica de los niveles de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  para cada punto de muestreo.





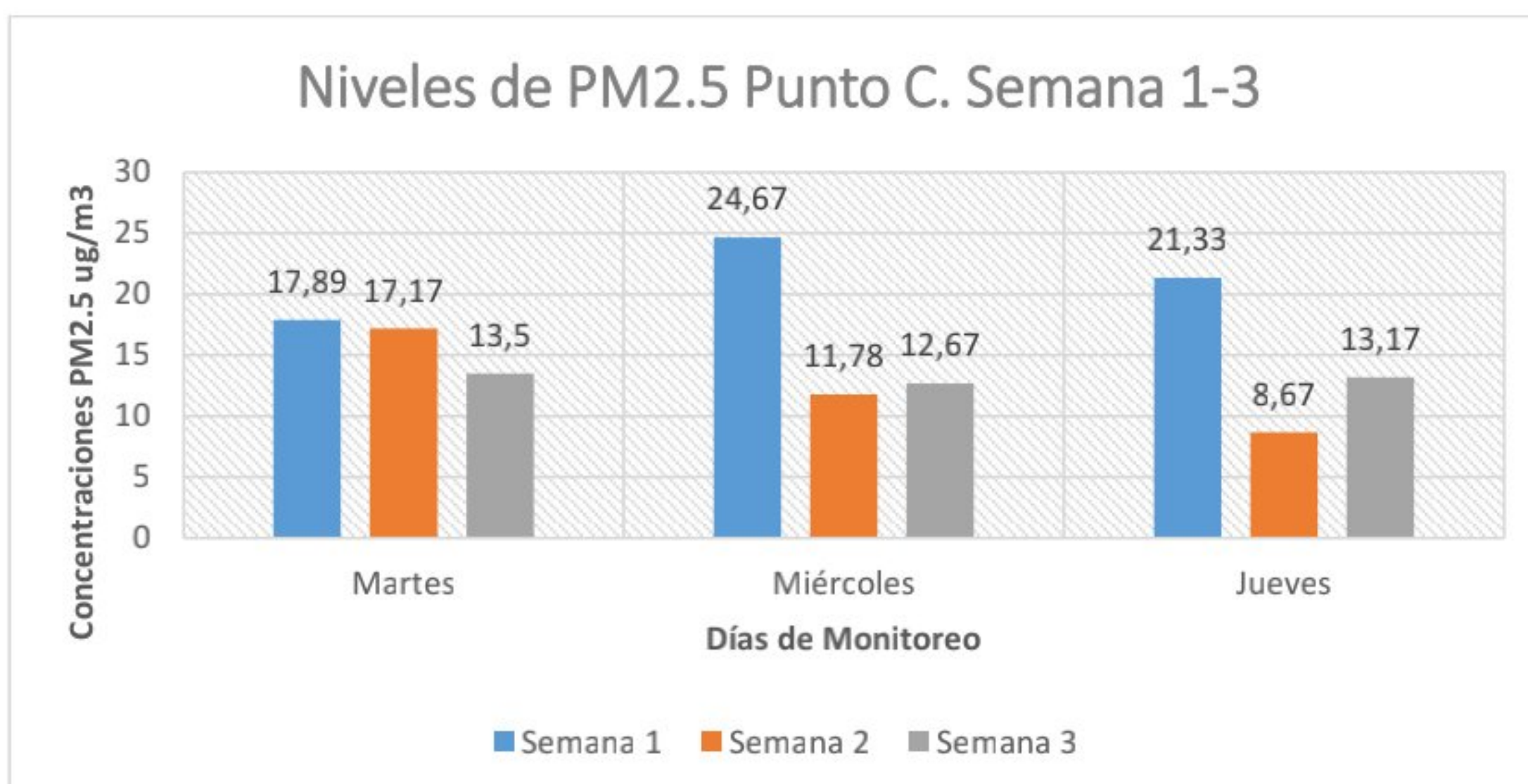


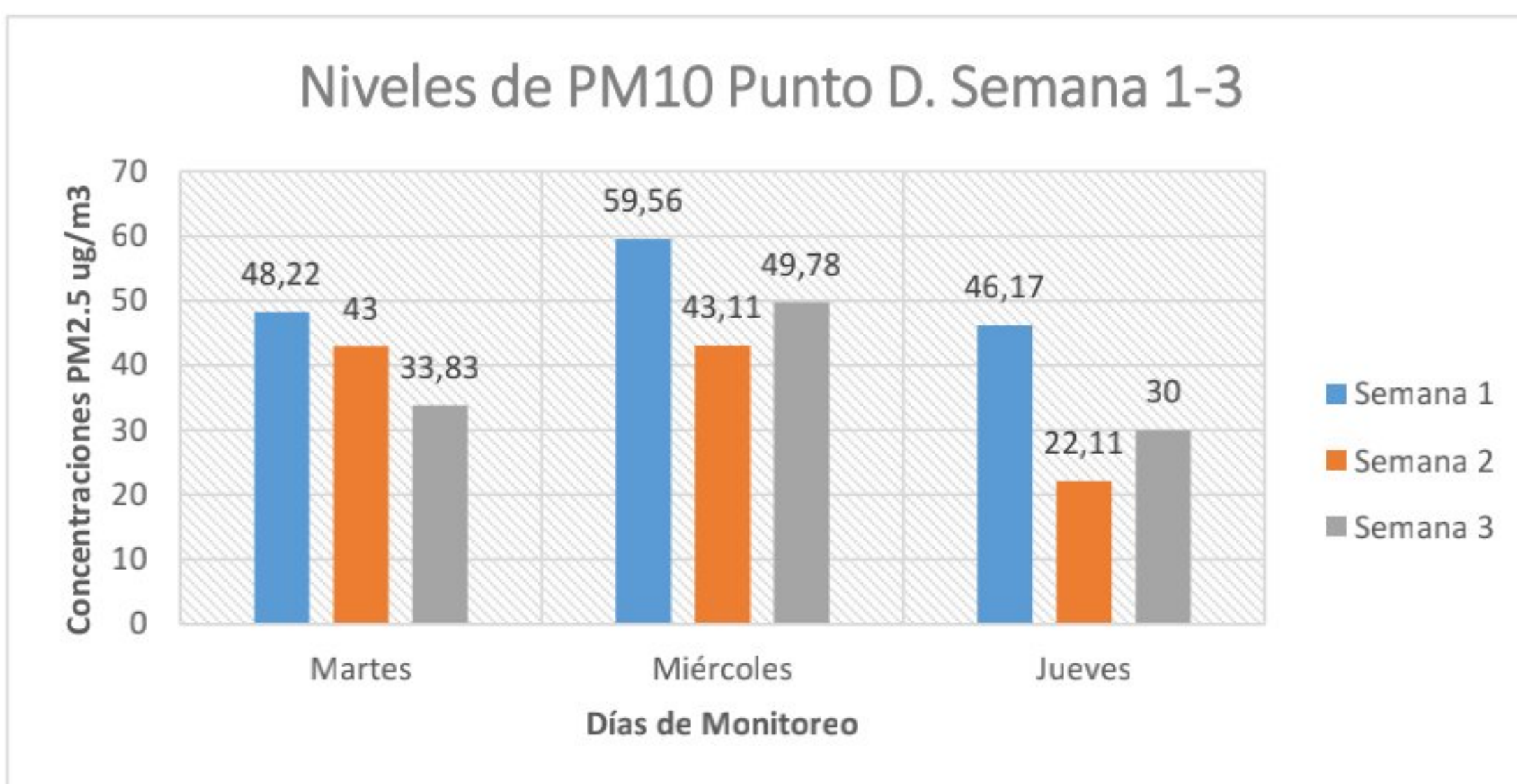
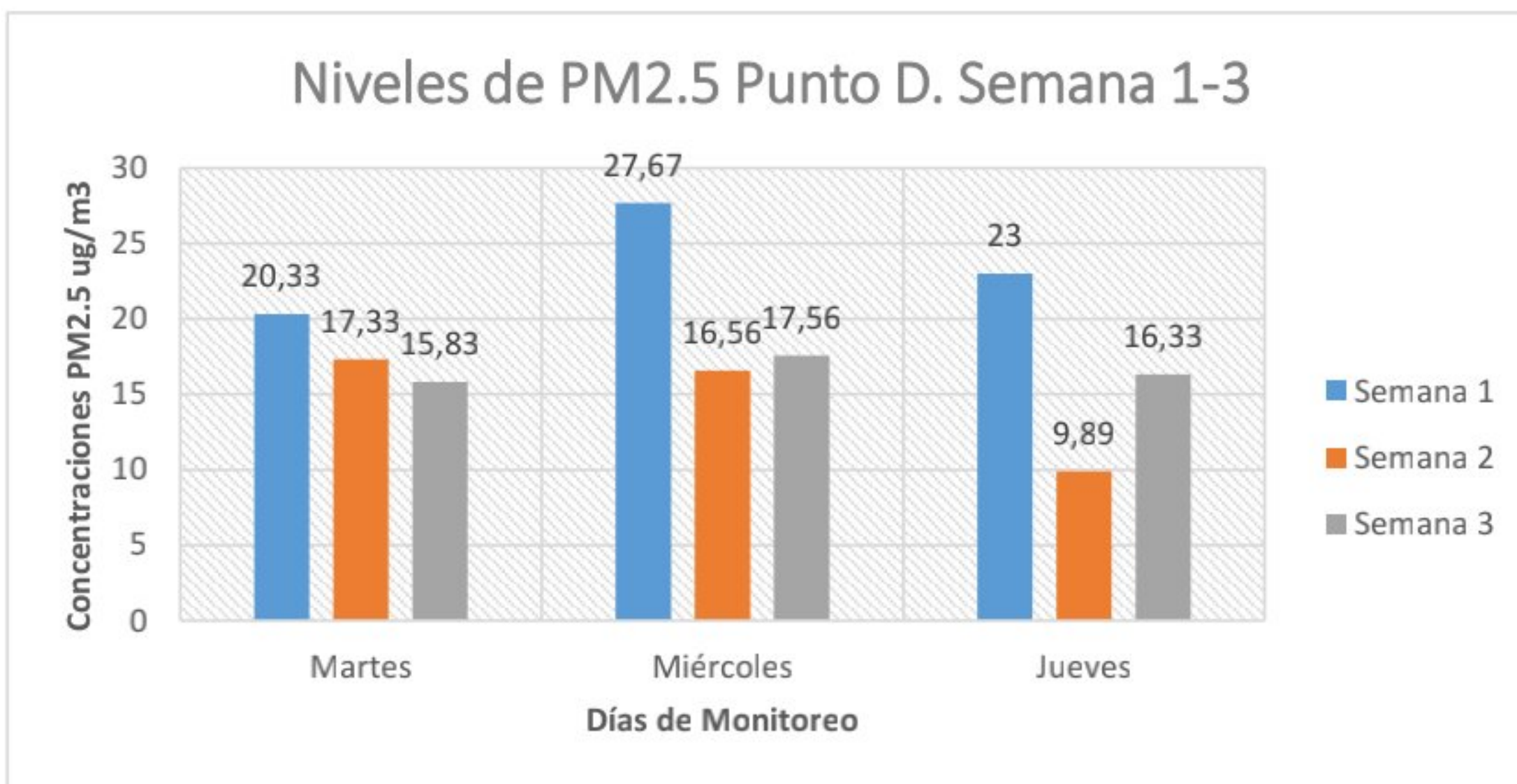
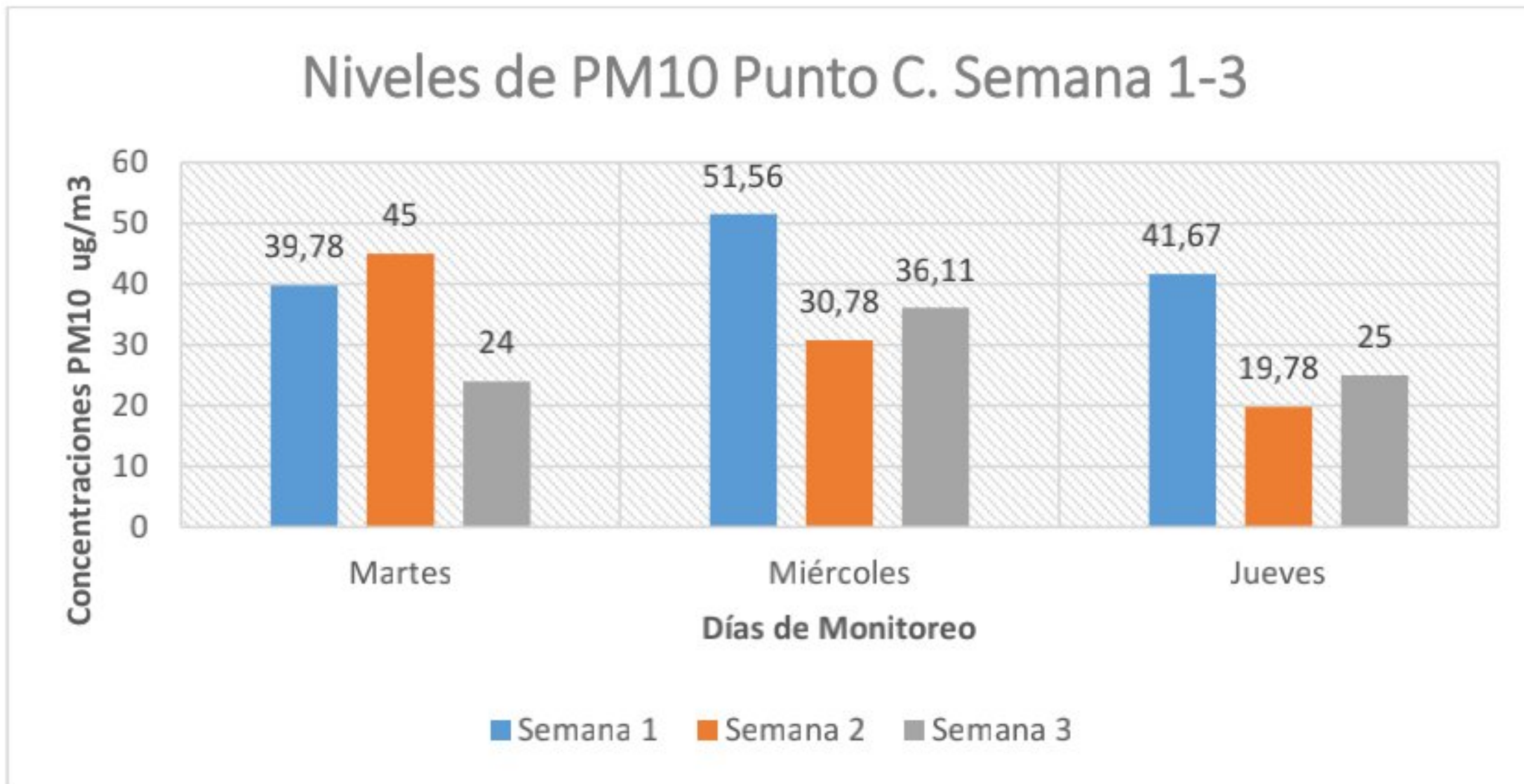
Elaborado por: Alvarado y Cedeño

Para representar mejor los resultados obtenidos se realizaron gráficos de barra en donde se muestran los niveles que existen en cada punto durante las 3 semanas. Aquí podemos destacar las estaciones A y B en donde en la semana 1 se observan niveles más altos que en las semanas posteriores.

Aunque los niveles varían un poco existe una tendencia los miércoles y jueves durante las semanas 2 y 3 los niveles de material particulado son menores que aquellos obtenidos en los días martes y aquellos medidos durante la semana 1.

**Gráfico 2:** Concentraciones de PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> para los puntos C y D durante las 3 semanas.

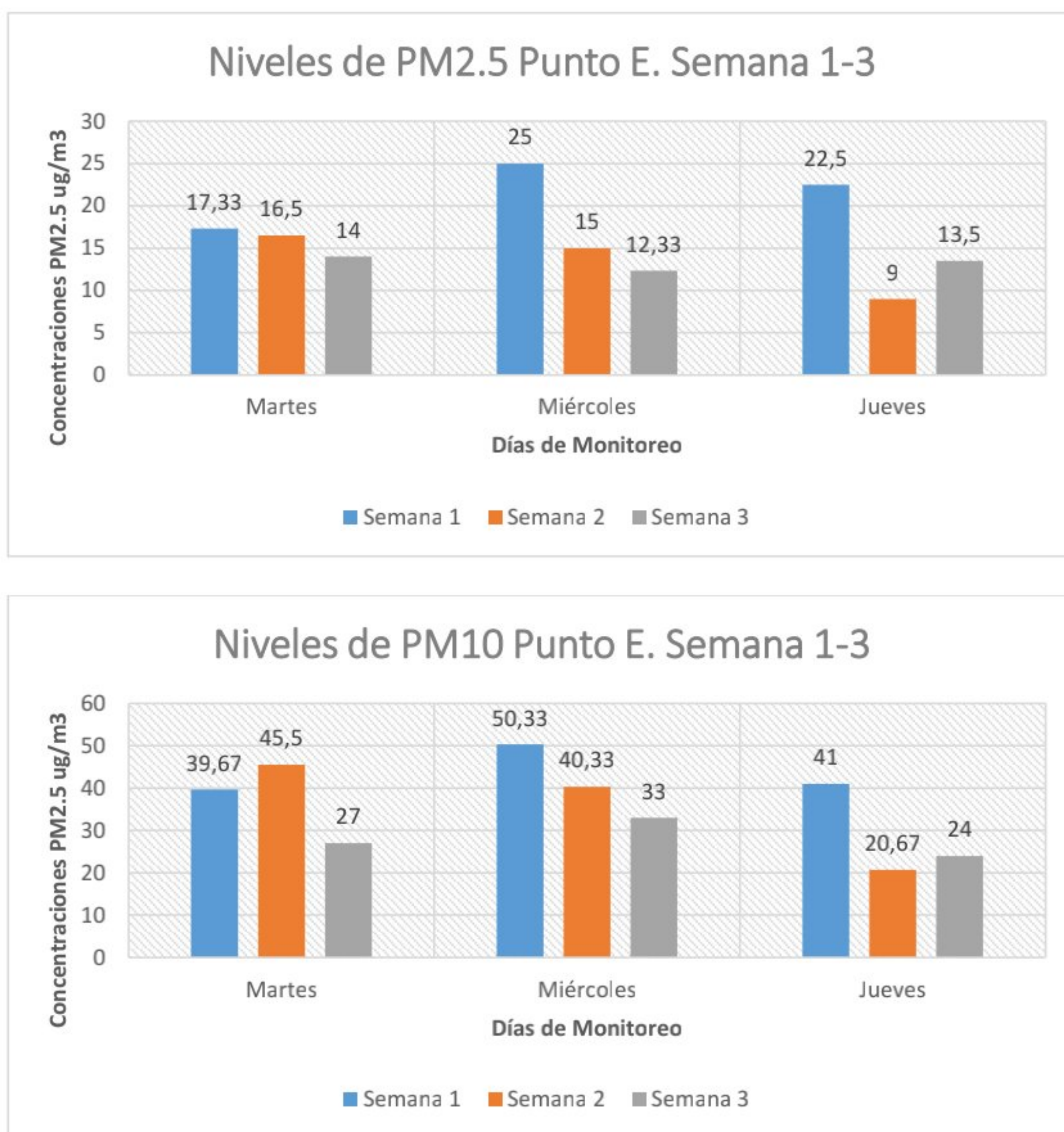




Elaborados por: Alvarado y Cedeño

En el gráfico 2 se presentan los datos de los niveles de material particulado para los puntos C y D durante las 3 semanas de monitoreo. Podemos apreciar que la tendencia de las concentraciones más altas se dio durante la semana 1 de mediciones. En cambio, también observamos que las concentraciones más altas suelen tomar lugar en el punto D en comparación con el punto C.

