

1era Ed.

2026

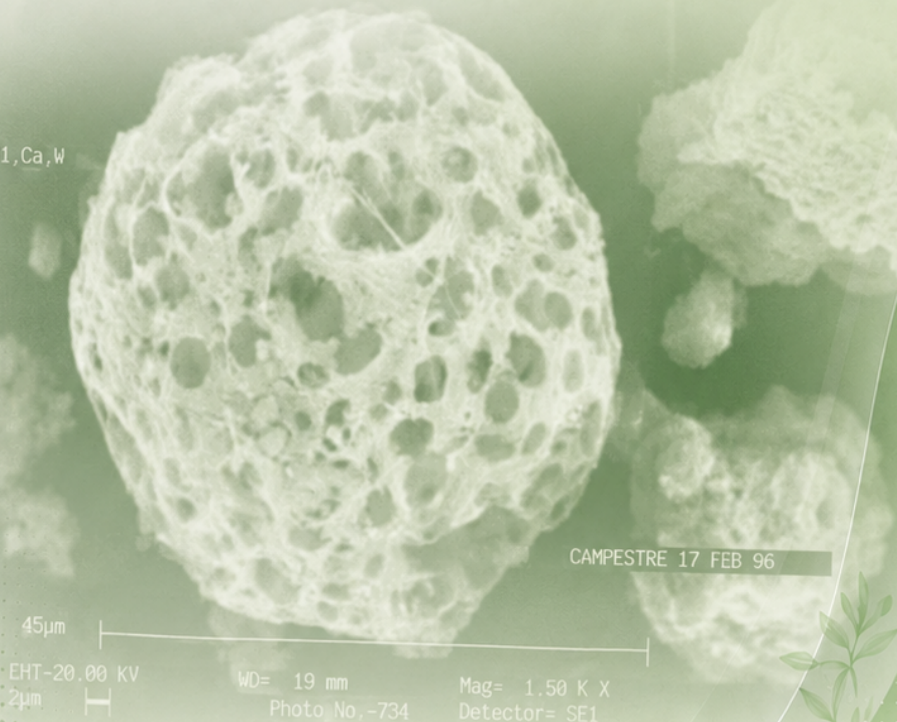


DETERMINACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO EN ZONAS URBANAS Y RURALES DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO, ECUADOR



*Determination of Particulate Matter in Urban and Rural
Areas of Chimborazo Province, Ecuador*

S, S1, Ca, W



AUTORES:

Guido Patricio Santillán Lima
María Rafaela Viteri Uzcátegui
Benito Guillermo Mendoza Trujillo
Marco Marcel Paredes Herrera
Marco Vinicio Rodríguez Llerena
Carlos Andrés Maldonado Chávez
Jonathan Javier Orozco Pilco



puertomaderoeditorial.com.ar



La Plata - Argentina

DETERMINACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO EN ZONAS URBANAS Y RURALES DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO, ECUADOR

*Determination of Particulate Matter in Urban and Rural Areas of
Chimborazo Province, Ecuador*

AUTORES:

Santillán Lima et al.

ISBN: 978-631-6557-93-3



DETERMINACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO EN ZONAS URBANAS Y RURALES DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO, ECUADOR

*Determination of Particulate Matter in Urban and Rural Areas of
Chimborazo Province, Ecuador*

1era Edición

Autores:

Guido Patricio Santillán Lima, María Rafaela Viteri Uzcátegui, Benito Guillermo Mendoza Trujillo, Marco Marcel Paredes Herrera, Marco Vinicio Rodríguez Llerena, Carlos Andrés Maldonado Chávez, Jonathan Javier Orozco Pilco



DETERMINACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO EN ZONAS URBANAS Y RURALES
DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO, ECUADOR / Santillán Lima Guido Patricio ... [et al.] ;
Editado por Nelson Patricio Bravo Yumi. - 1a ed.. - La Plata : Puerto Madero Editorial Académica,
2026.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-631-6557-93-3

DOI: <https://doi.org/10.55204/pmea.138>

1. Ingeniería Ambiental. I. Guido Patricio, Santillán Lima II. Bravo Yumi, Nelson Patricio, ed.
CDD 620.8



Licencia Creative Commons:

Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0).



1a ed.