**Gráfico 3:** Concentraciones de material particulado para el punto E durante 3 semanas de monitoreo.



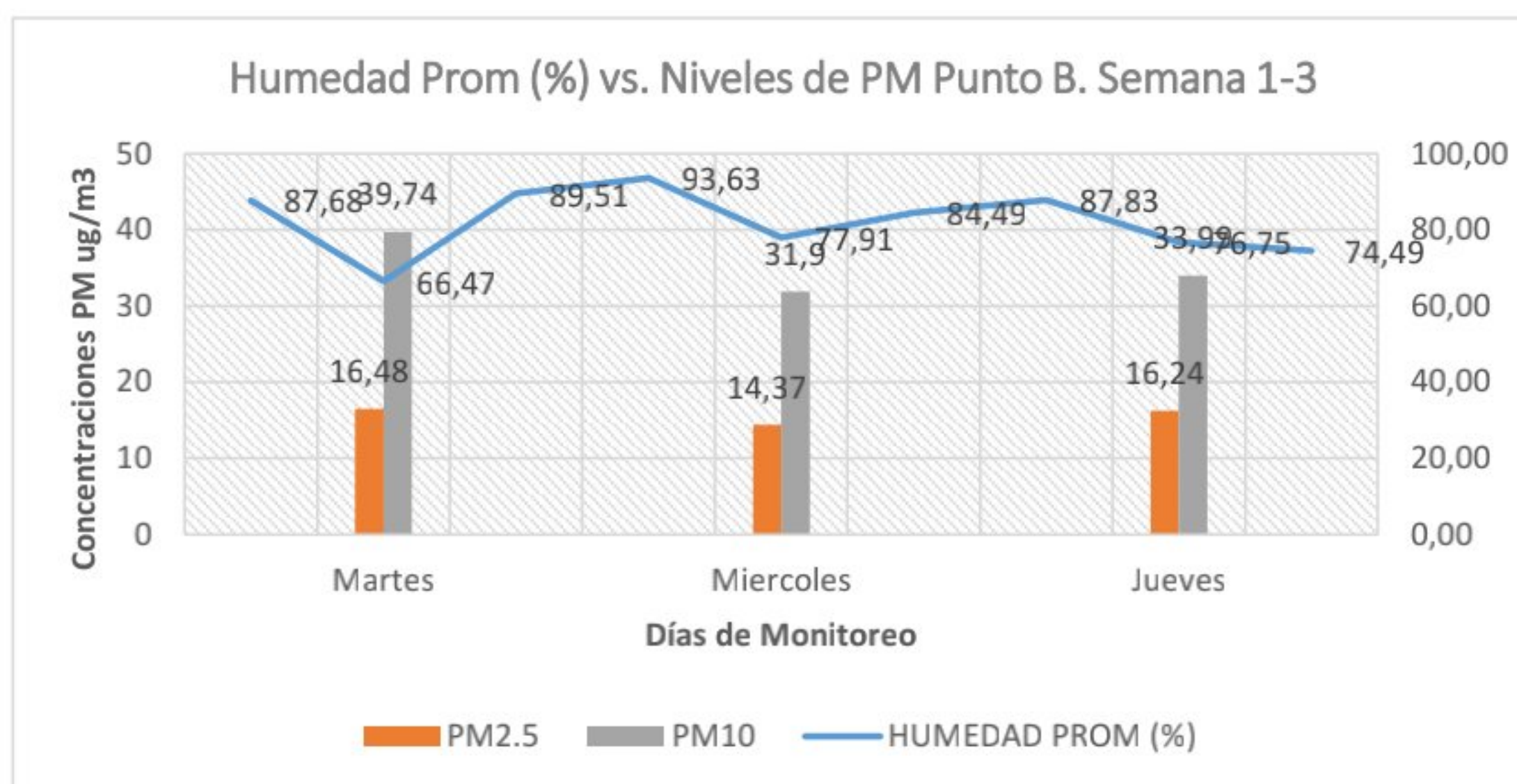
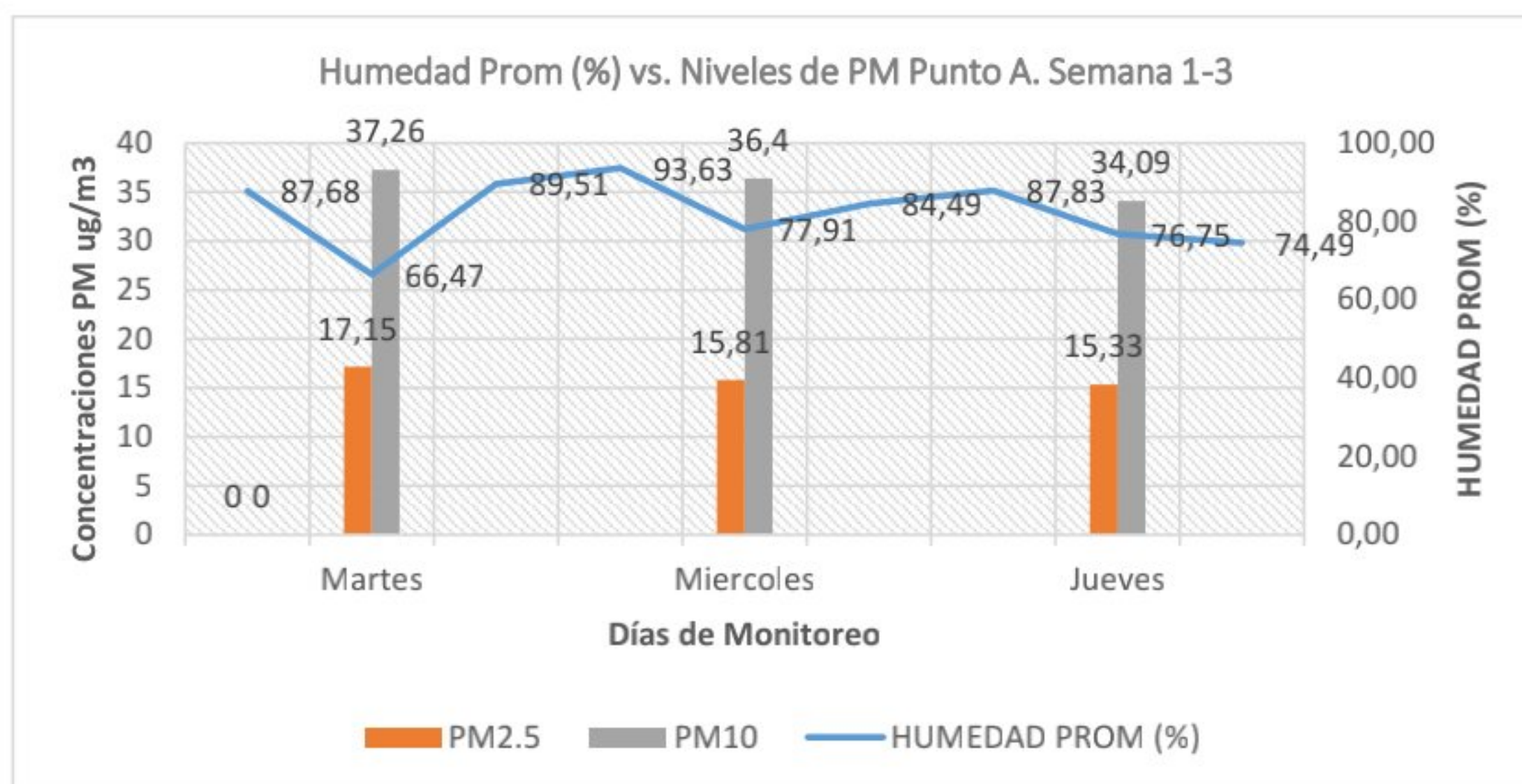
Elaborados por: Alvarado y Cedeño

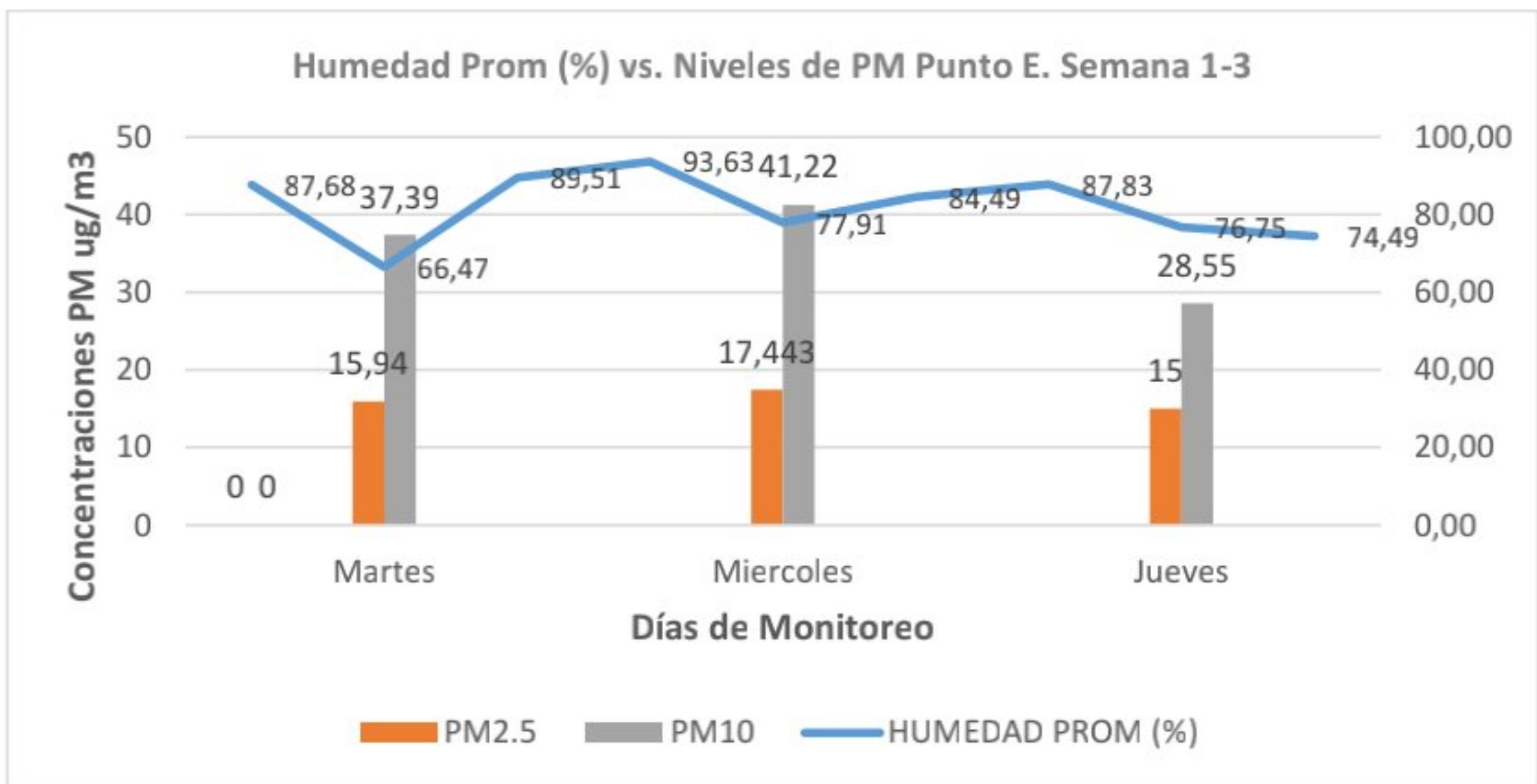
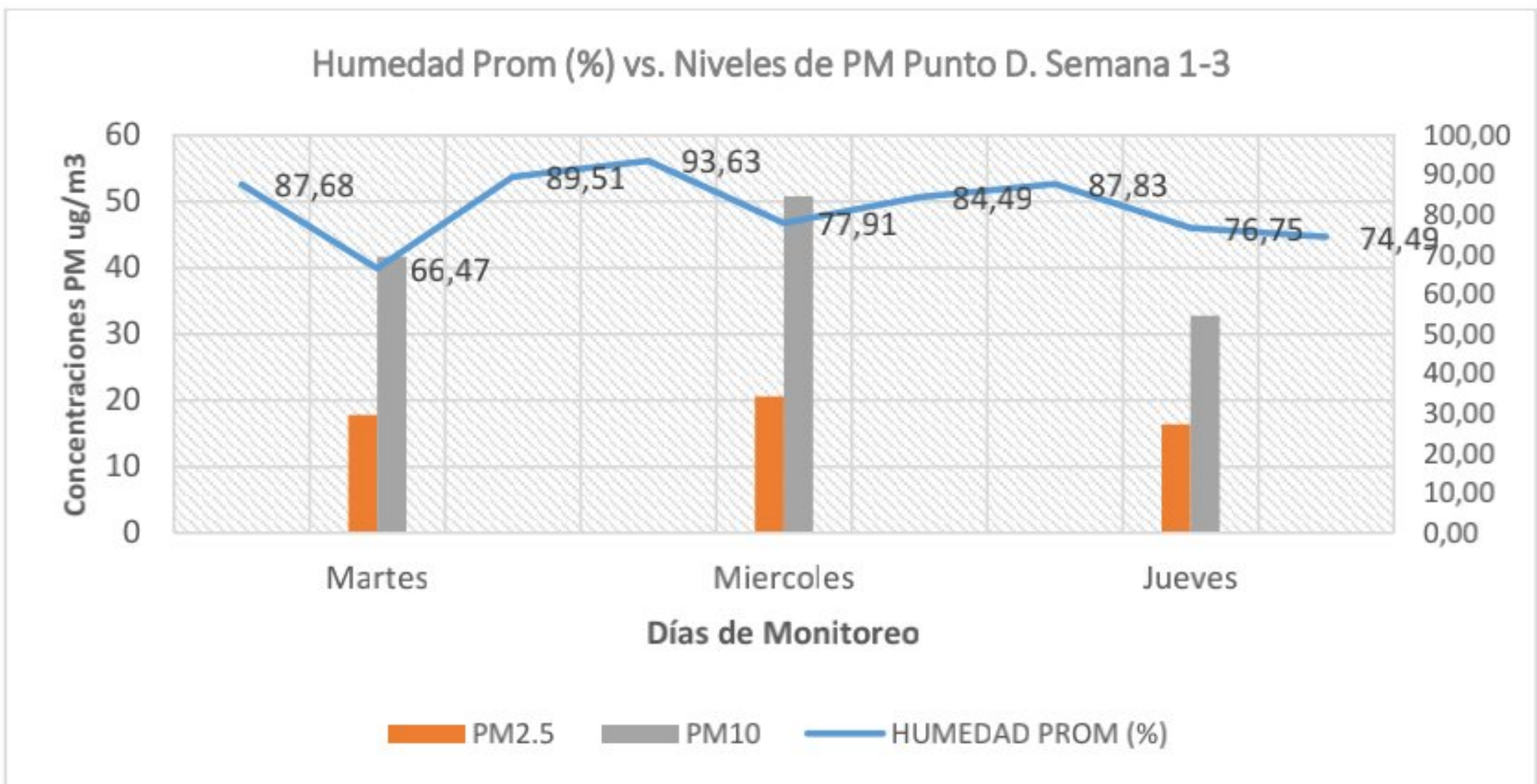
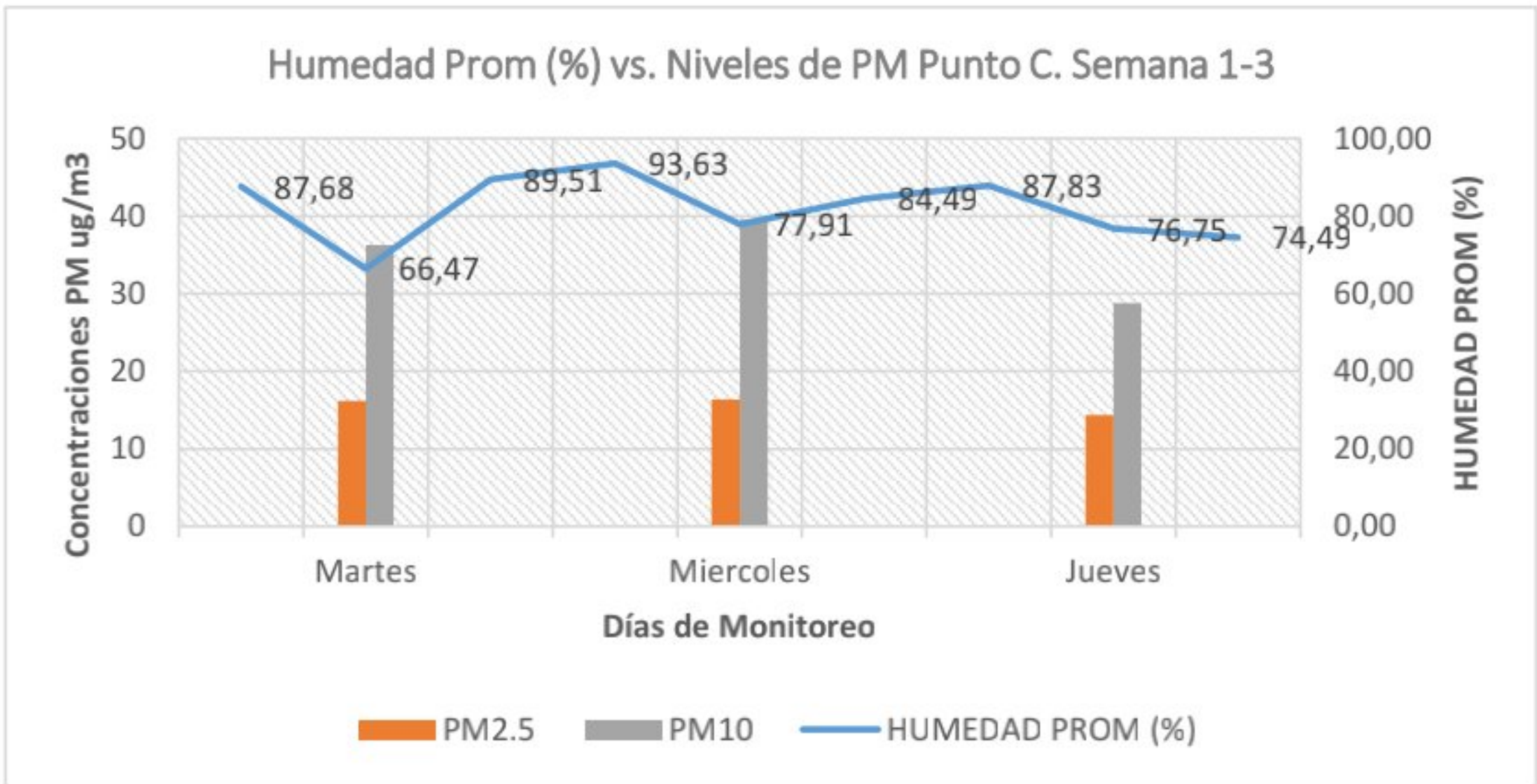
En el gráfico 3 observamos que en el punto E la semana 1 mantuvo niveles más altos de material particulado en comparación con las otras dos semanas de monitoreo. Por otro lado,

considerando las demás estaciones podemos determinar el punto D tiene en su mayoría la mayor cantidad de concentraciones más altas de material particulado que en las otras estaciones de monitoreo.

#### 4.2. Datos meteorológicos

**Gráfico 4:** Relación entre los promedios de humedad y material particulado estaciones A-E.



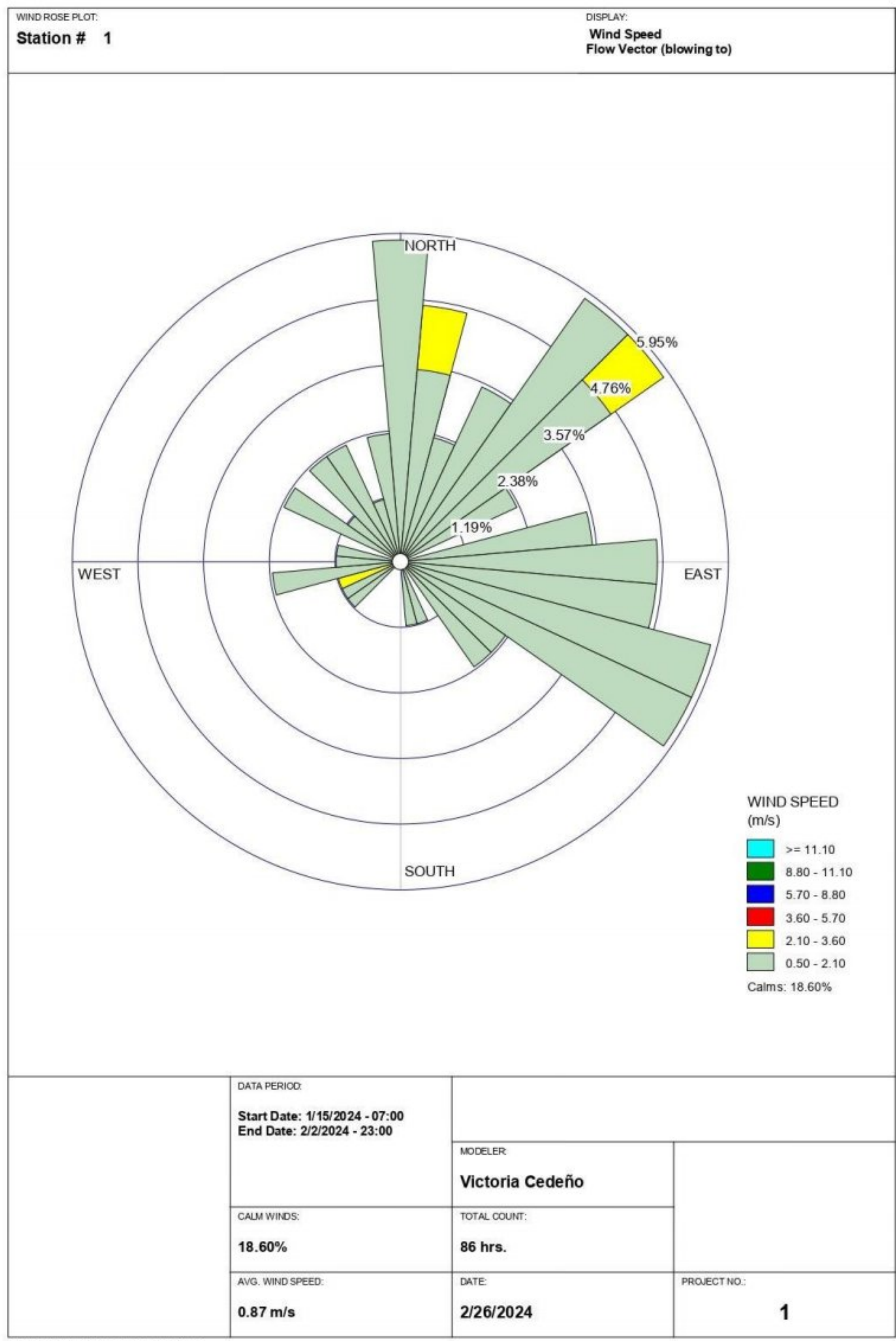


Elaborados por: Alvarado y Cedeño

En el gráfico 4 se muestra una relación entre el porcentaje promedio de humedad y los niveles de material particulado en cada una de las estaciones. Tanto el porcentaje de humedad como las concentraciones mostradas son un promedio obtenido de las 3 semanas de monitoreo en donde se resumen los niveles de los días martes a jueves. Podemos observar que en su gran mayoría existen disminuciones de la humedad durante los martes y miércoles en los cuales se muestran picos en las mediciones de material particulado 10 micrones.

La relación de la temperatura con la cantidad de contaminantes tiende a notarse en los picos de temperatura en donde se caracterizan aquellas temperaturas que se aproximan a 30 °C. No existe una relación de manera uniforme en los resultados con la temperatura, pero se destacan los días martes y miércoles como aquellos con mayores concentraciones de PM<sub>10</sub> al igual que temperaturas más altas.

**Figura 3:** Rosa de los Vientos. Velocidad y dirección del viento. Estación meteorológica UPS.



Elaborado con WRPLOT View – Freeware por: Victoria Cedeño

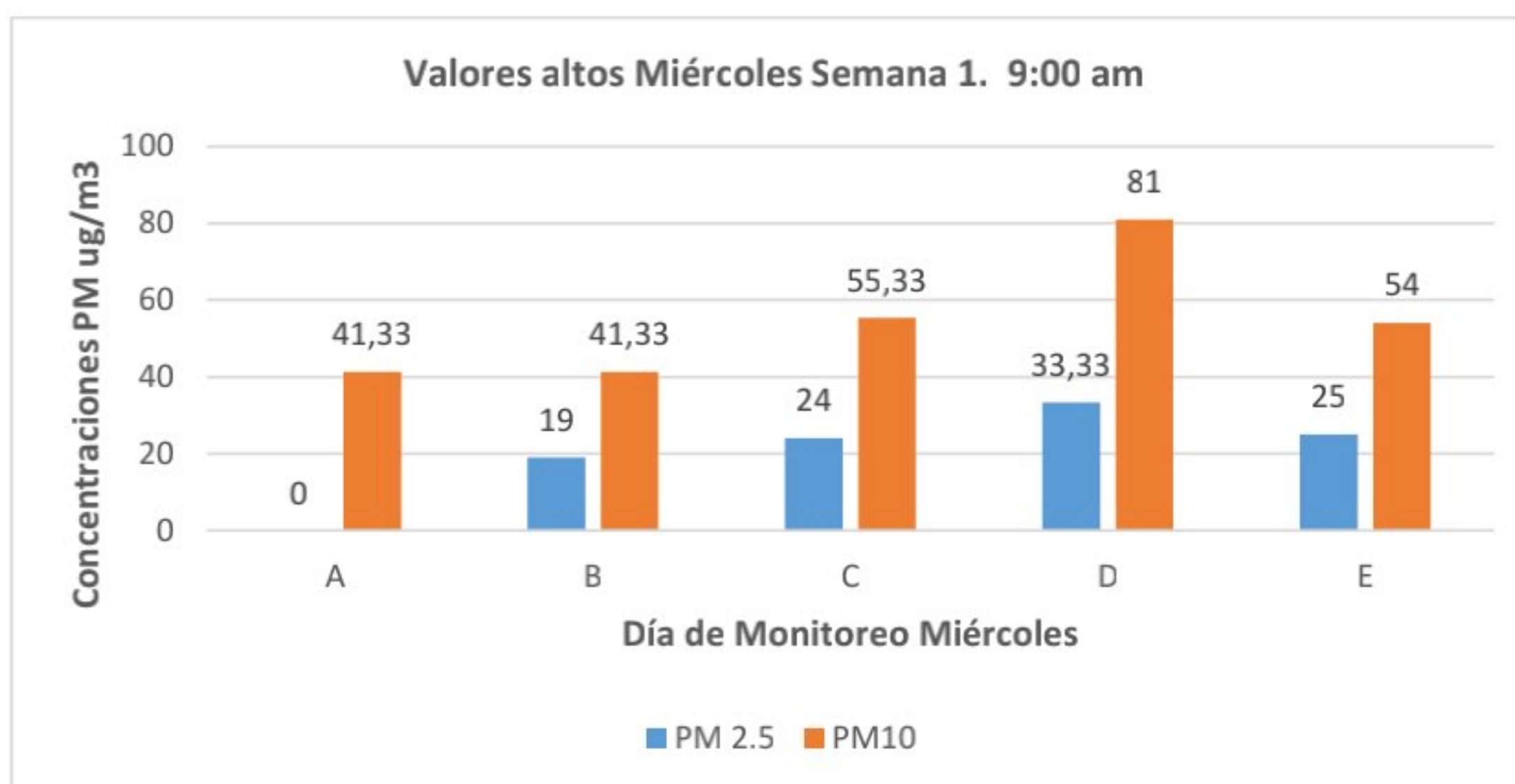
La rosa de los vientos nos muestra cómo se distribuye la velocidad y la dirección del viento en porcentaje. En esta imagen se representa el flujo de viento que indica hacia dónde se dirige este factor. Podemos observar que los vientos no son muy uniformes, pero tienen una gran tendencia a

dirigirse hacia el este y norte. Entre las direcciones del viento se destacan que los vientos que van hacia al sureste tienen una velocidad entre 0.50 a 2.10 m/s. Para los vientos del noreste tienen una velocidad también baja caracterizado por el color verde. No obstante, pueden llegar ligeramente hasta los 3.60 m/s representado en el color amarillo. Finalmente, los vientos del norte también tienen la misma naturaleza en donde las velocidades son bajas y apenas llegan a los 3.60 m/s en promedio.

**Tabla 7:** Valores altos Miércoles Semana 1. 9:00 am

Punto	PM 2.5	Unidades	L.M.P.	PM10	Unidades	L.M.P.
	Miércoles			Miércoles		
A	19,66	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	41.33	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
B	19	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		41.33	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
C	24	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		55.33	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
D	33.33	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		81	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
E	25	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		54	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	

**Gráfico 5:** Tabla 6



Elaborado por: Alvarado y Cedeño

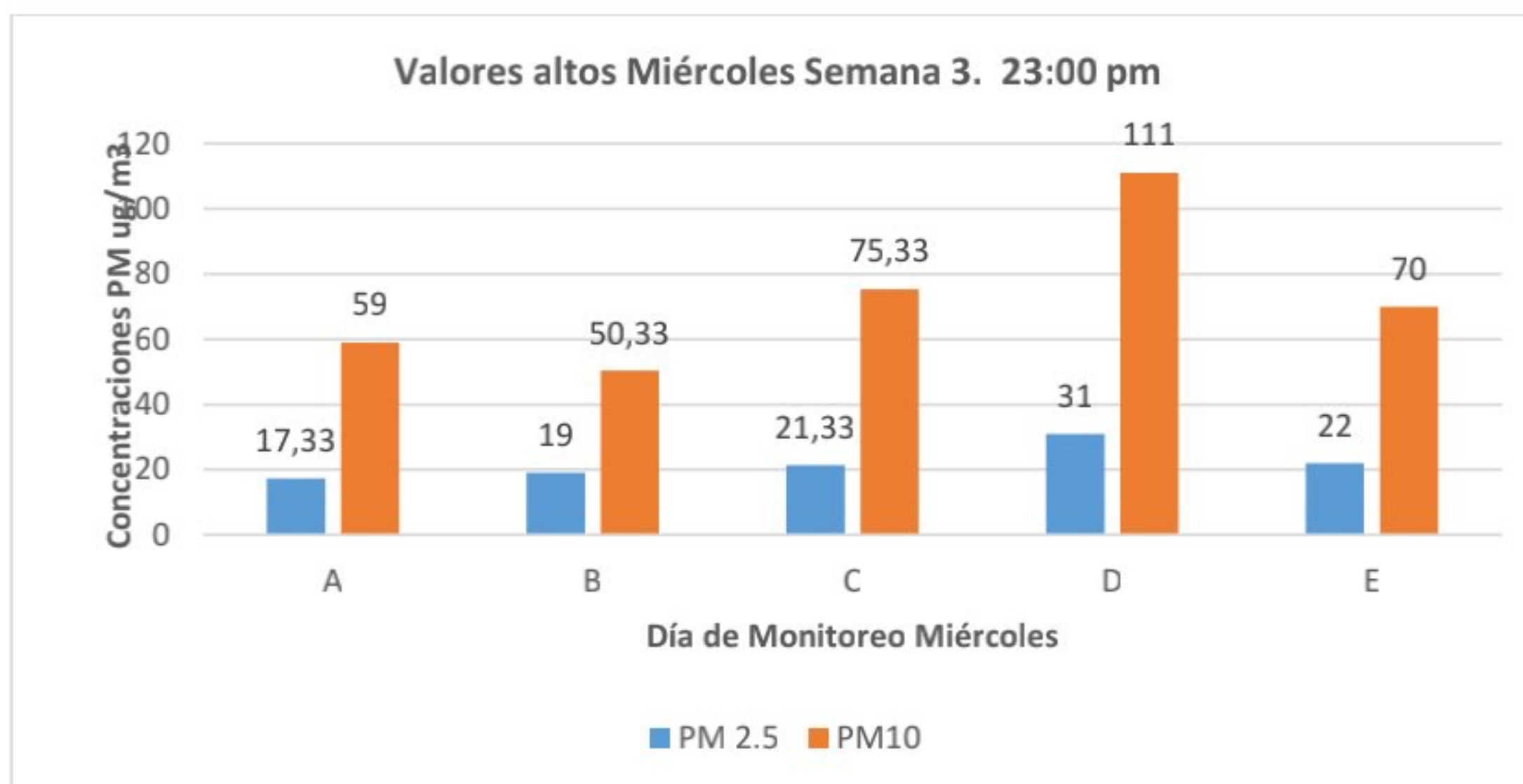


El miércoles de la semana 1 a las 9:00 am aproximadamente se registró uno de los niveles más altos. Podemos destacar al punto D en donde el PM<sub>2.5</sub> es 33.33 µg/m<sup>3</sup> y el PM<sub>10</sub> alcanzo el 81 µg/m<sup>3</sup>.

**Tabla 8:** Valores altos Miércoles Semana 3. 23:00 pm

Punto	PM 2.5	Unidades	L.M.P.	PM10	Unidades	L.M.P.
	Miércoles			Miércoles		
A	17.33	µg/m <sup>3</sup>	50 µg/m <sup>3</sup>	59	µg/m <sup>3</sup>	100 µg/m <sup>3</sup>
B	19	µg/m <sup>3</sup>		50.33	µg/m <sup>3</sup>	
C	21.33	µg/m <sup>3</sup>		75.33	µg/m <sup>3</sup>	
D	31	µg/m <sup>3</sup>		111	µg/m <sup>3</sup>	
E	22	µg/m <sup>3</sup>		70	µg/m <sup>3</sup>	

**Gráfico 6:** Tabla 7



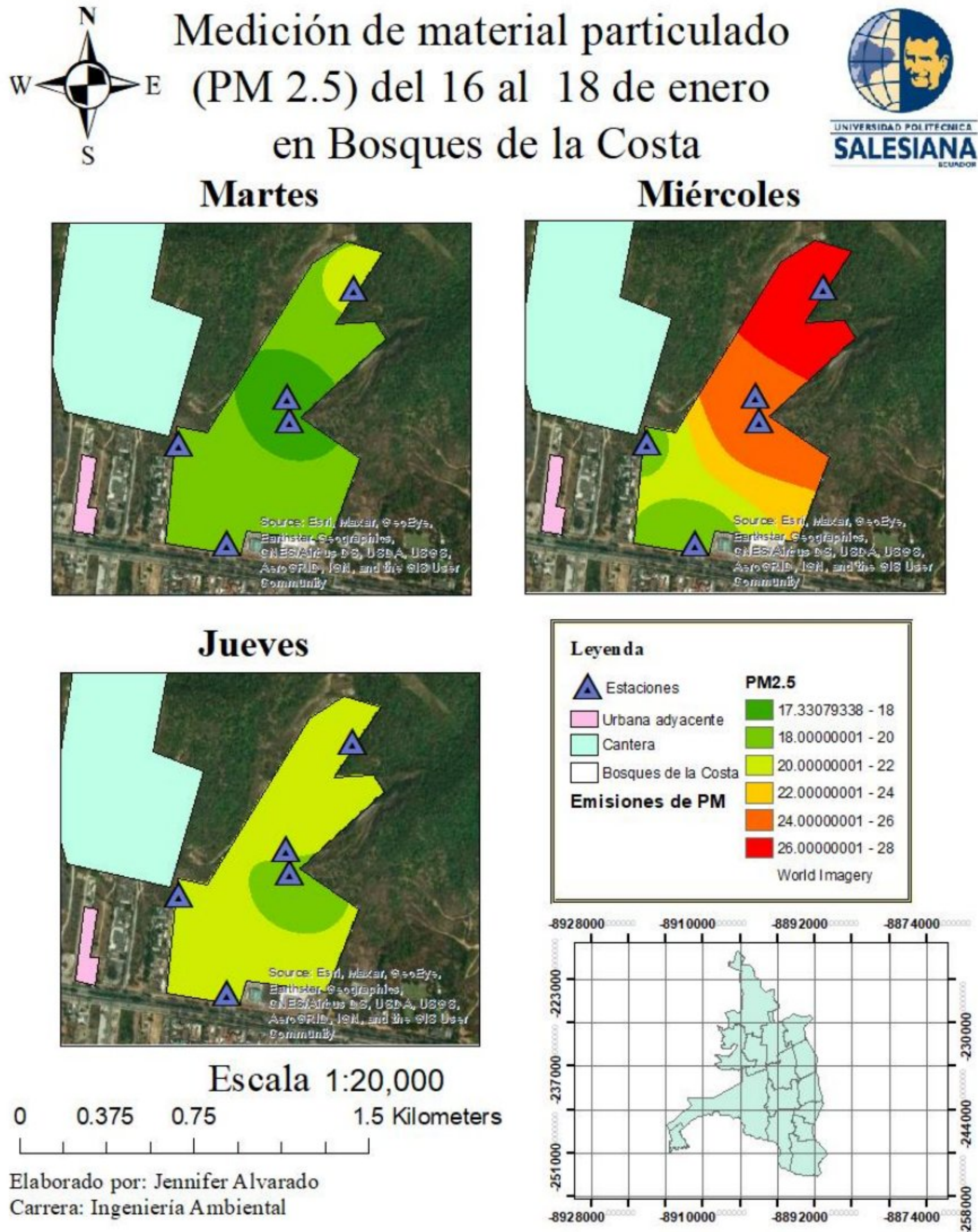
Elaborado por: Alvarado y Cedeño

En la tabla 8 podemos observar que el día miércoles de la semana 3 a las 23:00 pm fue el momento donde se encontraron más anomalías en cada estación de monitoreo. Tenemos que el PM<sub>10</sub> tiene niveles mayores a los 50 µg/m<sup>3</sup> cuando en general los valores se encontraban

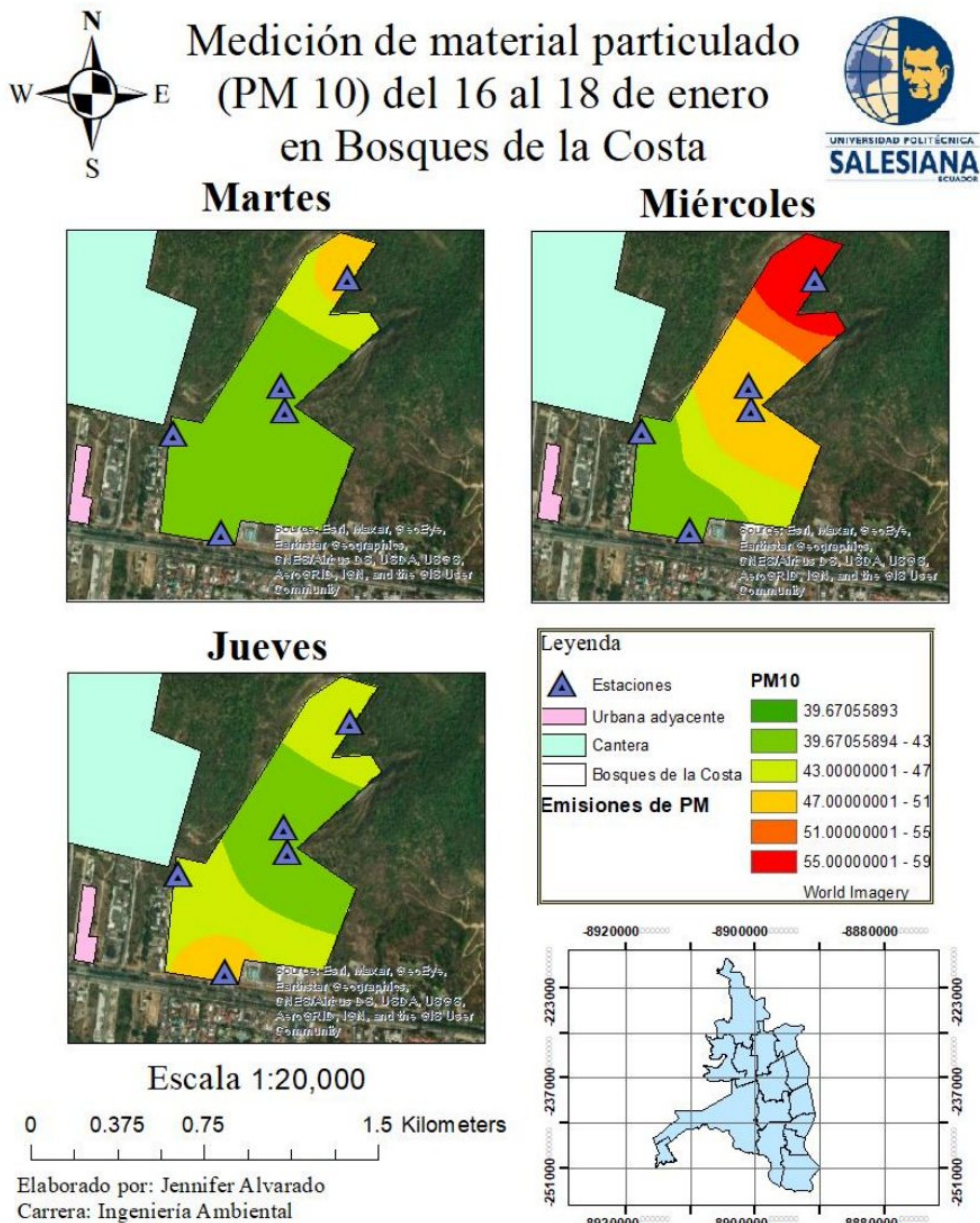
menores a  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Específicamente se registra la concentración de  $111 \mu\text{g}/\text{m}^3$  como el dato más alto de  $\text{PM}_{10}$  registrado en las últimas semanas de monitoreo.

### 4.3. Mapas de interpolación

**Figura 4:** Días representativos de las mediciones. Semana 1  $\text{PM}_{2.5}$ .



**Figura 5:** Días representativos de las mediciones. Semana 1 PM<sub>10</sub>.



Para la medición PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> respectivamente de esta semana podemos observar que solo un día se midió un valor representativamente alto, si bien no sobrepasa la normativa nacional, es de alto interés que solo un día y en un punto concreto se concentren estos valores

ya que, si revisamos la tabla 1 de los límites máximos permisibles, para la norma internacional de la OMS en ambas mediciones si estamos sobrepasando sus valores máximos afectando la salud de la población que habita en esta zona residencial, por lo que se pudo denotar ese día es que hubo entrada y salida de vehículos de construcción lo cual pudo alterar significativamente las mediciones de ese día en específico.