TÍTULO: DETERMINACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO EN ZONAS URBANAS Y RURALES DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO, ECUADOR

Determination of Particulate Matter in Urban and Rural Areas of Chimborazo Province, Ecuador

ISBN: 978-631-6557-93-3

DOI: <https://doi.org/10.55204/pmea.138>

Editado por:

Sello editorial: ©Puerto Madero Editorial Académica

N° de Alta: 933832

Editorial: ©Puerto Madero Editorial Académica

CUIL: 20630333971

Calle 45 N491 entre 4 y 5

Dirección de Publicaciones Científicas Puerto Madero Editorial Académica

La Plata, Buenos Aires, Argentina

Teléfono: +593 97841973

Código Postal: AR1900

Este libro se sometió a arbitraje bajo el sistema de doble ciego (peer review)

Corrección y diseño:

Puerto Madero Editorial Académica

Diseñador Gráfico: José Luis Santillán Lima

Diseño, Montaje y Producción Editorial:

Puerto Madero Editorial Académica

Diseñador Gráfico: José Luis Santillán Lima

Director del equipo editorial: Nelson Patricio Bravo Yumi

Editor: Nelson Patricio Bravo Yumi

Hecho en Argentina

Made in Argentina

AUTORES

Guido Patricio Santillán Lima

Grupo de Investigación Estudios Interdisciplinarios, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo, Av. Antonio José de Sucre km 1½ vía Guano, Riobamba 060103, Ecuador.

psantillan@unach.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-0743-9107>

María Rafaela Viteri Uzcátegui

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

rafaela.viteri@espoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-6479-4343>

Benito Guillermo Mendoza Trujillo

Grupo de Investigación Estudios Interdisciplinarios, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo, Av. Antonio José de Sucre km 1½ vía Guano, Riobamba 060103, Ecuador.

benitomendoza@unach.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-8555-8350>

Marco Marcel Paredes Herrera

Carrera de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo

marcelparedes@unach.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-3762-9633>

Marco Vinicio Rodríguez Llerena

Grupo de Investigación Estudios Interdisciplinarios, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo, Av. Antonio José de Sucre km 1½ vía Guano, Riobamba 060103, Ecuador.

mvrodriguez@unach.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-0743-9107>

Carlos Andrés Maldonado Chávez

Grupo de Investigación Estudios Interdisciplinarios, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo, Av. Antonio José de Sucre km 1½ vía Guano, Riobamba 060103, Ecuador.

carlosa.maldonado@unach.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-0743-9107>

Jonathan Javier Orozco Pilco

Grupo de Investigación Estudios Interdisciplinarios, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo, Av. Antonio José de Sucre km 1½ vía Guano, Riobamba 060103, Ecuador.

jonathan.orozco@unach.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-7618-4112>

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
1 CONTAMINACIÓN DEL AIRE	3
1.1 Fuentes de contaminación atmosférica	4
1.2 Afectaciones a la salud pública	5
1.3 Afectaciones al ambiente	7
2 MATERIAL PARTICULADO: CLASIFICACIÓN Y COMPOSICIÓN QUÍMICA	9
2.1 Material particulado	9
2.1.1 Diámetros del material particulado	9
2.1.2 Fuentes de generación de material particulado	11
2.1.3 Efectos negativos del material particulado	12
2.1.4 Composición química del material particulado	12
2.1.5 Clases de material particulado	13
2.1.6 Material particulado sedimentable	13
2.1.7 Origen y fuentes de material particulado	14
2.1.8 Composición mineralógica y química del PM	15
2.2 Clasificación de partículas según su formación	16
3 ESTÁNDARES DE CALIDAD DEL AIRE PARA MATERIAL PARTICULADO	18
3.1 Importancia de los estándares de la OMS para la salud pública	18
3.2 Estándares para el material particulado según la OMS	19
3.2.1 Estándares para partículas sedimentables	19
3.2.2 Estándares para PM ₁₀	19
3.2.3 Estándares para PM _{2,5}	19
3.3 Fundamento científico de los estándares de la OMS	20
3.4 Relevancia de los estándares de la OMS para países en desarrollo	20

4	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	22
4.1	Visita de campo y encuestas a los moradores del sector	23
4.2	Toma de puntos GPS	25
4.3	Ubicación e implantación de los equipos de medición para PMS	26
4.4	Método de muestreo de PMS	27
4.5	Monitoreo de PMV	28
4.6	Análisis cualitativo con el Microscopio Óptico (MO)	29
4.7	Análisis geoestadístico	30
5	RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	32
5.1	Resultados en la zona de Calpi	32
5.2	Material particulado volátil	32
5.3	Análisis global de la concentración de PMV en la cabecera parroquial de Calpi en comparación con los LMP de la OMS y TULSMA	33
5.4	Análisis diario de la concentración de PMV en la cabecera parroquial de Calpi en comparación con los LMP de la OMS y TULSMA	35
5.5	Análisis estadístico descriptivo	38
5.6	Material particulado volátil PM _{2,5}	38
5.7	Material particulado volátil PM ₁₀	39
5.8	Concentración y análisis descriptivo del PMS en la cabecera parroquial Calpi	40
5.9	Caracterización química	42
5.10	Caracterización morfológica	49
5.11	Simulación de la dispersión de contaminantes de PM	52
5.12	Análisis de material particulado sedimentable con el método gravimétrico	55
5.13	Resultados del análisis del material particulado volátil	57
5.14	Comparación con los Límites Máximos Permisibles de la OMS y TULSMA	59
5.15	Análisis Estadístico Descriptivo	63
5.15.1	Material particulado volátil de 2,5 µm	64
5.15.2	Material particulado volátil de 10 µm	64
5.16	Análisis Molecular	65
5.16.1	Caracterización morfológica del material particulado sedimentable	65
5.16.2	Caracterización de la Composición Química del PMS	67
5.17	Gráfica de la Dispersión de los Contaminantes	69

5.18	Muestreo del PMS en la comunidad Gatazo Grande	73
5.18.1	Resumen de los puntos de monitoreo FILTRO 2.5µg/cm3	73
5.18.2	Análisis de correlación MPV 2.5	75
5.18.3	Resumen de los puntos de monitoreo FILTRO 10 µg/cm3	76
5.18.4	Análisis de correlación MPV 10 µg/cm3	77
5.18.5	Concentración y análisis descriptivo del PMS	78
5.18.6	Análisis global de la concentración de PMV en las comunidades pertenecientes de GATAZO, de la parroquia Cajabamba del cantón Colta, en comparación con los LMP de la OMS y TULSMA.	81
5.19	Dinámica geoespacial de la concentración y dispersión de contaminantes de PM	83
5.20	Ubicación de estaciones de monitoreo e identificación de actividades antrópicas	86
5.21	Cuantificación y análisis de PMS	87
5.22	Caracterización morfológica del PMS	90
5.23	Análisis geoestadístico de la concentración y dispersión del PMS	92
5.24	Determinación morfológica del material particulado	100
5.25	Determinación de elementos encontrados en las muestras del PM mediante microscopía de barrido	103
5.26	Análisis geoestadístico de concentración y dispersión del PMS	107
5.27	Análisis de la concentración de PMS en el Barrio la Libertad de Riobamba	110
5.28	Comparación de valores según la OMS y el Acuerdo Ministerial N°97/A	112
5.29	Concentración y Análisis descriptivo del material particulado sedimentable	146
5.30	Concentración y análisis descriptivo del material particulado volátil	149
5.30.1	Análisis diario de la concentración de material particulado volátil 2.5 en la comunidad de San José de Chanchuan en comparación con los LMP de la OMS y el TULSMA	149
5.30.2	Análisis diario de la concentración de MPV4 en la comunidad de San José de Chanchuan en comparación con los LMP de la OMS y el TULSMA	150
5.30.3	Análisis diario de la concentración de Material MPV10 en la comunidad de San José de Chanchuan en comparación con los LMP de la OMS y el TULSMA	152
5.31	Simulación de la dispersión de material particulado	153
5.31.1	Simulación de la concentración de Polvo Atmosférico Sedimentable	154
5.31.2	Simulación de dispersión de material particulado volátil 2,5 µm	155
5.31.3	Simulación de dispersión de material particulado 4 µm	157
5.31.4	Simulación de la distribución de material particulado 10 µm	159

6 Conclusiones y recomendaciones

162

6.1	Recomendaciones	169
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		171
DE LOS AUTORES		176

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Clasificación de PM según su tamaño. 10

FIGURA 2. Distribución granulométrica de PM en la atmosfera. 10

FIGURA 3. Fuente de generación de PM. 11

FIGURA 4. Fuentes de PM. 15

FIGURA 5. Área de estudio. 23

FIGURA 6. Ubicación de los puntos para el monitoreo de PMV 33

FIGURA 7. Comparación de la concentración de PM_{2,5} con los LMP de la OMS y el TULSMA por
cada punto de monitoreo 34

FIGURA 8. Comparación de la concentración de PM₁₀ con los LMP de la OMS y el TULSMA por
cada punto de monitoreo 34

FIGURA 9. Comparación de los valores de PM_{2,5} con los LMP de la OMS Y TULSMA 36