**Tabla 9:** Comparación entre datos ingresados de las emisiones de material particulado  $PM_{2.5}$  y la predicción de Geostatistical wizard. Martes primera semana.

$PM_{2.5}$	Predicción	Error
19.11	18.32	-0.79
18.78	18.30	-0.47
17.89	17.51	-0.38
20.33	17.87	-2.46
17.33	18.03	0.70

Función de regresión martes  $PM_{2.5}$ :

$$y = 0.0546722447426091 * x + 16.9850671724644$$

**Tabla 10:** Comparación entre datos ingresados de las emisiones de material particulado  $PM_{10}$  y la predicción de Geostatistical wizard. Martes primera semana.

$PM_{10}$	Predicción	Error
39.78	41.68	1.89
42.89	40.37	-2.52
39.78	40.92	0.24
48.22	40.14	-8.07
39,67	40.18	0.50

Función de regresión martes  $PM_{10}$ :

$$y = -0.057040679477428 * x + 42.8748417319125$$

**Tabla 11:** Comparación entre datos ingresados de las emisiones de material particulado  $PM_{2.5}$  y la predicción de Geostatistical wizard. Miércoles primera semana.

$PM_{2.5}$	Predicción	Error
21.11	23.63	2.52
21.67	23.83	2.16
24.67	24.82	0.15
27.67	24.11	-3.56
25	24.58	-0.42

Función de regresión miércoles  $PM_{2.5}$ :

$$y = 0.103471834607552 * x + 21.7065259638855$$

**Tabla 12:** Comparación entre datos ingresados de las emisiones de material particulado  $PM_{10}$  y la predicción de Geostatistical wizard. Miércoles primera semana.

$PM_{10}$	Predicción	Error
43.22	48.33	5.11
43.56	49.07	5.51
51.56	50.08	-1.48
59.56	49.22	-10.34
50.33	51.33	1.01

Función de regresión miércoles  $PM_{10}$ :

$$y = 0.0536169693489858 * x + 46.9479981362019$$

**Tabla 13:** Comparación entre datos ingresados de las emisiones de material particulado  $PM_{2.5}$  y la predicción de Geostatistical wizard. Jueves primera semana.

$PM_{2.5}$	Predicción	Error
22.33	22.28	-0.05
22.67	22.12	-0.55
21.33	22.51	1.18
23	22.12	-0.88
22.5	21.46	-1.04

Función de regresión jueves  $PM_{2.5}$ :

$$y = -0.319414517271729 * x + 29.2405024340269$$

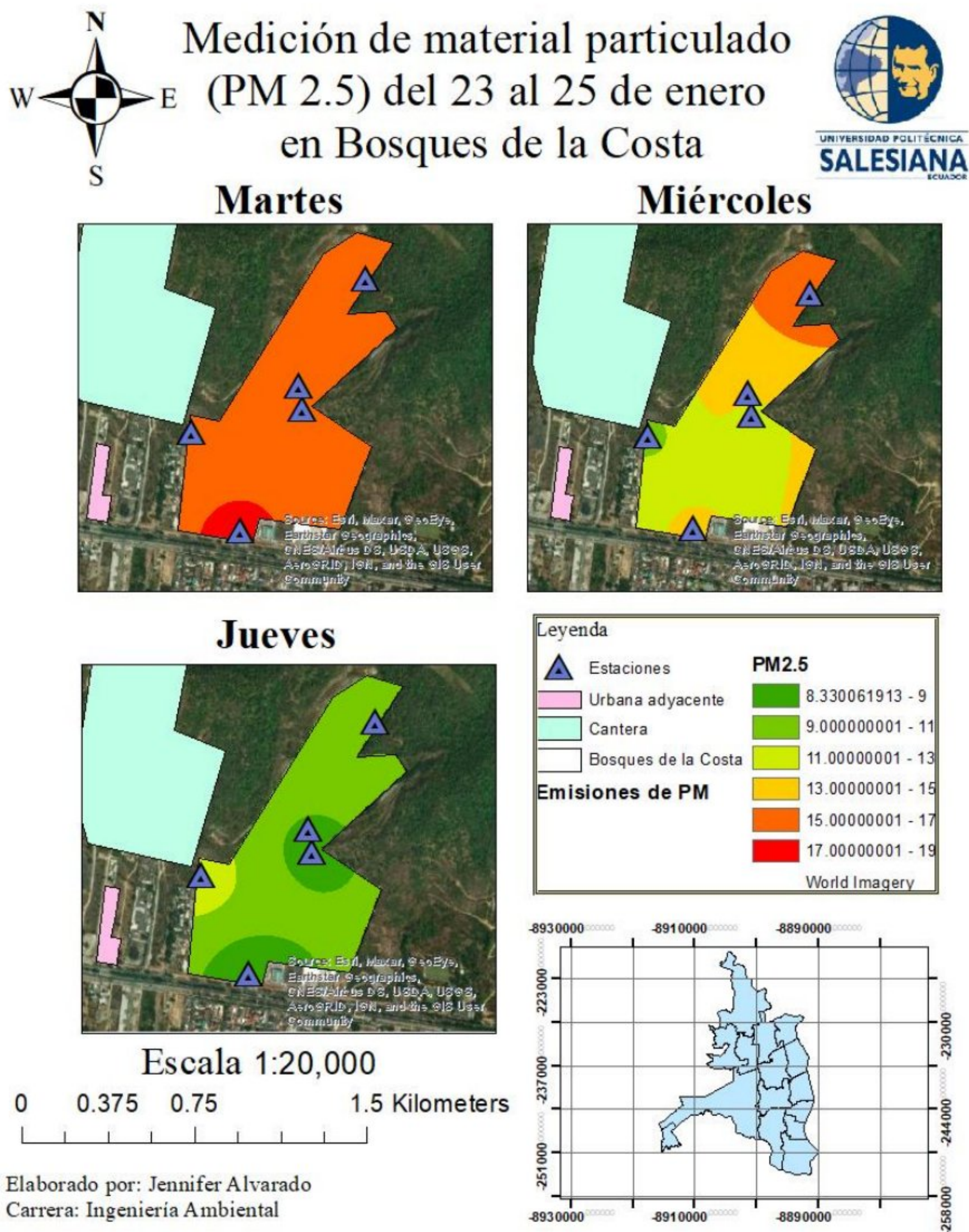
**Tabla 14:** Comparación entre datos ingresados de las emisiones de material particulado  $PM_{10}$  y la predicción de Geostatistical wizard. Jueves primera semana.

$PM_{10}$	Predicción	Error
48.17	44.15	-4.02
47	43.92	-3.07
41.67	41.57	-0.10
46.17	42.65	-3.52
41	42.16	1.16

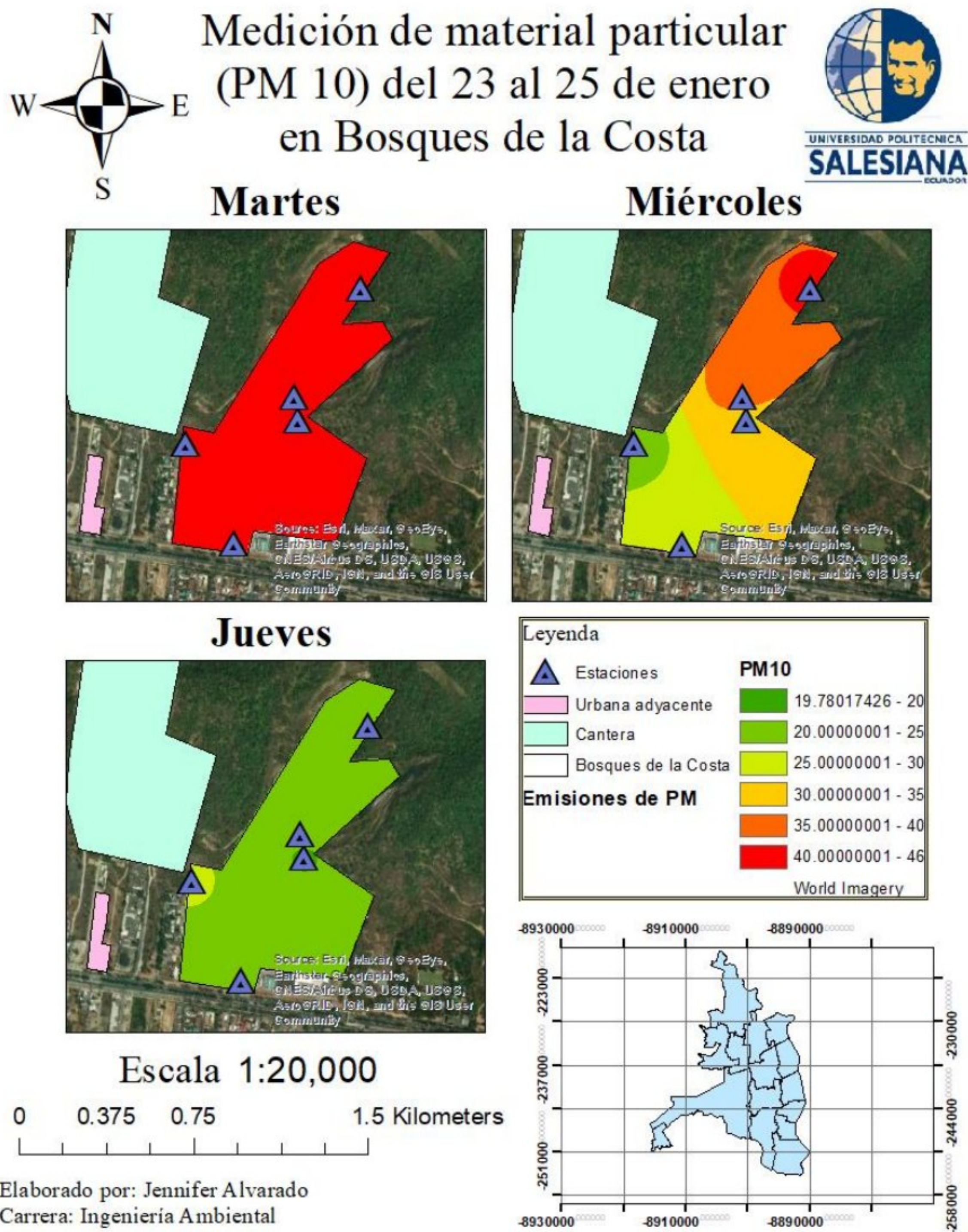
Función de regresión miércoles  $PM_{10}$ :

$$y = 0.310023979016288 * x + 29.0020518625942$$

**Figura 6:** Días representativos de las mediciones. Semana 2 PM<sub>2.5</sub>.



**Figura 7:** Días representativos de las mediciones. Semana 2 PM<sub>10</sub>.



En esta semana los valores no fueron significativamente altos basándonos en la normativa nacional, aunque en ambas imágenes del martes se vea que la mayoría de las estaciones están resaltadas en color rojo y naranja respectivamente, se debe a que en la escala



para cubrir los 3 mapas los valores son tan bajos que en este día un valor mayor a  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $\text{PM}_{10}$  y  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $\text{PM}_{2.5}$  entraba en la categoría de niveles altos, esto se pudo dar ya que el fin de semana hubo intensas lluvias y también varias tomas en la semana se hicieron después de llover o no se lograron realizar por el mismo motivo, sin embargo, observando los valores máximos de la normativa internacional, podemos visualizar que para el día martes y solo un punto del día miércoles si sobrepasa los límites permisibles de la OMS.

**Tabla 15:** Comparación entre datos ingresados de las emisiones de material particulado  $\text{PM}_{2.5}$  y la predicción de Geostatistical wizard. Martes segunda semana.

$\text{PM}_{2.5}$	Predicción	Error
18.33	16.82	-1.51
16.67	17.37	0.70
17.17	16.58	-0.59
17.33	16.91	-0.42
16.5	17.18	0.68

Función de regresión martes  $\text{PM}_{2.5}$ :

$$y = -0.253780341696466 * x + 21.3353156204712$$

**Tabla 16:** Comparación entre datos ingresados de las emisiones de material particulado  $\text{PM}_{10}$  y la predicción de Geostatistical wizard. Martes segunda semana.

$\text{PM}_{10}$	Predicción	Error
43.67	44.76	1.09
44.5	44.56	0.06
45	45.35	0.35
43	45.04	2.04
45.5	44.89	-0.61

Función de regresión martes  $PM_{10}$ :

$$y = 0.0341873556902727 * x + 43.4029954091316$$

**Tabla 17:** Comparación entre datos ingresados de las emisiones de material particulado  $PM_{2.5}$  y la predicción de Geostatistical wizard. Miércoles segunda semana.

$PM_{2.5}$	Predicción	Error
13.11	12.30	-0.80
10.67	13.50	2.83
11.78	14.81	3.03
16.56	13.18	-3.38
15	11.92	-3.07

Función de regresión miércoles  $PM_{2.5}$ :

$$y = -0.231444021758379 * x + 16.2501468785791$$

**Tabla 18:** Comparación entre datos ingresados de las emisiones de material particulado  $PM_{10}$  y la predicción de Geostatistical wizard. Miércoles segunda semana.

$PM_{10}$	Predicción	Error
31	30.98	-0.02
24.67	34.53	9.86
30.78	39.50	-8.72
43.11	34.24	-8.87
40.33	30.95	-9.38

Función de regresión miércoles  $PM_{10}$ :

$$y = -0.133679380664039 * x + 38.582229429449$$

**Tabla 19:** Comparación entre datos ingresados de las emisiones de material particulado  $PM_{2.5}$  y la predicción de Geostatistical wizard. Jueves segunda semana.

$PM_{2.5}$	Predicción	Error
8.33	10.37	2.04
12.22	8.74	-3.48
8.67	9.14	0.47
9.89	9.25	-0.63
9	8.84	-0.16

Función de regresión jueves  $PM_{2.5}$ :

$$y = -0.245066848130651 * x + 11.6271897231095$$

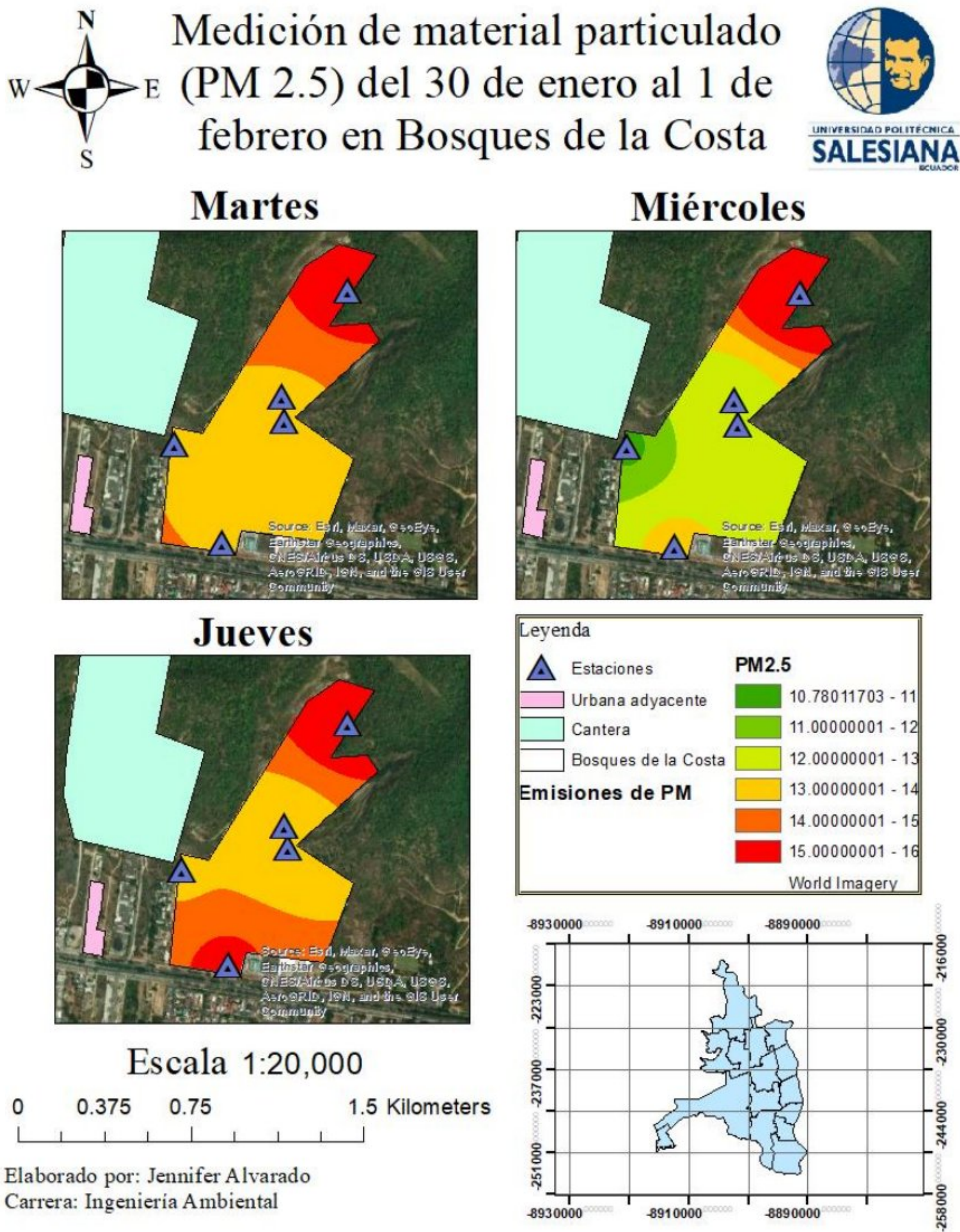
**Tabla 20:** Comparación entre datos ingresados de las emisiones de material particulado  $PM_{10}$  y la predicción de Geostatistical wizard. Jueves segunda semana.

$PM_{10}$	Predicción	Error
21.11	22.75	1.64
25.78	20.64	-5.14
19.78	20.93	1.47
22.11	21.08	-1.03
20.67	20.11	-0.56

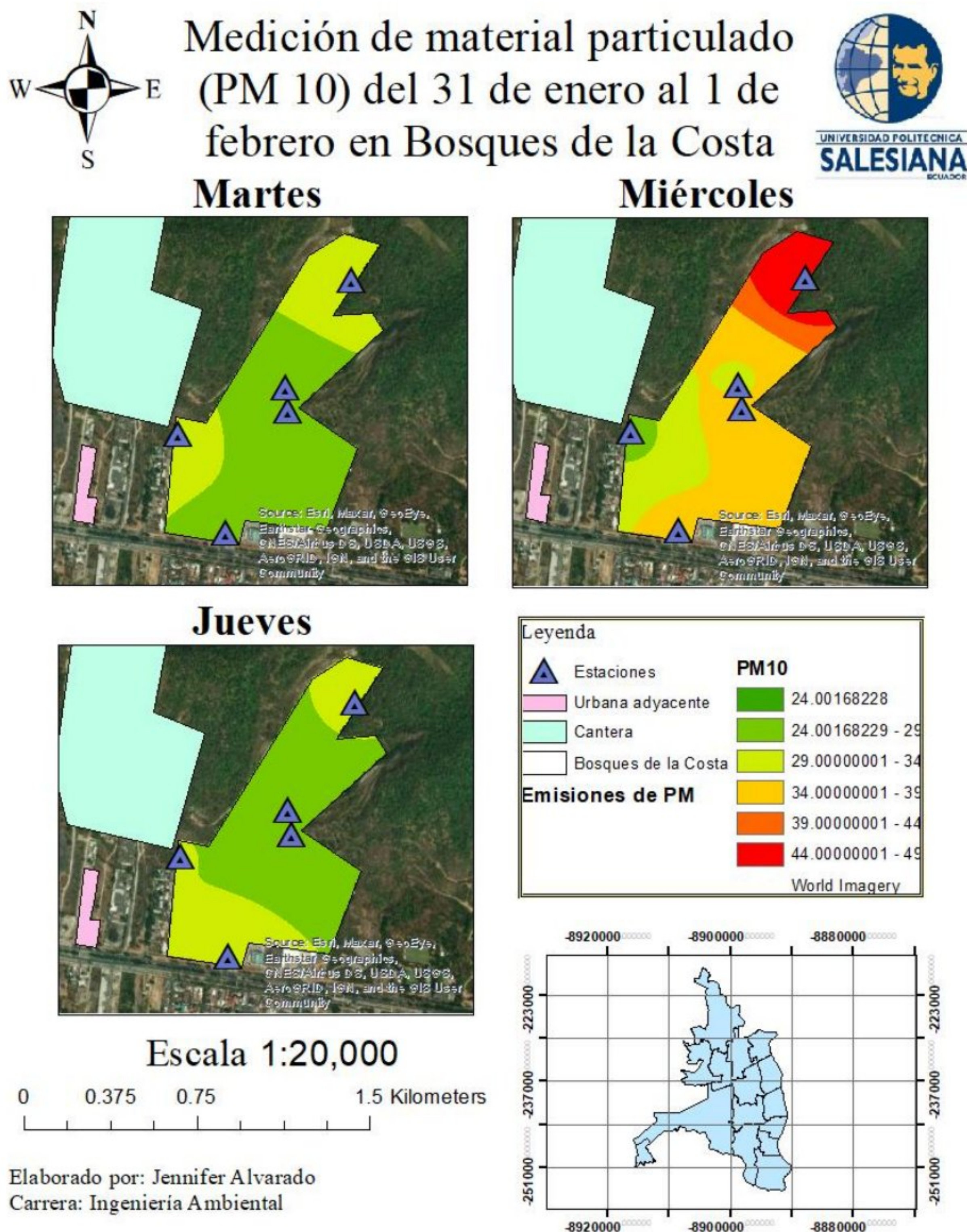
Función de regresión miércoles  $PM_{10}$ :

$$y = -0.0689723671126213 * x + 22.6128212225508$$

**Figura 8:** Días representativos de las mediciones. Semana 3 PM<sub>2.5</sub>.



**Figura 9:** Días representativos de las mediciones. Semana 3 PM<sub>10</sub>.



Para esta última semana podemos visualizar que otra vez se presentó un valor relativamente alto el día miércoles, pero solo para la medición de PM<sub>10</sub> sin embargo el promedio

del día fue menor al valor más alto de la primera semana, para PM<sub>2.5</sub> se ve en las categorías de color que si hay niveles altos sin embargo esto se da igual que la semana pasada, los valores de la escala son bajos en comparación a la medida de esos dos días dentro de la normativa nacional.