FIGURA 10. Comparación de valores de PM₁₀ con los LMP de la OMS y el TULSMA 38

FIGURA 11. Distribución de PM_{2,5} en la cabecera parroquial de Calpi 39

FIGURA 12. Distribución de PM₁₀, cabecera parroquial Calpi. 40

FIGURA 13. Comparación de valores de PMS con los LMP establecidos por la OMS y TULSMA . . . 42

FIGURA 14. Caracterización físico-química de la zona de monitoreo 1 43

FIGURA 15. Caracterización físico-químico zona de monitoreo 2 43

FIGURA 16. Caracterización físico-química zona de monitoreo 3 44

FIGURA 17. Caracterización físico-química zona de monitoreo 4 45

FIGURA 18. Caracterización físico-química zona de monitoreo 5 45

FIGURA 19. Caracterización físico-química zona de monitoreo 6 46

FIGURA 20. Caracterización físico-química zona de monitoreo 7 47

FIGURA 21. Diámetros del PM de la muestra 1 y 2, observados a 100x 50

FIGURA 22. Diámetros del PM de la muestra 3 y 4, observados a 100x 50

FIGURA 23. Diámetros del PM de la muestra 5 y 6, observados a 100x 51

FIGURA 24. Diámetros del PM de la muestra 7, observado a 100x 51

FIGURA 25. Modelo de dispersión PM_{2,5} , en la cabecera parroquial de Calpi 53

FIGURA 26. Modelo de dispersión PM₁₀ en la cabecera parroquial de Calpi 54

FIGURA 27. Modelo de dispersión de PMS, en la cabecera parroquial de Calpi. 55

FIGURA 28. Comparación de los Valores de PMS con Límites Establecidos por la OMS y TULSMA . . 57

FIGURA 29. Comparación de los valores de PM_{2,5} a las 08H30 con LMP de la OMS y TULSMA . . 59

FIGURA 30. Comparación de los valores de PM_{2,5} a las 12H30 con LMP de la OMS y TULSMA . . 60

FIGURA 31. Comparación de los valores de PM_{2,5} a las 15H30 con LMP de la OMS y TULSMA . . 60

FIGURA 32. Comparación de los Valores de PM₁₀ a las 08H30 con LMP de la OMS y TULSMA . . 61

FIGURA 33. Comparación de los Valores de PM₁₀ a las 12H30 con LMP de la OMS y TULSMA . . 61

FIGURA 34. Comparación de los Valores de PM₁₀ a las 15H30 con LMP de la OMS y TULSMA . . 62

FIGURA 35. Promedio de los Valores de PM_{2,5} en 24 horas 63

FIGURA 36. Promedio de los Valores de PM₁₀ en 24 horas 63

FIGURA 37. Distribución de MPV de 2,5 µm en la Matriz del Cantón Chambo 64

FIGURA 38. Distribución de MPV de 10 µm en la Matriz del Cantón Chambo 65

FIGURA 39. Morfología del PMS correspondiente a la Matriz del Cantón Chambo 66

FIGURA 40. Diámetro de las partículas sedimentables 66

FIGURA 41. Composición Química de la Muestra de la Estación N° 1 67

MAPA 1. Mapa de Concentración de PMS 70

MAPA 2. Mapa de Concentración de PM_{2,5} 71

MAPA 3. Mapa de Concentración de PM₁₀ 72

FIGURA 42. Mapa del área de estudio (Área de Influencia). 73

FIGURA 43. Gráfica de normalidad de MPV 2.5µg/cm³ Tiempo en horas (A: 07:30-10:00 B:13:00-15:30). 75

FIGURA 44. Gráfica de normalidad de MPV 10 µg/cm³ Tiempo en horas (A: 07:30-10:00 B:13:00-15:30). 77

FIGURA 45. Comparación PMS frente a los LP OMS y TULSMA (Texto unificado legislación secundaria medio ambiental) 81

FIGURA 46. A) Comparación MPV 10 µg/m³ y B) Comparación 2.5 µg/m³ frente a los LP OMS y TULSMA 83

FIGURA 47. Comparación PMS Comunidades Gatazo 84

FIGURA 48. Comparación MPV 10 µg/m³ Comunidades Gatazo 85

FIGURA 49. Comparación MPV 2.5 µg/m³ Comunidades Gatazo 86

FIGURA 50. Estaciones de monitoreo y actividades antrópicas en el área de estudio. 87

FIGURA 51. Comparación de valores de PMS con los LMP de la OMS y el Acuerdo 097-A. 89

FIGURA 52. Comparación morfológica de colores de diferentes muestras de PMS. 90

FIGURA 53. Partículas de diferentes formas y tamaños encontrados en el muestreo. 91