Para la normativa internacional de la OMS se sobrepasa los límites máximos permisible todos los días para la concentración de PM<sub>2.5</sub> pero solo en un punto y en un día específico.

**Tabla 21:** Comparación entre datos ingresados de las emisiones de material particulado PM<sub>2.5</sub> y la predicción de Geostatistical wizard. Martes tercera semana.

PM <sub>2.5</sub>	Predicción	Error
14	13.98	-0,02
14	13.98	-0.02
13.5	14.04	0.55
15.83	13.83	2
14	13.61	-0.39

Función de regresión martes PM<sub>2.5</sub>:

$$y = - 0.0557926670818458 * x + 14.6845973041103$$

**Tabla 22:** Comparación entre datos ingresados de las emisiones de material particulado PM<sub>10</sub> y la predicción de Geostatistical wizard. Martes tercera semana.

PM <sub>10</sub>	Predicción	Error
28.33	28.72	0.39
31.83	27	-4.83
24	27.40	3.40
33.83	26.75	-7.08
27	24.71	-2.29

Función de regresión martes  $PM_{10}$ :

$$y = 0.00340660749474349 * x + 26.8184855101125$$

**Tabla 23:** Comparación entre datos ingresados de las emisiones de material particulado  $PM_{2.5}$  y la predicción de Geostatistical wizard. Miércoles tercera semana.

$PM_{2.5}$	Predicción	Error
13.22	12.10	-1.12
10.78	13.11	2.33
12.67	12.42	-0.24
17.56	12.32	-5.24
12.33	12.77	0.44

Función de regresión miércoles  $PM_{2.5}$ :

$$y = -0.0963617681646984 * x + 13.8255919357032$$

**Tabla 24:** Comparación entre datos ingresados de las emisiones de material particulado  $PM_{10}$  y la predicción de Geostatistical wizard. Miércoles tercera semana.

$PM_{10}$	Predicción	Error
35	32.47	-2.53
27.22	35.85	8.63
36.11	33.23	-2.88
49.78	33.46	-16.32
33	36.19	3.19

Función de regresión miércoles  $PM_{10}$ :

$$y = -0.105195258896754 * x + 38.0506624734177$$

**Tabla 25:** Comparación entre datos ingresados de las emisiones de material particulado  $PM_{2.5}$  y la predicción de Geostatistical wizard. Jueves tercera semana.

$PM_{2.5}$	Predicción	Error
15.33	13.74	-1.59
13.83	14.20	0.37
13.17	13.63	0.46
16.33	13.60	-2.37
13.5	13.34	-0.16

Función de regresión jueves  $PM_{2.5}$ :

$$y = -0.00696283044326577 * x + 13.8033206852011$$

**Tabla 26:** Comparación entre datos ingresados de las emisiones de material particulado  $PM_{10}$  y la predicción de Geostatistical wizard. Jueves tercera semana.


$PM_{10}$	Predicción	Error
33	26.94	-6.05
29.17	27.68	-1.47
25	24.60	-0.39
30	25.81	-4.18
24	25.49	1.49

Función de regresión miércoles  $PM_{10}$ :


$$y = 0.224738560118992 * x + 19.7623673196306$$



**Figura 10:** Día de valores irregulares de las mediciones. Miércoles 17 de enero PM<sub>2.5</sub>.



### Valores irregulares en la medición de material particulado (PM 2.5) el 17 de enero en Bosques de la costa



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA  
**SALESIANA**

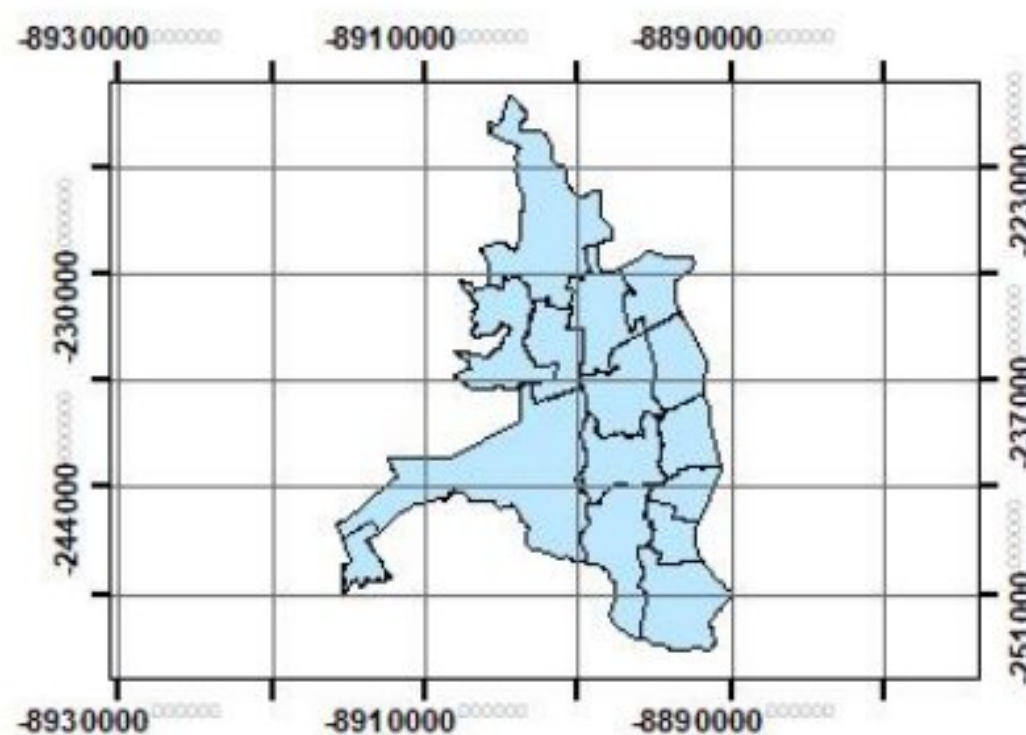


**Miércoles a las 9:00 AM**

Escala 1:15,000




Leyenda	
	Estaciones
	Urbana adyacente
	Cantera
	Bosques de la Costa
Emisiones de PM	
	19.00023079 - 20
	20.00000001 - 22
	22.00000001 - 24
	24.00000001 - 26
	26.00000001 - 28
	28.00000001 - 30
World Imagery	




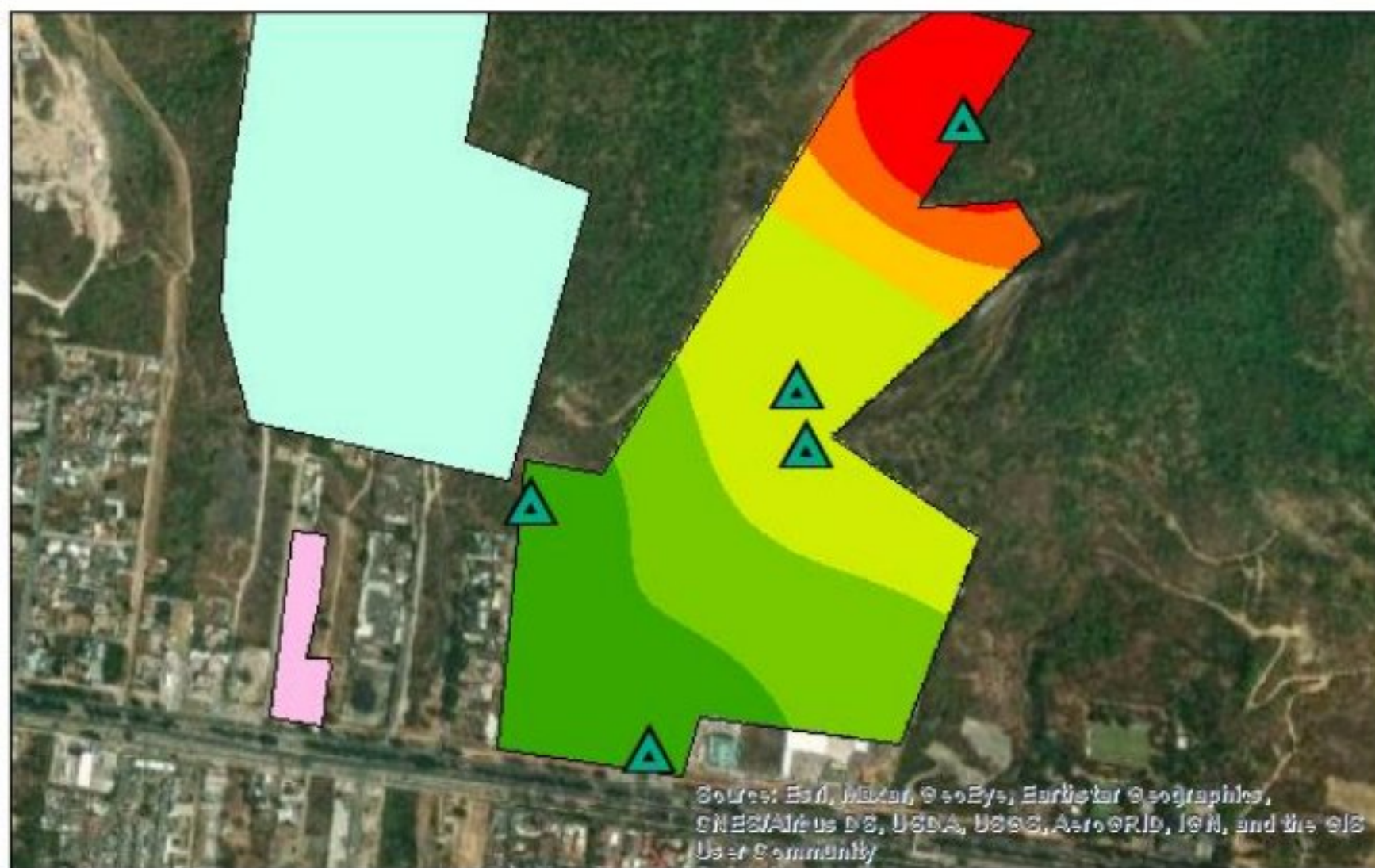
Elaborado por: Jennifer Alvarado  
Carrera: Ingeniería Ambiental

**Figura 11:** Día de valores irregulares de las mediciones. Miércoles 17 de enero PM<sub>10</sub>.



### Valores irregulares en la medición de material particulado (PM 10) el 17 de enero en Bosques de la costa





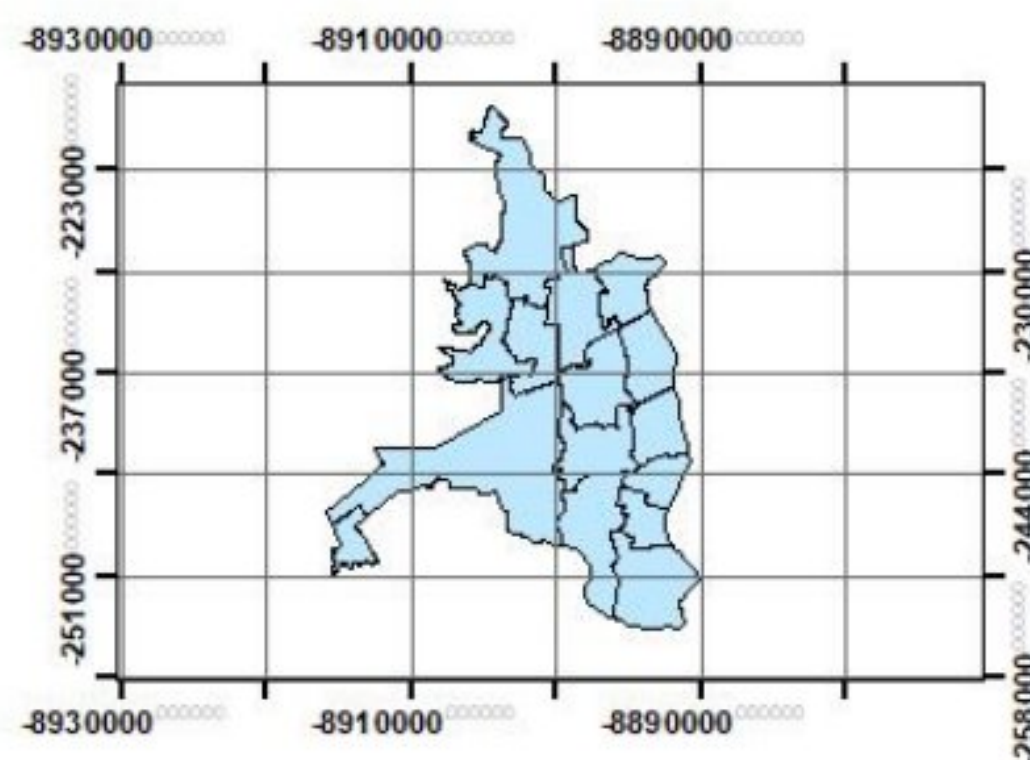
**Miércoles a las 9:00 AM**

Escala 1:15,000



Leyenda	
	Estaciones
	Urbana adyacente
	Cantera
	Bosques de la Costa
Emisiones de PM	
	PM10 41.33028412 - 46
	46.00000001 - 53
	53.00000001 - 60
	60.00000001 - 67
	67.00000001 - 74
	74.00000001 - 81
World Imagery	

Elaborado por: Jennifer Alvarado  
Carrera: Ingeniería Ambiental



Estas imágenes se las resalta ya que en este día específicamente se vio una anomalía en la medición, a las 9:00 am en el punto D se dieron valores medianamente altos ya que, si bien la normativa nacional nos indica que para PM<sub>2.5</sub> no debe pasar de 50 µg/m<sup>3</sup> y para PM<sub>10</sub>

no debe pasar de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , el contador de partículas al pasar de  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sobrepasa la franja de color amarillo a naranja lo cual provoca que emita un sonido de alerta, sin embargo revisando la normativa nacional, tanto para la Agencia de Protección Ambiental (EPA) como para la Organización Mundial de la Salud (OMS) si sobrepasan sus límites máximos permisibles, aunque para la EPA solo lo hace en las concentraciones de  $\text{PM}_{2.5}$ , para la OMS supera por una significativa cantidad sus valores máximos en ambas emisiones, lo cual es preocupante por la calidad de aire ambiente que se tiene en una zona residencial.

**Tabla 27:** Comparación entre datos ingresados de las emisiones de material particulado  $\text{PM}_{2.5}$  y la predicción de Geostatistical wizard. Miércoles 17 de enero.

$\text{PM}_{2.5}$	Predicción	Error
19,66	22.65	2.99
19	23.56	4.56
24	24.81	0.81
33.33	23.40	-9.93
25	24.02	-0.97

Función de regresión jueves  $\text{PM}_{2.5}$ :

$$y = 0.0211754343675495 * x + 23.1770137654962$$

**Tabla 28:** Comparación entre datos ingresados de las emisiones de material particulado  $PM_{10}$  y la predicción de Geostatistical wizard. Miércoles 17 de enero.

$PM_{10}$	Predicción	Error
41.33	50.63	9.30
41.33	52.27	10.94
55.33	53.80	-1.53
81	62.65	-29.35
54	53.80	1.34

Función de regresión miércoles  $PM_{10}$ :

$$y = 0.00447002687539554 * x + 52.4941916831821$$

**Figura 12:** Día de valores irregulares de las mediciones. Miércoles 31 de enero PM<sub>2.5</sub>.

Valores irregulares en la medición de material particulado (PM 2.5) el 31 de enero en Bosques de la costa



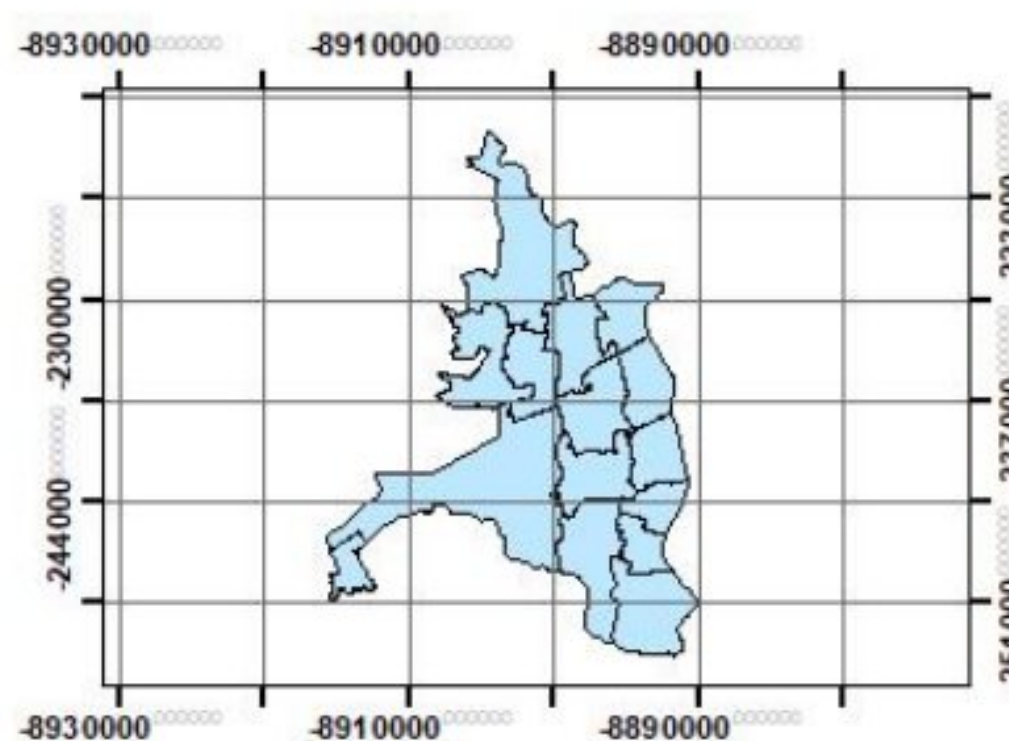
**Miércoles a las 23:00 PM**

Escala 1:15,000



Leyenda	
	Estaciones
	Urbana adyacente
	Cantera
	Bosques de la Costa
<b>Emissiones de PM</b>	
	17.33011436 - 18
	18.00000001 - 20
	20.00000001 - 22
	22.00000001 - 24
	24.00000001 - 26
	26.00000001 - 28
World Imagery	