FIGURA 54. Mapa de concentración y dispersión del PMS. 93

FIGURA 55. Ubicación de estaciones para monitoreo y caracterización de actividades antrópicas. . . 95

FIGURA 56. Comparación según el LMP de la OMS. 98

FIGURA 57. Comparación según el LMP del AM N°97/A. 99

FIGURA 58. Comparación morfológica tomada de diferentes muestras de MP. 100

FIGURA 59. Partículas encontradas en el muestreo. 101

FIGURA 60. Análisis molecular estación 14 obtenido por el microscopio de barrido. 104

FIGURA 61. Reporte molecular estación N° 14, obtenido con el microscopio de barrido. 105

FIGURA 62. Reporte molecular estación N° 14 obtenido por el microscopio de barrido. 105

FIGURA 63. Análisis molecular estación N° 22 obtenido por el microscopio de barrido. 106

FIGURA 64. Reporte molecular estación N° 22 obtenido por el microscopio de barrido. 107

FIGURA 65. Reporte molecular estación 22 obtenido por el microscopio de barrido. 107

FIGURA 66. Mapa de concentración y dispersión del PMS. 108

FIGURA 67. Puntos de muestreo 109

FIGURA 68. Comparación de valores de PMS con LMP según la OMS. 113

FIGURA 69. Comparación de valores de PMS con LMP según AM 97/A. 115

FIGURA 70. PMS Punto 4 116

FIGURA 71. PMS Punto 4. 116

FIGURA 72. PMS Punto 16 117

FIGURA 73. PMS Punto 16 117

FIGURA 74. PMS Punto 24 118

FIGURA 75. PMS Punto 24 118

FIGURA 76. PMS Punto 9 119

FIGURA 77. PMS Punto 9 119

FIGURA 78. PMS Punto 20 120

FIGURA 79. PMS Punto 20 120

FIGURA 80. Caracterización física química Punto N°4 121

FIGURA 81. Caracterización físico química Punto N°16. 121

FIGURA 82. Mapa de concentración y dispersión de PMS en el Barrio la Libertad de la ciudad de
 Riobamba 123

FIGURA 83. Factores para la presencia de PM (polvo) en el sector 124

FIGURA 84. Calidad del aire en el barrio La Esperanza debido al polvo de madera generado por los
 aserraderos, según moradores 125

FIGURA 85. Afectación a la salud de los moradores por la presencia de polvo de madera 125

FIGURA 86. Enfermedades producidas por la exposición al polvo de madera, según moradores 126

FIGURA 87. Síntomas padecidos en los moradores por la presencia de polvo de madera en el sector . . 127

FIGURA 88. Zonificación del área de estudio 128

FIGURA 89. Puntos de monitoreo de PMV 128

FIGURA 90. Comparación de valores de PM_{2,5} con los LMP de la OMS y TULSMA 131

FIGURA 91. Comparación de valores de PM₄ con los LMP de la OMS y TULSMA 132

FIGURA 92. Comparación de valores de PM₁₀ con los LMP de la OMS y TULSMA 133

FIGURA 93. Distribución de PM_{2,5} µm, barrio La Esperanza 134

FIGURA 94. Distribución de PM₄ µm, barrio La Esperanza 135

FIGURA 95. Distribución de PM₁₀ µm, barrio La Esperanza 136

FIGURA 96. Filtro 1, PM observado a 4X 138

FIGURA 97. Filtro 1, PM observado a 10X 138

FIGURA 98. Filtro 1, PM observado a 40X 138

FIGURA 99. Filtro 1, PM observado a 100X 138

FIGURA 100. Filtro 2, PM observado a 4X 139

FIGURA 101. Filtro 2, PM observado a 10X 139

FIGURA 102. Filtro 2, PM observado a 40X 139

FIGURA 103. Filtro 2, PM observado a 100X 139

FIGURA 104. Filtro 3, PM observado a 4X 140

FIGURA 105. Filtro 3, PM observado a 10X 140

FIGURA 106. Filtro 3, PM observado a 40X 140

FIGURA 107. Filtro 3, PM observado a 100X 140

FIGURA 108. Filtro 4, PM observado a 4X 141

FIGURA 109. Filtro 4, PM observado a 10X 141

FIGURA 110. Filtro 4, PM observado a 40X 141

FIGURA 111. Filtro 4, PM observado a 100X 141

FIGURA 112. Filtro 5, PM observado a 4X 142

FIGURA 113. Filtro 5, PM observado a 10X 142

FIGURA 114. Filtro 5, PM observado a 40X 142

FIGURA 115. Filtro 5, PM observado a 100X 142

FIGURA 116. Filtro 6, PM observado a 4X 143

FIGURA 117. Filtro 6, PM observado a 10X 143

FIGURA 118. Filtro 6, PM observado a 40X 143

FIGURA 119. Filtro 6, PM observado a 100X 143

FIGURA 120. Modelo de dispersión de PM_{2,5}, en el barrio La Esperanza 145

FIGURA 121. Ubicación de los puntos para el monitoreo de PMS y PMV 146

FIGURA 122. Comparación de valores de PMS con los LMP establecidos por la OMS y el TULSMA . 148

FIGURA 123. Comparación de la concentración de MPV_{2.5} con los LMP de la OMS y el TULSMA. . 150

FIGURA 124. Comparación de la concentración de MPV₄ con los LMP de la OMS y el TULSMA. . . 152

FIGURA 125. Comparación de la concentración de MPV₁₀ con los LMP de la OMS y el TULSMA. . . 153

FIGURA 126. Dispersión de la concentración de polvo atmosférico sedimentable. 155

FIGURA 127. Dispersión de material particulado de 2,5 µm 157

FIGURA 128. Dispersión de material particulado de 4 µm 159

FIGURA 129. Dispersión de material particulado de 10 µm 161

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Tipos de residuos en material particulado.	14
TABLA 2. Caracterización del MP presente en el aire troposférico.	16
TABLA 3. Concentración de PM _{2.5} en la cabecera parroquial de Calpi y su comparación con los LMP de la OMS y TULSMA	35
TABLA 4. Concentraciones de PM ₁₀ en la cabecera parroquial de Calpi y su comparación con los LMP de la OMS y TULSMA	37
TABLA 5. Concentración de PMS en cada punto de monitoreo	40
TABLA 6. Comparación de valores de PMS con el LMP establecidos por la OMS y el TULSMA	41
TABLA 7. Elementos químicos encontrados en cada punto de monitoreo.	47
TABLA 8. Promedio total de cada elemento	48
TABLA 9. Resultados de las Concentraciones de PMS	56
TABLA 10. Límites Máximos Permisibles para PMS	56
TABLA 11. Datos de PM _{2.5} en la Matriz del Cantón Chambo	58
TABLA 12. Datos de PM ₁₀ en la Matriz del Cantón Chambo	58
TABLA 13. Porcentajes y Promedio de la Composición Química del PMS	68
TABLA 14. Promedio PM _{2.5} µg/cm ³	73
TABLA 15. Matriz de correlación PM _{2.5} µg/cm ³	75
TABLA 16. Promedio PM ₁₀ µg/cm ³	76
TABLA 17. Promedio PM ₁₀ µg/cm ³	77
TABLA 18. Concentración PMS en los puntos de monitoreo.	79
TABLA 19. LP de PMS en los puntos de monitoreo.	80
TABLA 20. Concentración de PM _{2.5} y PM ₁₀ de las comunidades Gatazo con los LMP OMS y TULSMA	82
TABLA 21. Concentración de PMS de cada punto de monitoreo.	88
TABLA 22. Concentración de PMS de cada punto de monitoreo.	96
TABLA 23. Comparación de los valores según la OMS.	97

TABLA 24. Comparación de valores de PMS según el AM N°97/A 98

TABLA 25. Ubicación geográfica UTM. 110

TABLA 26. Valores utilizados para la obtención de datos. 111

TABLA 27. Concentración de PMS en los puntos de monitoreo. 111

TABLA 28. Comparación de los valores según la OMS. 112

TABLA 29. Comparación de valores de PMS según el AM N°97/A. 113

TABLA 30. Estadística descriptiva de PMS en el barrio la Libertad 115

TABLA 31. Datos de PM _{2,5} µm, en cada zona a diferente horario 129

TABLA 32. Datos de PM ₄ µm, en cada zona a diferente horario 129

TABLA 33. Datos de PM ₁₀ µm, en cada zona a diferente horario 129

TABLA 34. Concentraciones de PM_{2,5} (µg/m³), en el barrio La Esperanza y su comparación con los
LMP de la OMS y TULSMA 130

TABLA 35. Concentraciones de PM₄ (µg/m³), en el barrio La Esperanza y su comparación con los
LMP de la OMS y TULSMA 131

TABLA 36. Concentraciones de PM₁₀ (µg/m³), en el barrio La Esperanza y su comparación con los
LMP de la OMS y TULSMA 132

TABLA 37. Resultados de las concentraciones de PMS 136

TABLA 38. Comparación de valores de PMS, con límites establecidos por la OMS y TULSMA . . . 137