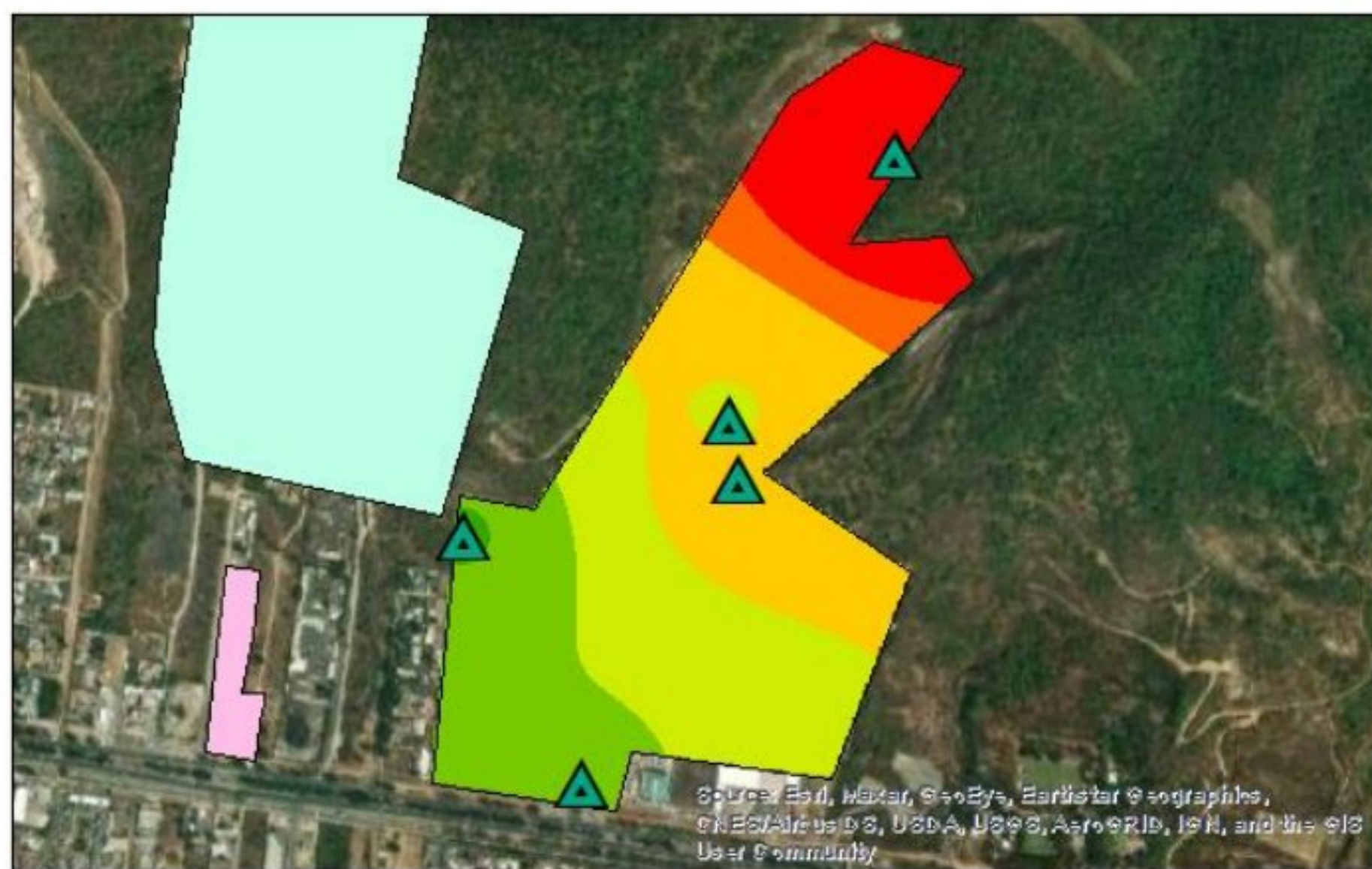
Elaborado por: Jennifer Alvarado  
Carrera: Ingeniería Ambiental



**Figura 13:** Día de valores irregulares de las mediciones. Miércoles 31 de enero PM<sub>10</sub>.



Valores irregulares en la medición de material particulado (PM 10) el 31 de enero en Bosques de la costa

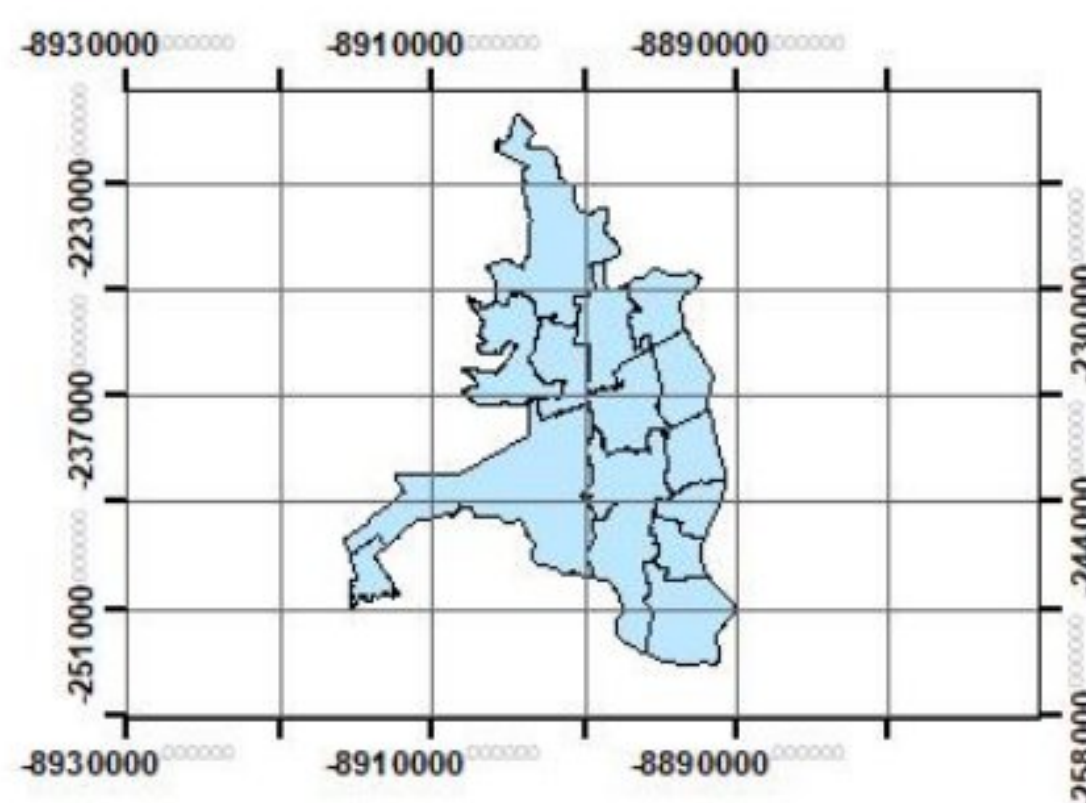


**Miércoles a las 23:00 PM**

Escala 1:15,000



Elaborado por: Jennifer Alvarado  
Carrera: Ingeniería Ambiental



En este día en particular, al igual que el miércoles de la primera semana, hubo un horario donde el nivel de material particulado era significativamente alto que fue a las 23:00 pm, sin

embargo, lo destacable y preocupante de este día fue que en la medición de  $PM_{10}$  los valores dieron más de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en todos los puntos y específicamente en el punto D sobrepaso la normativa nacional dictando una lectura de  $111 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , no se conoce algún factor antropogénico que nos pueda indicar el porqué de esta lectura pero se visualizó desde la calle principal una nube de polvo que cubría kilómetros de la vía e impedía la correcta visión de los conductores.

**Tabla 27:** Comparación entre datos ingresados de las emisiones de material particulado  $PM_{2.5}$  y la predicción de Geostatistical wizard. Miércoles 31 de enero.

$PM_{2.5}$	Predicción	Error
17.33	21.10	3.77
19	20.93	1.93
21.33	21.97	0.63
31	20.97	-10.03
22	21.72	-0.52

Función de regresión jueves  $PM_{2.5}$ :

$$y = -0.0124961561216824 * x + 21.5643907528384$$

**Tabla 28:** Comparación entre datos ingresados de las emisiones de material particulado  $PM_{10}$  y la predicción de Geostatistical wizard. Miércoles 31 de enero.

$PM_{10}$	Predicción	Error
59	65.63	6.63
50.33	71.09	20.76
75.33	69.90	-5.43
111	68.22	-42.78
70	75.20	5.20

Función de regresión miércoles PM<sub>10</sub>:

$$y = - 0.0216619850145046 * x + 71.5910756329435$$

#### 4.4. Análisis Estadísticos

Desarrollando el método del parámetro t-student y la función summary() en RStudio, se analizó estadísticamente el día con mayor anomalía en las concentraciones de material particulado registradas. Los cuales pertenecen al día miércoles de la semana 3.

**Tabla 29:** *Resumen estadístico de las concentraciones de material particulado. Valores más altos.*

Contaminante	Hora	Resumen Estadístico de los resultados						
		Mínimo	Primer Cuartil.	Mediana	Promedio	Tercer Cuartil.	Máximo	Desviación Estándar
Pm 2.5	Miércoles semana 3 Promedio 24 h	6.00	8.00	12.00	13.46	19.00	33.00	7.19
Pm 10	Miércoles semana 3 Promedio 24 h	12.00	16.50	20.00	36.72	55.00	121.00	29.85
	noche 23:00 pm	48.00	57.00	64.00	73.62	88.00	121.00	24.09
	noche 23:00 pm Punto D	104.00	106.00	108.00	111.00	114.50	121.00	8.88



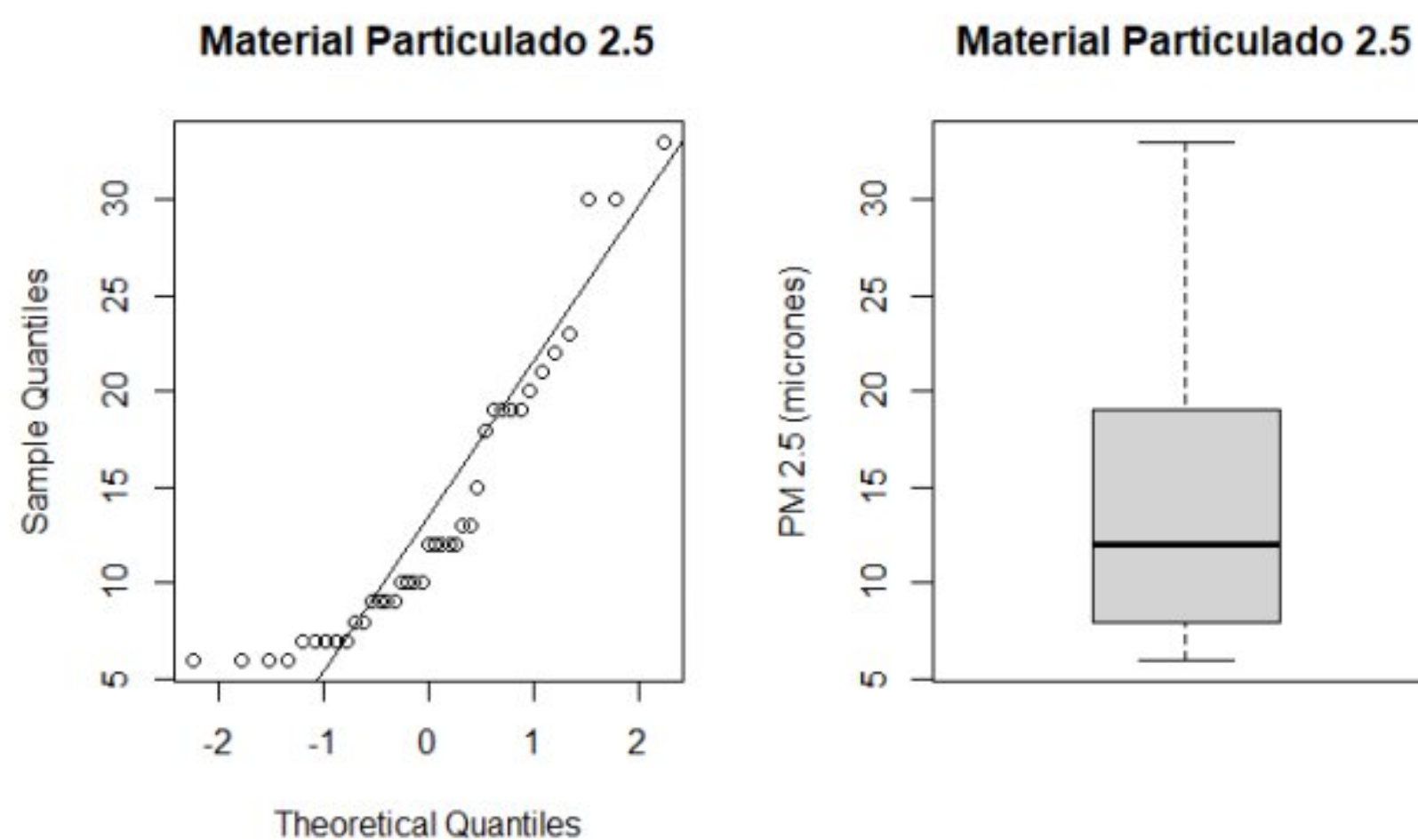
**Tabla 30:** Continuación de la tabla resumen estadístico de las concentraciones de material particulado. Valores más altos.

One sample t-test					
Valor de P.	Promedio	Hipótesis alternativa	Comparación	Hipótesis Alternativa OMS	Comparación
$<2.2 \cdot 10^{-16}$	13.46	el promedio no es igual a 50.	$13.46 < 50$	el promedio no es igual a 15	$13.46 < 15$
$8.25 \cdot 10^{-16}$	36.72	el promedio no es igual a 100	$36.72 < 100$	El promedio no es igual a 45	$36.75 < 15$
0.001934	73.62	el promedio no es igual a 100	$73.62 < 100$	El promedio no es igual a 45	$73.62 > 45$
0.165	111.00	el promedio no es igual a 100	$111 > 100$	El promedio no es igual a 45	$111 > 100$

La tabla 29 presenta un resumen estadístico de los resultados del día miércoles semana 3. Cuyo día se registraron valores significativamente altos fuera de la media de las concentraciones habituales del monitoreo. Mediante la estadística aplicada podemos explicar a más profundidad el comportamiento de los datos. La cual muestra los resultados promedio del día para el contaminante PM<sub>2.5</sub> en donde se identificó una desviación estándar alta demostrando que existe una gran variabilidad entre los resultados ya que el dato menor es de 6 micras y el máximo es de 33 micras. Por otro lado, también se analizó las concentraciones del día para el PM<sub>10</sub>, en donde nos indica una desviación estándar bastante elevada lo cual demuestra que existe una gran diferencia entre los resultados. Notamos que aquella diferencia se debe a que la menor concentración es de 12 micras, pero llega hasta 121 micras siendo la cifra más alta registrada. Sin embargo, el promedio del día es 55 representando una cifra normal para el PM<sub>10</sub> lo cual indica que hay que encontrar el momento en el que se presentaron picos en las mediciones. Para ello, se hicieron los mismos cálculos para la noche en donde se

encuentra el pico de las 121 micras, pero la desviación estándar sigue siendo muy elevada de 24.09. Lo cual nos llevó a identificar que los picos obtenidos provienen de las mediciones realizadas en el punto D horario nocturno. Con un promedio de 111 micras y una desviación estándar menor vemos que los datos varían menos entre sí. Es por ello que se determinó con el One Sample t-test el valor de  $p$ , el cual podemos observar en la tabla 30, promedio 24h de PM2.5 que es un valor despreciable, indicando que la hipótesis alternativa tiene más probabilidad que los datos sean diferentes a 50 micras; (límite nacional). Asimismo, el promedio de los valores cumple con los límites permisibles y las recomendaciones dispuestas por la OMS para PM2.5. Para el PM10, sucede algo interesante, en donde el promedio de las 24 horas cumple con las normativas. Sin embargo, al separar los valores extremos notamos que el promedio de los niveles en el punto D, son mayores a los límites permisibles de la OMS y nacionales.

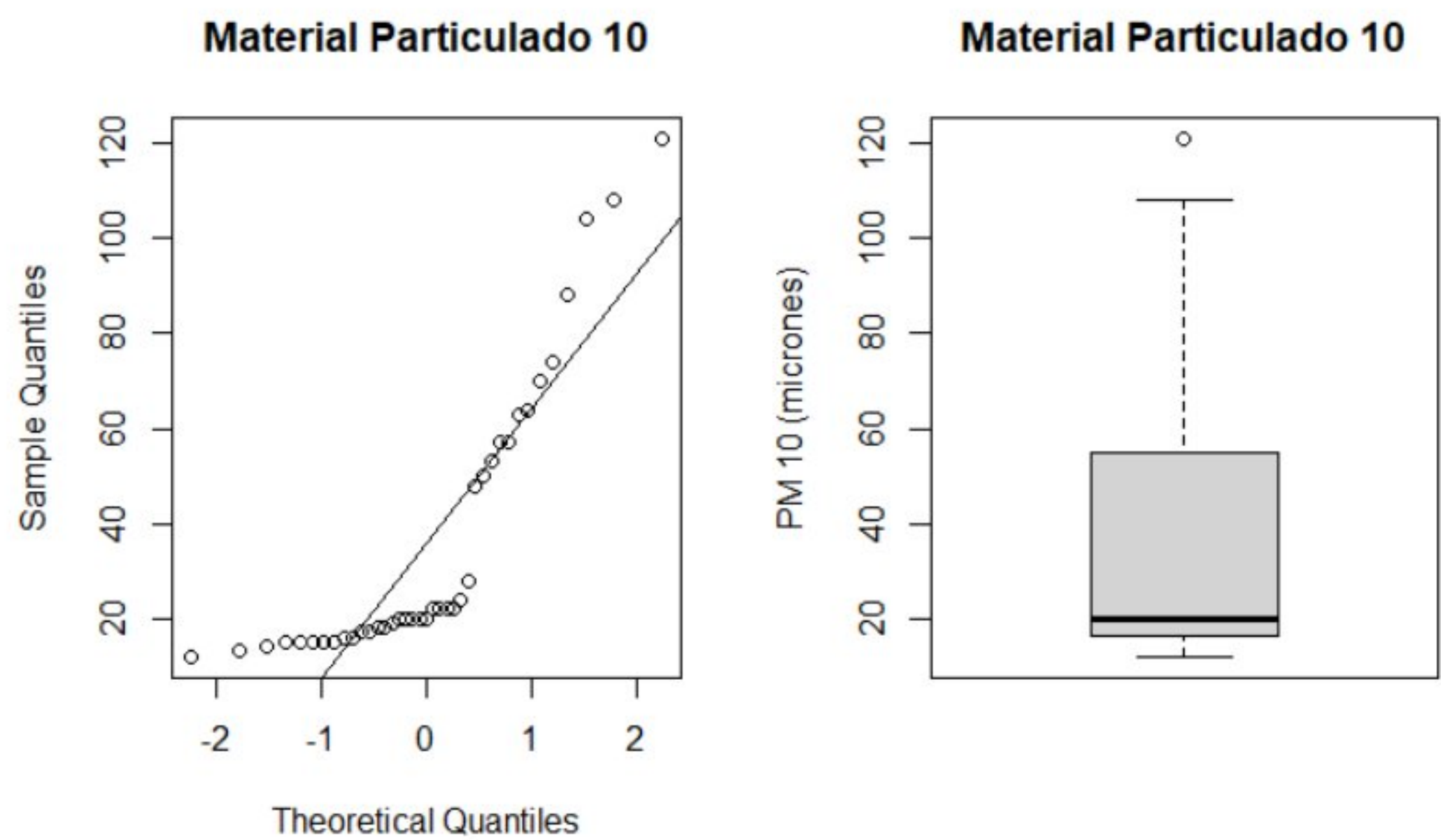
**Gráfico 7:** *Grafico de cajas y bigotes, comprobación paramétrica de los datos de dispersión de las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> del miércoles semana 3.*



Elaborado con RStudio por: Victoria Cedeño

En el gráfico 7 se representa lo planteado anteriormente en donde los valores se concentran más entre el primer cuartil de 8 micras y 19 micras para  $PM_{2.5}$  pero existe un pico de 33 micras.