TABLA 39. Valores utilizados para la obtención de datos de PAS. 146

TABLA 40. Concentración de PMS en cada estación de monitoreo 147

TABLA 41. Comparación de los valores de PAS con el LMP establecidos por la OMS y el TULSMA . 147

TABLA 42. Concentración de MPV_{2.5} y su comparación con los valores de los LMP de la OMS y el
TULSMA 149

TABLA 43. Concentración de MPV₄ y su comparación con los valores de los LMP de la OMS y el
TULSMA 151

TABLA 44. Concentración de PM₁₀ y su comparación con los valores de los LMP de la OMS y el
TULSMA 152

TABLA 45. Datos mensuales de dispersión de material particulado volátil 2,5 µm 155

TABLA 46. Datos mensuales de dispersión de material particulado volátil 4 µm 157

TABLA 47. Datos Mensuales de dispersión de material particulado volátil 10 µm 159

RESUMEN

El presente libro analiza de manera integral la presencia, concentración y dispersión del material particulado volátil (PM2.5 y PM10) y sedimentable (PMS) en zonas urbanas y rurales de la provincia de Chimborazo, Ecuador. A partir de campañas de monitoreo en sectores como Calpi, Chambo, Cajabamba, Colta y barrios de Riobamba, se integran mediciones directas con DustTrak II, técnicas de recolección pasiva, análisis microscópico, caracterización físico-química, encuestas comunitarias y modelación geoestadística. Los resultados evidencian que ciertas zonas con alta actividad industrial, tránsito vehicular, quema agrícola, fabricación de bloques, aserraderos y procesos de combustión presentan concentraciones que pueden superar límites de referencia de la OMS y de la normativa ambiental ecuatoriana. La obra demuestra que el material particulado constituye un riesgo relevante para la salud pública, la calidad ambiental y la sostenibilidad de los ecosistemas locales, por lo que se requiere monitoreo continuo, gestión territorial y medidas de mitigación basadas en evidencia.

Palabras clave: material particulado; PM2.5; PM10; material particulado sedimentable; calidad del aire; contaminación atmosférica; Chimborazo; Ecuador

ABSTRACT

This book provides a comprehensive analysis of the presence, concentration, and dispersion of volatile particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀) and settleable particulate matter (SPM) in urban and rural areas of Chimborazo Province, Ecuador. Based on monitoring campaigns in Calpi, Chambo, Cajabamba, Colta, and neighborhoods of Riobamba, the study integrates direct measurements using DustTrak II equipment, passive sampling techniques, microscopic analysis, physicochemical characterization, community surveys, and geostatistical modeling. The results show that areas with intense industrial activity, vehicular traffic, agricultural burning, block manufacturing, sawmills, and combustion processes may exceed reference limits established by the World Health Organization and Ecuadorian environmental regulations. The book highlights particulate matter as a significant risk to public health, environmental quality, and local ecosystem sustainability, emphasizing the need for continuous monitoring, territorial management, and evidence-based mitigation measures.

Keywords: particulate matter; PM_{2.5}; PM₁₀; settleable particulate matter; air quality; atmospheric pollution; Chimborazo; Ecuador

PRÓLOGO

A diferencia de un río contaminado o de un suelo erosionado, la contaminación atmosférica suele ser invisible hasta que se traduce en cifras de enfermedad, afecciones respiratorias o un cielo velado. Visibilizar un componente tan esencial para nuestros ecosistemas, cuantificarlo con rigor científico y poner esa evidencia frente a quienes toman decisiones es la tarea que asumen los autores de este libro y la razón por la cual su lectura es pertinente y necesaria.

La trayectoria profesional de quien escribe este prólogo se ha desarrollado en la frontera entre la química y el ambiente, con particular dedicación al tratamiento de la contaminación hídrica; fue en este ámbito de las ciencias ambientales donde se estableció una colaboración sostenida con los autores. Desde esta perspectiva, un libro sobre material particulado no constituye un territorio ajeno. El material particulado atmosférico es un vector de transferencia que termina depositándose en las cuencas hidrográficas, altera la química del agua y cierra un ciclo que ninguna disciplina puede interpretar por sí sola.

Los autores, académicos con cerca de quince años de trayectoria en la investigación, abordan un vacío histórico de información en una de las regiones más diversas de los Andes: la provincia de Chimborazo. El estudio cuantifica la concentración y la distribución espacial del material particulado en sus fracciones respirables ($PM_{2.5}$ y PM_{10}) y en su fracción sedimentable (PMS), y contrasta de manera sistemática entornos urbanos y rurales.