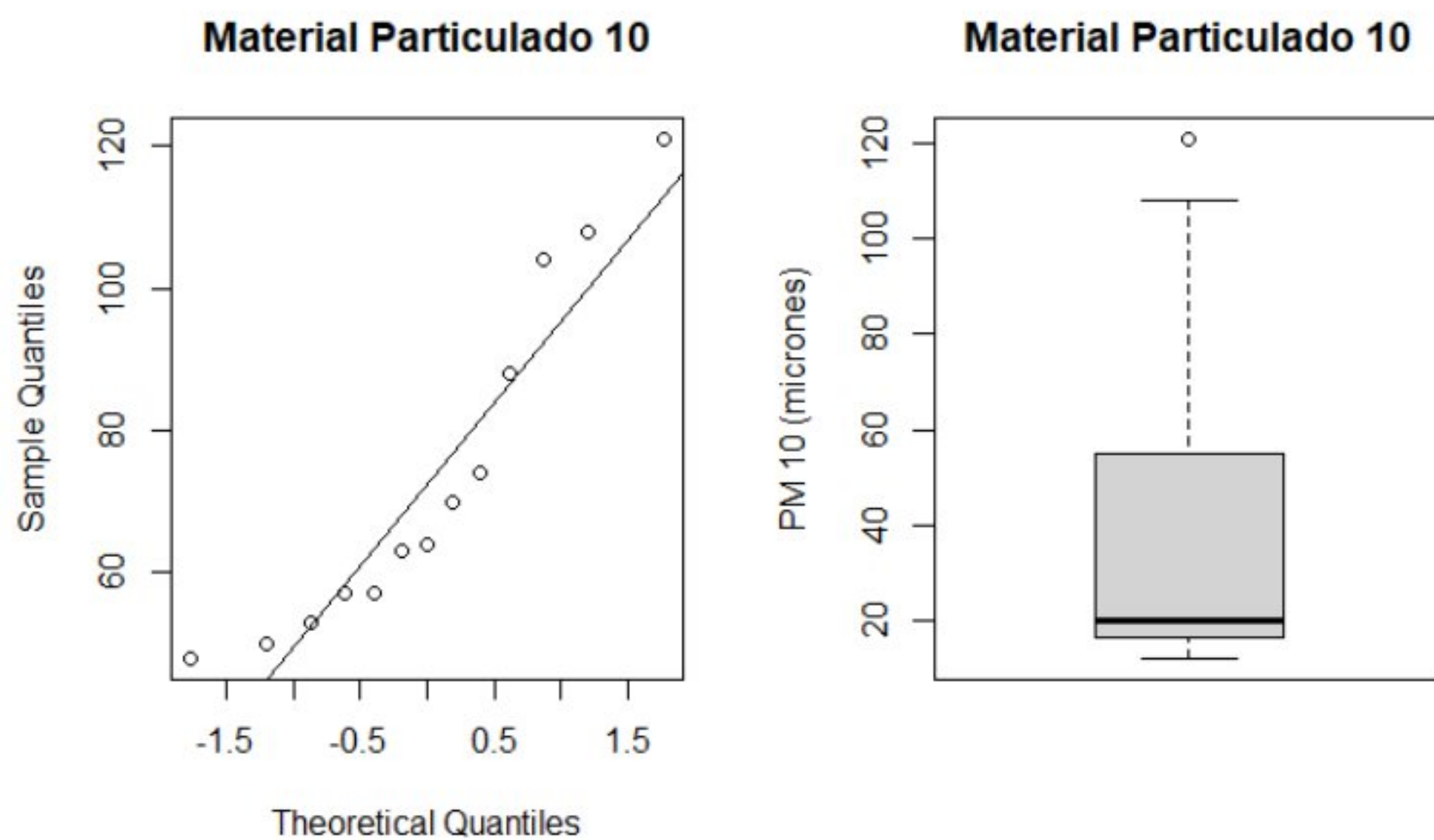
**Gráfico 8:** *Grafico de cajas y bigotes comprobación paramétrica de los datos de dispersión de las concentraciones de  $PM_{10}$  del miércoles semana 3.*



Elaborado con RStudio por: Victoria Cedeño

Lo mismo sucede con los gráficos para el promedio del día del  $PM_{10}$  en el cual la mayoría de las concentraciones permanecen entre 16.50 a 55 micras mostrando niveles bajos del contaminante. Sin embargo, se registra un resultado que llega al extremo siendo el máximo de 121 micras.

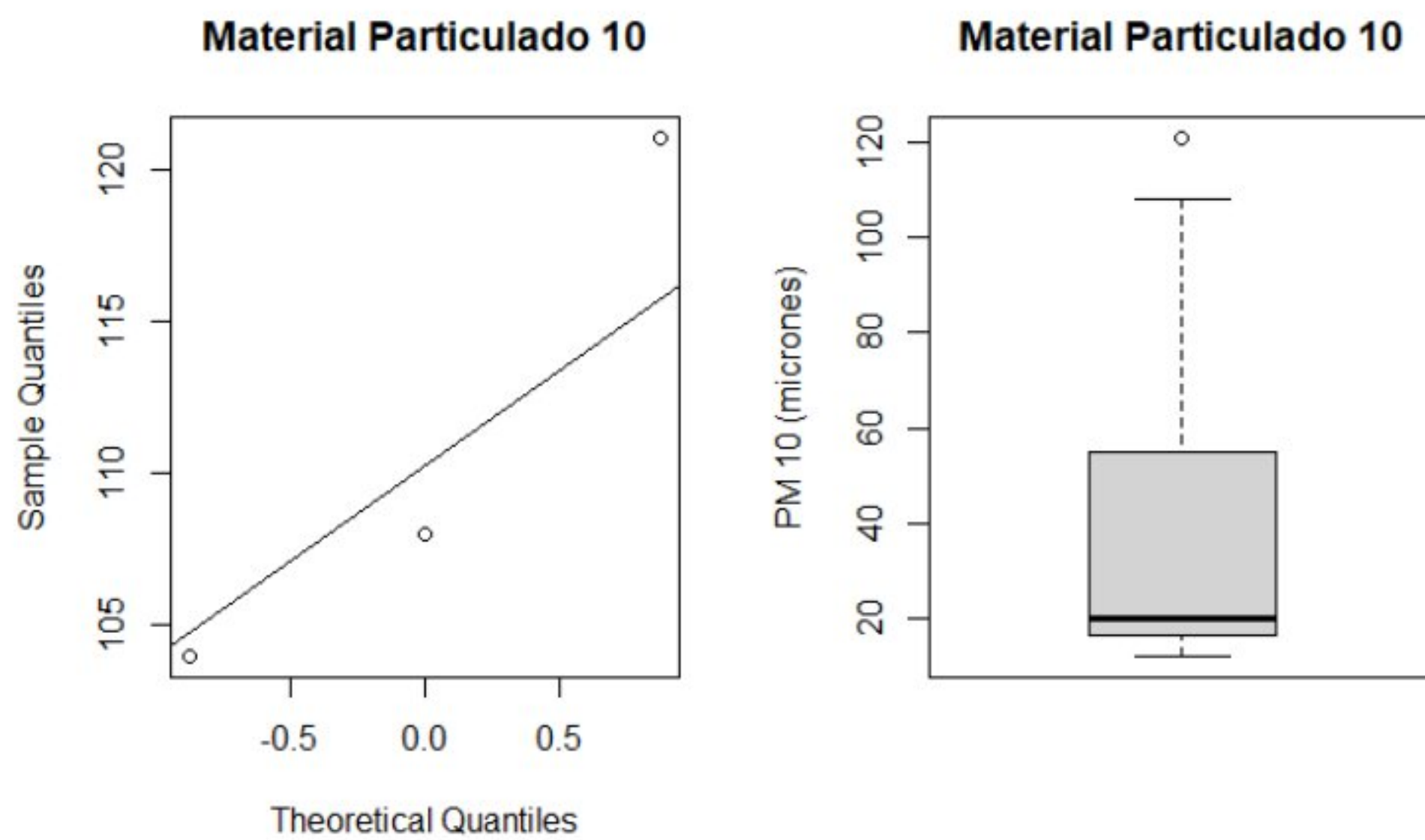
**Gráfico 9:** Grafico de cajas y bigotes comprobación paramétrica de los datos de dispersión de las concentraciones de  $PM_{10}$  del miércoles. Semana 3



Elaborado con RStudio por: Victoria Cedeño

Una vez que se reúne todos los datos correspondientes de la noche del día miércoles nos hemos concentrado en los niveles más altos de material particulado. Es interesante ver que muchos de los resultados siguen siendo bajos y tan solo son un pequeño grupo que superan las 100 micras. Por lo tanto, también analizamos a qué lugar pertenecen aquellas altas concentraciones para analizarlas por separado.

**Gráfico 10:** Grafico de cajas y bigotes comprobación paramétrica de los datos de dispersión de las concentraciones de  $PM_{10}$  del miércoles a las 23:00 pm semana 3

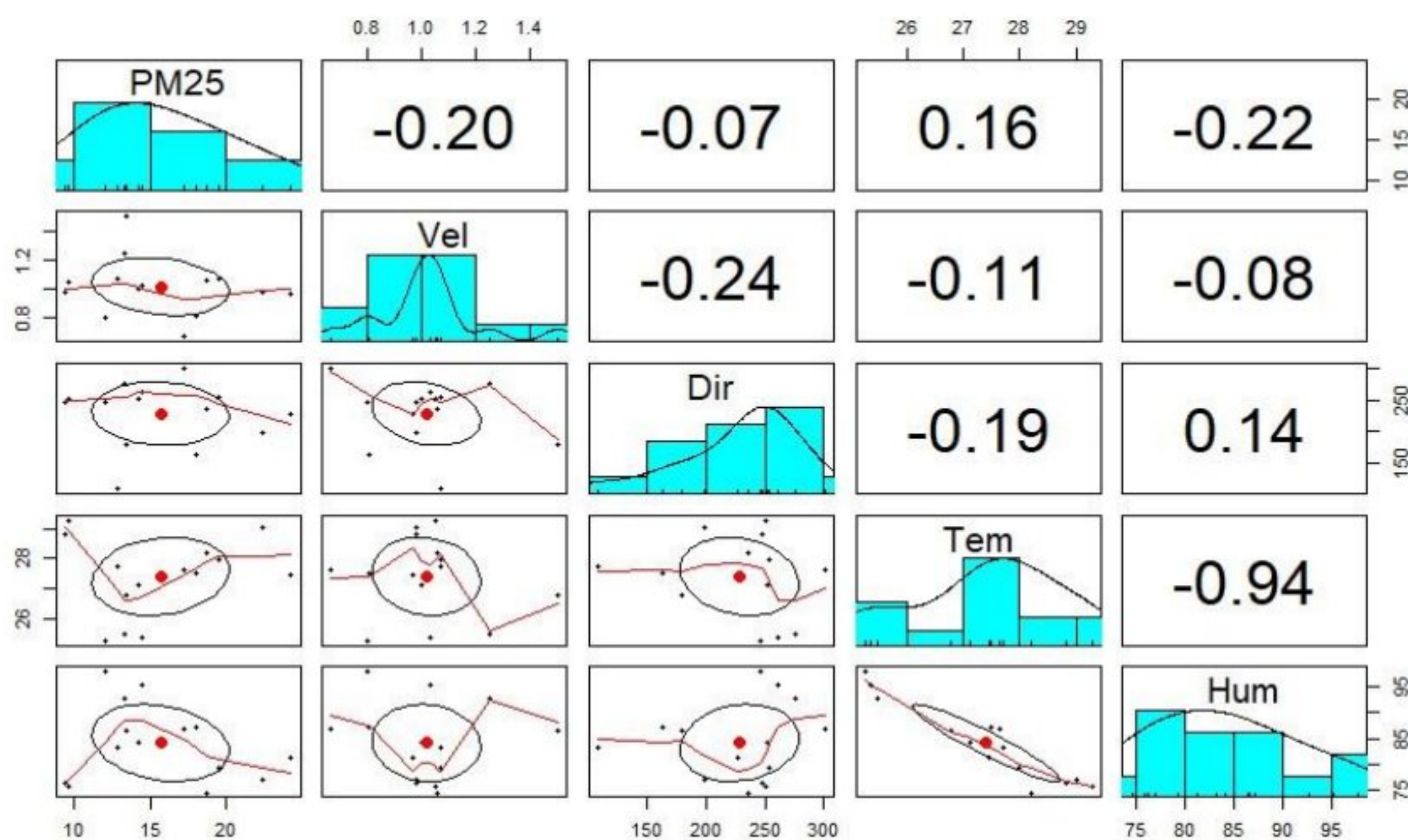


Elaborado con RStudio por: Victoria Cedeño

En estos gráficos tenemos los niveles más altos registrados. Tenemos concentraciones que van desde los 104 hasta las 121 micras. Se determinaron que estos niveles pertenecen al punto D.

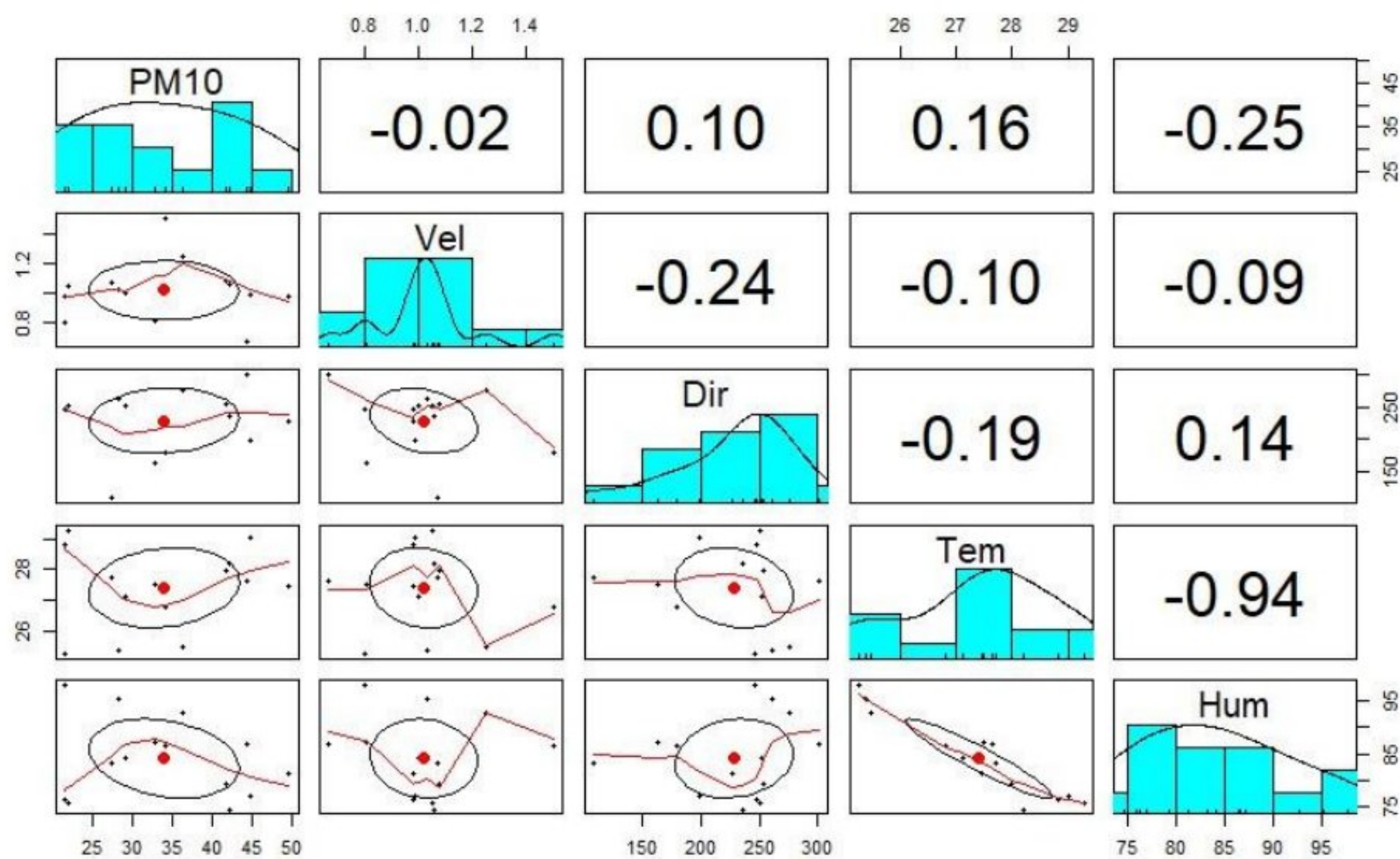
#### 4.5. Correlación de la influencia de los datos meteorológica.

**Figura 14:** Correlación entre el porcentaje de humedad y las concentraciones de PM2.5 en las 3 semanas de monitoreo.



En la figura 14, podemos observar las correlaciones y los gráficos de los factores meteorológicos que incidieron en las concentraciones de PM2.5 durante las 3 semanas del monitoreo. En resumen, los niveles de correlación son bajos como sucede en la relación del contaminante con la velocidad del viento, un valor de  $r: -0.20$ . Por otro lado, la correlación con la dirección del viento y el PM2.5 es nula, presentando un valor muy cercano al cero. No obstante, en cuanto a la temperatura, se muestra una correlación positiva baja de 0.16. Por último, el contaminante muestra una proporcionalidad inversa con la humedad de  $r:-0.22$ , representando el factor climático con mayor influencia en la zona.

**Figura 15:** Correlación entre la temperatura y los niveles de PM10 en cada una de sus estaciones durante las 3 semanas de monitoreo.



Finalmente, en la figura 15 observamos algo similar a lo anteriormente observado. Sin embargo, podemos observar que para el PM10 los factores se comportan de una manera diferente que en el caso del PM2.5. Por ejemplo, la correlación del contaminante con la velocidad  $r:-0.02$ ; es nula pero la relación con la dirección del viento es mas alta con un valor positivo de 0.10. En cuanto a la temperatura y humedad se tiene que  $r: 0.16$  y  $-0.25$ , respectivamente, valores muy similares a lo obtenido con el PM2.5. La humedad prevalece siendo la variable mas destacable del análisis.

**5. Discusión:**

En el presente caso de estudio se pudo visualizar que algunos habitantes de lugar pertenecientes a la tercera edad ya presentan ciertos problemas respiratorios porque se exponen

a las emisiones de material particulado cuando salen a caminar en un intento de mantener una vida activa sin saber a qué se están exponiendo.

Los mapas de interpolación nos muestran que el punto más crítico donde se obtuvieron valores más altos de los contaminantes fueron en la estación D. en el punto de relieve de la zona de estudio. También se destacan los puntos C y E como los menos afectados por el material particulado debido a que se registraron valores entre bajos e intermedios a lo largo de las 3 semanas de monitoreo.

Acorde a los gráficos realizados para determinar la relación de la humedad con los niveles de PM10 tenemos que existe una tendencia en donde a menos humedad en el ambiente los niveles del contaminante son mayores. En el análisis se determinó que la correlación de humedad es la más alta siendo de -0.25 inversamente proporcional. Asimismo, sucedió con el PM2.5 el cual tiene un valor  $r$ : -0.25. En cambio, se muestra que la velocidad del viento no influyó para este contaminante ya que su valor correlacional es casi cero. En cambio, la relación de la temperatura con el PM10 demuestra una correlación positiva en donde a mayor temperatura la producción del material particulado tiende a ser mayor esto prevaleció para ambos contaminantes con correlaciones positivas bajas de 0.16 cada una. Por otro lado, para los puntos C y E tienen una relación más baja con valores de 0.26 y 0.25 respectivamente para la correlación. En cuanto a velocidad, este parámetro solo influyó un poco en el PM.25 pero para el PM10 esta relación es nula. Lo mismo sucede con la dirección del viento, el cual es nula para el PM2.5 pero tiene una relación positiva baja en el PM10. Comparando estos resultados con estudios distintos por (Ramos, 2023) encontraron una correlación positiva fuerte de  $r=0.891$  obteniendo una relación similar a la obtenida por (Ediagbonya et al. (2013) quienes consiguieron una correlación de  $r=0.707$  en donde se argumentaba que una mayor temperatura incrementa la reactividad de los gases en el aire lo que produce más material particulado



(Elminir, 2005; González-Duque et al., 2015). En cuanto a la humedad relativa también hallaron que hay una correlación negativa fuerte de  $r=-0.69$  en donde el material particulado al ser higroscópico y la humedad relativa aumenta las partículas 73 disminuyen. Esto sucede porque el material particulado es más propenso a sedimentarse y depositarse. Es decir, cuando la humedad disminuye se registra más material particulado. Aunque en la presente investigación no se obtuvieron correlaciones altas, esto igual nos ayuda a comprender la posible relación y comportamiento de ciertas variables climáticas sobre los contaminantes.

En el análisis estadístico de los valores más altos obtenidos en el día miércoles de la semana 3 hemos analizado sus concentraciones de  $PM_{10}$  para el periodo de 24 horas y encontramos que el promedio de estos valores nos da niveles que respetan la normativa nacional que es de 100 micras y solo se obtuvieron 55 micras. Sin embargo, la desviación estándar de los resultados es bastante alta de 29.5 mostrando una considerable disparidad de los datos. Al investigar más profundamente la explicación para este comportamiento de las concentraciones del material particulado de 10 micras obtuvimos que los valores extremos permanecen a las mediciones realizadas en la noche a las 23:00 pm pero que los niveles más altos se encontraban en un solo lugar el cual es la estación D. Tal sucede que, aunque este punto de monitoreo se encuentre más alejado del punto de emisiones es el lugar en el que se han registrado concentraciones más altas que sobrepasan la normativa legal. A raíz de esto se pudo observar que aunque las emisiones de la cantera no sobrepasan la normativa ambiental ecuatoriana en los periodos de 24 horas, esta misma tiene ciertos vacíos ya que no se consideran los periodos cortos donde sí pueden ocurrir lecturas bastante altas en donde incluso pueden intervenir factores antropogénicos, esto quedó demostrado con los dos días que presentaron picos a ciertas horas logrando que el contador de partículas calibrado con normativa internacional emitiera un sonido de alerta. En otras palabras, esto podría subestimar la situación que padece

la población ya que las preocupaciones de los habitantes no son respaldadas por la ley ambiental.

## **6. Conclusiones y Recomendaciones**

### **6.1. Conclusiones:**

- El plan de monitoreo implementado en este estudio nos permitió de manera acertada la recopilación de los datos concluyendo el punto de mayor influencia es el punto D, que es el punto más alejado de la cantera, siguiéndole el punto A ya que este también es afectado por su cercanía a la carretera, y el punto de menor influencia es el B, el punto más cercano a la cantera.
- Siguiendo las indicaciones de la normativa ambiental ecuatoriana se concluye que las emisiones de material particulado ( $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ ), tomadas por un Contador de partículas, cumple con los límites máximos permisibles, sin embargo, se hace la observación de los vacíos que existen en esta normativa nacional.
- El software ArcGis es bastante idóneo para la realización de un modelo de dispersión y la evaluación de los datos recopilados para poder obtener las conclusiones expuestas anteriormente.
- Los factores meteorológicos tienen una mayor influencia en los primeros puntos A y B y una influencia baja para los puntos E y C. Por otro lado, no se encontró relación alguna con las concentraciones dadas en el punto D. Es decir que los factores meteorológicos no tuvieron un rol para la variación de las concentraciones en el punto D. Esto se demuestra en los gráficos y el análisis estadístico realizado para cada punto durante las 3 semanas de monitoreo. Asimismo, los valores más altos registrados sucedieron en el punto D sin mayor influencia de los factores meteorológicos.

- Dentro del estudio los factores climáticos que más prevalecieron en las concentraciones fueron la temperatura y la humedad. Dentro de los registros dados por la estación meteorológica hubo una precipitación ligera durante ciertos días, pero no se considera que esto haya afectado de manera considerable los niveles de material particulado medidos. De igual forma no se considera que el viento haya influido muy representativamente en las concentraciones de los contaminantes ya que prevalecen velocidades pequeñas, pero si hay poca uniformidad en la dirección del viento esta se dirige hacia el este noroeste y norte principalmente.

## **6.2. Recomendaciones:**

- Realizar este monitoreo de material particulado (PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>) en épocas del año donde no exista presencia considerable de lluvias ya que este factor meteorológico puede afectar o impedir las tomas de muestra con un contador de partículas.
- Al momento del monitoreo se recomienda tener más de un contador de partículas para poder agregar un nuevo horario de tomas de muestra y poder promediar mejor los datos de los días para ser casi tan precisos como un monitoreo prolongado de 24 horas.
- Investigar los métodos de interpolación que se ajusten mejor a la situación real del lugar donde se decida hacer un monitoreo ya que si bien algunos pueden ser parecidos, no usan una metodología igual.
- Llevar un registro manual sobre las observaciones que se encuentren en el día y la hora a la que se tome la muestra ya que todos esos detalles que se observen pueden afectar significativamente al monitoreo.
- Para realizar el modelo de dispersión considerar tomar más variables que influyan en estas muestras, no solo la concentración de material particulado para poderlo

ingresar a un programa que pueda realizar modelos estadísticos, también tomar más datos en el día ya que les ayudara a tener más datos ingresados en el mismo programa.

## 7. Bibliografía:

- Efectos del material particulado (PM) sobre la salud y el medioambiente | US EPA. (2018, June 4). Recuperado el 10 de enero del 2024 de: <https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-del-material-particulado-pm-sobre-la-salud-y-el-medioambiente#:~:text=Efectos%20sobre%20la%20salud&text=s%C3%ADntomas%20respiratorios%20aumentados%2C%20como%20irritaci%C3%B3n,pulmonares%2C%20ni%C3%B1os%20y%20adultos%20mayores.>
- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). (26 de Junio de 2023). *Conceptos básicos sobre el material particulado (PM, por sus siglas en inglés)*. Obtenido de Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA): <https://espanol.epa.gov/espanol/conceptos-basicos-sobre-el-material-particulado-pm-por-sus-siglas-en-ingles>
- José Carlos Mora-Barrantes, J. P.-B.-A. (2021). Fuentes antropogénicas y naturales de contaminación atmosférica: estado del arte de su impacto en la calidad fisicoquímica del agua de lluvia y de niebla. *Tecnología en Marcha*, 92-103.
- Sandoval D., B. R. (2019). Mecanismos de los efectos nocivos para la salud de la contaminación atmosférica proveniente de incendios forestales. *Revista chilena de enfermedades respiratorias*, 35(1), 49-57.
- da Silva, Alexandra Maria Emídio Viana. Emissões fugitivas de partículas para a atmosfera : Caracterização, impactos e mitigação. [Order No. 28477384]. Universidade de Aveiro (Portugal); 2017.

- Rodríguez-Guerra, A., & Cuvi, N. (2019). Contaminación del aire y justicia ambiental en Quito, Ecuador. *Front. J. Soc. Technol. Environ. Sci.* 8, 13–46. <https://doi.org/10.21664/2238-8869.2019v8i3.p13-46>
- Chiluíza Ramirez, C. N. (2019). Evaluación de la Concentración de Material Particulado PM10 y PM2. 5 en la Parroquia Belisario Quevedo de la Provincia de Cotopaxi en el periodo 2018–2019 (Bachelor's thesis, Ecuador, Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)).
- Acosta Ochoa, D. M., & Barahona Pardo, L. (2008). Estudio preliminar sobre los efectos que pueden causar la lluvia ácida en las especies vegetales Caucho Sabanero (*Ficus soatensis*) Arboloco (*Smallanthus pyramidalis*) y Cajeto (*Cythorexylum subflavescens*) en la estación piloto de la Universidad de La Salle localidad 17, La Candelaria.
- Salas, J. (2021). Gestión de la calidad del aire y emisiones: Caso óxidos de nitrógeno (NOx), en el Departamento de Lavalleja-Uruguay.
- Beltrán Castañeda, L. F. Evaluación y propuesta de manejo de las emisiones de contaminantes generados en el proceso productivo de la empresa Itacol SA Planta Funza.
- Silva Gómez, S. I. (2021). *Evaluación de carbonilos, PM2. 5 y especies de carbono negro en ambientes intramuros y extramuros de la Ciudad de México* (Master's thesis, Universidad Autónoma Metropolitana (México). Unidad Azcapotzalco. Coordinación de Servicios de Información.).
- Martí, M. A. C. (2007). *Principios de ecotoxicología*. Editorial Tebar.

- Flores-Cortez, O. O., Cortez, R. A., & Rosa, V. (2022). Implementación de un sistema IoT de bajo costo para el monitoreo de la calidad del aire en El Salvador. *arXiv preprint arXiv:2207.09975*.
- Juárez Castro, G. (2015). *Aislamiento y caracterización de actinomicetos presentes en el aire de la ciudad de Puebla, México y modelado del transporte aerobiológico* (Bachelor's thesis, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla).
- Velasteguí, A. X. H., Limáico Nieto, C. T., Cahueñas, N. P. P., & Parra, M. I. F. (2018). Evaluación de la Estabilidad Atmosférica Bajo Condiciones Físicas y Meteorológicas del Altiplano Ecuatoriano. *Revista Brasileira De Meteorologia*, 33(2), 336–343. <https://doi.org/10.1590/0102-7786332015>
- Oscar Andrés Vidal-Daza, & Pérez-Vidal, A. (2018). Estimación de la Dispersión de Contaminantes Atmosféricos Emitidos por una Industria Papelera Mediante el Modelo AERMOD. *Ingeniería*, 23(1), 31–47. Retrieved from <https://www.redalyc.org/journal/4988/498858053003/html/>
- Ramos Pérez, L. K. (2021). Evaluación de la calidad del agua purificada por osmosis inversa para el consumo en instituciones educativas, Manantay, Coronel Portillo, Ucayali.
- Guerrero, G., Rolando, D., Hidalgo, V., & Javier, E. (2021). *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO CARRERA: INGENIERÍA AMBIENTAL Trabajo de titulación previo a la obtención del título de: INGENIEROS AMBIENTALES TEMA: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE EL USO DE SENSORES DE BAJO COSTO DE MATERIAL PARTICULADO 2,5, UBICADOS ALREDEDOR DE*

*DOS ESTACIONES DE LA RED DE MONITOREO ATMOSFÉRICO DEL DMQ*

AUTORES: TUTOR: ULLOA VACA CARLOS ANDRÉS Quito, septiembre del 2021.

Retrieved from <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/20874/1/UPS%20-%20TTS489.pdf>

- da Silva, Alexandra Maria Emídio Viana. Emissões fugitivas de partículas para a atmosfera : Caracterização, impactos e mitigação. [Order No. 28477384]. Universidade de Aveiro (Portugal); 2017.

- Rodríguez-Guerra, A., & Cuví, N. (2019). Contaminación del aire y justicia ambiental en Quito, Ecuador. *Front. J. Soc. Technol. Environ. Sci.* 8, 13–46. <https://doi.org/10.21664/2238-8869.2019v8i3.p13-46>

- Tirado Caraballo, D. A. (2022). EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE POR MATERIAL PARTICULADO PM10 EN UNA ZONA DEL BARRIO CIUDAD SALITRE EN LA LOCALIDAD DE FONTIBÓN (UPZ110). Obtenido de Universidad Libre: <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/23665>

- INAMHI (2021) *CONDICIONES METEOROLÓGICAS GUAYAQUIL - DURÁN Guayaquil, Jueves 21 de enero de 2021*. Recuperado el 20 de febrero de 2024 de: <https://www.inamhi.gob.ec/meteorologia/bolhist/GUAYAQUIL/DIARIO/2021/ENERO/BOLETIN%20METEOROLOGICO%20GUAYAQUIL%202021%20DE%20ENERO%20DE%202021.pdf>

- CIUDADANO. (9 de Noviembre de 2023). *Uno de cada cuatro pacientes que atiende la red de hospitales del Municipio padece una enfermedad respiratoria*. Obtenido de Alcaldía de Guayaquil: <https://www.guayaquil.gob.ec/cada-cuatro-pacientes-atiende-red-hospitales-municipio-padece-enfermedad-respiratoria/>

## 8. Anexos

### 8.1. Registro de los promedios sobre los días en que se tomaron las mediciones de material particulado

Puntos	UTM X	UTM Y	Semana	Días	Horas	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>
A	614542,00	9758488,00	2	Lunes	14h00	17,17	30,83
A	614542,00	9758488,00	3	Lunes	23h00	13,17	29,17
B	614334,00	9758919,00	2	Lunes	14h00	17,00	29,50
B	614334,00	9758919,00	3	Lunes	23h00	13,17	27,50
C	614814,00	9759018,00	2	Lunes	14h00	18,50	35,50
C	614814,00	9759018,00	3	Lunes	23h00	11,00	28,00
D	615088,00	9759587,00	2	Lunes	14h00	20,33	38,17
D	615088,00	9759587,00	3	Lunes	23h00	15,00	26,50
E	614799,00	9759121,00	2	Lunes	14h00	17,00	29,50
E	614799,00	9759121,00	3	Lunes	23h00	12,00	25,00

Puntos	UTM X	UTM Y	Semana	Días	Horas	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>
A	614542,00	9758488,00	1	Martes	09h00	19,11	39,78
A	614542,00	9758488,00	2	Martes	14h00	18,33	43,67
A	614542,00	9758488,00	3	Martes	23h00	14,00	28,33
B	614334,00	9758919,00	1	Martes	09h00	18,78	42,89
B	614334,00	9758919,00	2	Martes	14h00	16,67	44,50
B	614334,00	9758919,00	3	Martes	23h00	14,00	31,83
C	614814,00	9759018,00	1	Martes	09h00	17,89	39,78
C	614814,00	9759018,00	2	Martes	14h00	17,17	45,00
C	614814,00	9759018,00	3	Martes	23h00	13,50	24,00
D	615088,00	9759587,00	1	Martes	09h00	20,33	48,22
D	615088,00	9759587,00	2	Martes	14h00	17,33	43,00
D	615088,00	9759587,00	3	Martes	23h00	15,83	33,83
E	614799,00	9759121,00	1	Martes	09h00	17,33	39,67
E	614799,00	9759121,00	2	Martes	14h00	16,50	45,50
E	614799,00	9759121,00	3	Martes	23h00	27,00	27,00



Puntos	UTM X	UTM Y	Semana	Días	Horas	PM 2.5	PM 10
A	614542,00	9758488,00	1	Miércoles	09h00	21,11	43,22
A	614542,00	9758488,00	2	Miércoles	14h00	13,11	31,00
A	614542,00	9758488,00	3	Miércoles	23h00	13,22	35,00
B	614334,00	9758919,00	1	Miércoles	09h00	21,67	43,56
B	614334,00	9758919,00	2	Miércoles	14h00	10,67	24,67
B	614334,00	9758919,00	3	Miércoles	23h00	10,78	27,22
C	614814,00	9759018,00	1	Miércoles	09h00	24,67	51,56
C	614814,00	9759018,00	2	Miércoles	14h00	11,78	30,78
C	614814,00	9759018,00	3	Miércoles	23h00	12,67	36,11
D	615088,00	9759587,00	1	Miércoles	09h00	27,67	59,56
D	615088,00	9759587,00	2	Miércoles	14h00	16,56	43,11
D	615088,00	9759587,00	3	Miércoles	23h00	17,56	49,78
E	614799,00	9759121,00	1	Miércoles	09h00	25,00	50,33
E	614799,00	9759121,00	2	Miércoles	14h00	15,00	40,33
E	614799,00	9759121,00	3	Miércoles	23h00	12,33	33,00

Puntos	UTM X	UTM Y	Semana	Días	Horas	PM 2.5	PM 10
A	614542,00	9758488,00	1	Jueves	09h00	22,33	48,17
A	614542,00	9758488,00	2	Jueves	14h00	8,33	21,11
A	614542,00	9758488,00	3	Jueves	23h00	15,33	33,00
B	614334,00	9758919,00	1	Jueves	09h00	22,67	47,00
B	614334,00	9758919,00	2	Jueves	14h00	12,22	25,78
B	614334,00	9758919,00	3	Jueves	23h00	13,83	29,17
C	614814,00	9759018,00	1	Jueves	09h00	21,33	41,67
C	614814,00	9759018,00	2	Jueves	14h00	8,67	19,78
C	614814,00	9759018,00	3	Jueves	23h00	13,17	25,00
D	615088,00	9759587,00	1	Jueves	09h00	23,00	46,17
D	615088,00	9759587,00	2	Jueves	14h00	9,89	22,11
D	615088,00	9759587,00	3	Jueves	23h00	16,33	30,00
E	614799,00	9759121,00	1	Jueves	09h00	22,50	41,00
E	614799,00	9759121,00	2	Jueves	14h00	9,00	20,67
E	614799,00	9759121,00	3	Jueves	23h00	13,50	24,00

Puntos	UTM X	UTM Y	Semana	Días	Horas	PM 2.5	PM 10
A	614542,00	9758488,00	1	Viernes	09h00	18,17	34,50
A	614542,00	9758488,00	2	Viernes	14h00	11,22	27,22
A	614542,00	9758488,00	3	Viernes	23h00	11,57	19,86
B	614334,00	9758919,00	1	Viernes	09h00	20,67	41,00
B	614334,00	9758919,00	2	Viernes	14h00	7,33	20,83
B	614334,00	9758919,00	3	Viernes	23h00	12,83	21,67
C	614814,00	9759018,00	1	Viernes	09h00	18,33	40,50
C	614814,00	9759018,00	2	Viernes	14h00	8,33	18,50
C	614814,00	9759018,00	3	Viernes	23h00	10,50	19,17
D	615088,00	9759587,00	1	Viernes	09h00	20,00	46,67
D	615088,00	9759587,00	2	Viernes	14h00	10,00	21,17
D	615088,00	9759587,00	3	Viernes	23h00	12,67	26,17
E	614799,00	9759121,00	1	Viernes	09h00	20,50	45,50
E	614799,00	9759121,00	2	Viernes	14h00	10,00	20,00
E	614799,00	9759121,00	3	Viernes	23h00	12,50	20,00

Elaborado por: Alvarado y Cedeño

## 8.2. Certificado de calibración del contador de partículas CEM/DT9881

**ALCOMAX ECUADOR SAS**

**EC-0847-2023**

RUC: 1793118569001  
 Av 6 de diciembre n40 - 37 y Av Gaspar de Villarroel  
 Edificio Parque Real, Almendro 4, Interior 15 - Batán Bajo  
 026002225 - 0969914619  
[ventas@alcomaxecuador.com](mailto:ventas@alcomaxecuador.com)  
 Quito - Ecuador

Nombre de la entidad o persona que solicita el servicio: **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

### Información del equipo

**Modelo:** Contador de Partículas CEM/DT9881  
**Serial:** 220624728  
**Marca:** CEM  
**Canales:** 0.3, 0.5, 1.0, 2.5, 5.0, 10µm  
**Fecha de calibración de fabrica:** 15/07/2022  
**Estado:** Nuevo- Verificación a calibración de fabrica

### Patrones usados:

PATRON	MARCA/ MODELO	SERIAL	TEST REPORT FABRICA
Monitor de aerosol de escritorio	TSI 8530	8530165119	202152502

**Método de calibración:** Método de comparación directa contra el patrón definido por el fabricante como monitor de aerosol para lecturas de masa en tiempo real con muestreo gravimétrico. Verificación a trazabilidad conforme procedimiento interno LAB TOX A1 B5 (procedimiento de mantenimiento, calibración y/o verificación de equipos de medición de partículas de ambiente) el cual está basado en los requerimientos de la ISO17025. Previo a la calibración se confirmo el estado del instrumento.

### Resultados de la medición:

Tipo de calibración	Valor de referencia	Valor de prueba	Status
Sensor HCHO	+5%F.S	+5%F.S	PASS
Prueba de repetitividad	<10%FS	<10%FS	PASS
Valor de densidad de partículas/ desviación	+30%F.S	<30%FS	PASS
Flujo de aire	2.83L +5%	2.80L	PASS

TEMPERATURA	HUMEDAD RELATIVA
23 +3C°	50 +20%RH



Escaneado con CamScanner

**ALCOMAX ECUADOR SAS**

**EC-0847-2023**

RUC: 1793118569001  
Av 6 de diciembre n40 - 37 y Av Gaspar de Villarreal  
Edificio Parque Real, Almendro 4, Interior 15 - Batán Bajo  
026002225 - 0969914619  
[ventas@alcomaxecuador.com](mailto:ventas@alcomaxecuador.com)  
Quito - Ecuador

**Factura N°: 001-002-000000388**

**Fecha de verificación: 22/02/2023**


**Steaker N°: 15866**

Calibrado por:

Aprobado por:

  
Daniel Duarte  
ALCOMAX EC.



  
Camilo Velasquez  
ALCOMAX EC.

Todas las calibraciones son realizadas usando patrones reconocidos a nivel internacional o usando constantes físicas naturales. La información que contiene este certificado solo aplica al equipo identificado en la parte superior bajo las condiciones de humedad relativa y temperatura del momento que se indica, y no puede ser reproducida, sin previo consentimiento escrito de ALCOMAX EC.



Escaneado con CamScanner



SHENZHEN EVERBEST MACHINERY INDUSTRY CO.,LTD

19TH BUILDING,5TH REGION,BAIWANGXIN INDUSTRIAL PARK.SONGBAI RD,BAIMANG,XILI,NANSHAN SHENZHEN CHINA 518108

TEL:86.755.27353188

FAX:86.755.27652253

### TEST REPORT

1 of 1

MODEL: DT-9881M Particle Counter

Serial Number:220624728

Report Number:202227220

Referance Instrument: TSI 8530

Instrument Series Number:8530165119

Environment Temperature:23±3℃

Humidity: 50±20%RH

Calibration Date:2022-07-15

Issue Date:2022-07-15

Calibrated By *Li Menglong*

Issue Name: Peng Xingen

Calibrate Type	Display Value	Test Value	Result
HCHO Measure	±5%F.S	±5%F.S	Passed
CO Measure	±5%F.S	±5%F.S	Passed
Repeatability Testing	≤10%FS	<10%FS	Passed
Particle Density Value Deviation	±30%FS	<30%FS	Passed
Air Flow	2.83L±5%	2.90L	Passed

Conclusion: Pass at Calibration Item.



深圳市华盛昌科技实业股份有限公司

深圳市南山区西丽白芒松白路  
百旺信工业区5区19栋 518108

电话: 86.755.27353188  
传真: 86.755.27652253

Escaneado con CamScanner

### 8.3. Evidencia de tomas de muestra