El rigor metodológico distingue esta obra. Las mediciones en tiempo real de la concentración másica se realizaron mediante fotometría de dispersión de luz con equipos DustTrak II, complementada con técnicas de captación pasiva para la fracción sedimentable. Además, el análisis microscópico de la morfología de las partículas y la caracterización fisicoquímica permiten aproximar su origen y su comportamiento. Con esta base, la modelación geoestadística interpola la variable en el espacio y describe los patrones de dispersión, mientras que las encuestas de percepción del riesgo aplicadas a las poblaciones expuestas incorporan la dimensión epidemiológica y social. Esta integración del monitoreo, la caracterización, el análisis espacial y la evaluación de la exposición constituye el núcleo del valor científico del libro.

El diseño de las campañas otorga representatividad al muestreo. Desde sectores rurales y suburbanos como Calpi, Cajabamba y Colta, hasta distintos barrios de Riobamba, el estudio cubre un amplio gradiente de usos del suelo y fuentes de emisión. Los autores discriminan aportes provenientes del tránsito vehicular, los procesos de combustión, la quema de biomasa agrícola y la producción artesanal de bloques y ladrillos. Los resultados son inequívocos: en varios sitios, las concentraciones exceden los valores de referencia establecidos en las Guías de

Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud y los límites de la normativa nacional sobre calidad del aire.

El aporte del manuscrito trasciende el diagnóstico: la obra transforma una serie de datos de monitoreo en información georreferenciada para la planificación territorial, la gestión de la calidad del aire y el diseño de medidas de mitigación basadas en evidencia. Frente a una problemática que con frecuencia se discute sin sustento cuantitativo, este trabajo aporta líneas base, criterios de comparación normativa y una metodología replicable y reproducible.

Felicito a los autores por una contribución que fortalece la literatura ambiental del país y que servirá de referencia técnica para estudiantes, investigadores y gestores públicos. Invito al lector a recorrer estas páginas con la certeza de que encontrará una guía para comprender un problema que exige evidencia sólida, tanto por la naturaleza difusa de este contaminante como por su impacto directo sobre la salud.

Nelson Patricio Bravo Yumi, PhD

INTRODUCCIÓN

La calidad del aire se ha convertido en uno de los temas prioritarios dentro de la gestión ambiental contemporánea, especialmente en regiones donde el crecimiento urbano, el incremento de actividades industriales, el transporte vehicular y las prácticas agrícolas intensivas generan presiones constantes sobre los ecosistemas y la salud humana. En este contexto, el material particulado (PM) — volátil ($PM_{2.5}$ y PM_{10}) y sedimentable (PMS) — representa uno de los contaminantes atmosféricos de mayor relevancia, debido a su capacidad para afectar directamente la salud pública, acelerar el deterioro de la infraestructura, alterar el equilibrio de los ecosistemas y disminuir la calidad de vida de las poblaciones expuestas.

La provincia de Chimborazo, ubicada en la región Sierra Centro del Ecuador, presenta características socioeconómicas y productivas que hacen indispensable el estudio de PM como contaminante atmosférico. La coexistencia de áreas urbanas, zonas agrícolas, polos industriales de pequeña y mediana escala, junto con un flujo permanente de vehículos livianos y pesados, genera una dinámica atmosférica compleja en la que el PM adquiere un papel protagónico y determinante.

Dentro de este territorio, sectores como Calpi, Chambo, Cajabamba, Colta, así como barrios urbanos de la ciudad de Riobamba – entre ellos Juan Montalvo, La Libertad, La Esperanza y San José de Chanchahuán, se han convertido en espacios estratégicos para el monitoreo y análisis de las emisiones de PM. Esta condición responde, principalmente a la presencia de aserraderos, hornos destinados a la fabricación de ladrillos, talleres y actividades agrícolas, los cuales contribuyen de manera significativa a la generación de PM.

El presente libro nace como una respuesta integral a esta problemática, con el propósito de caracterizar, cuantificar y comprender el comportamiento del PM en distintas zonas de la provincia de Chimborazo. Para ello, se integran diversas metodologías científicas, entre las que destacan el monitoreo activo y pasivo, la microscopía óptica, la estadística aplicada, la percepción ciudadana y el análisis geoestadístico mediante el uso de software ArcGis 10.x, el cual utiliza modelos inteligentes (Kriging) que permite incorporar variables continuas. De este modo, la obra combina técnicas instrumentales de alta precisión con enfoque integral y espacial, poniendo en evidencia que la proble-

mática del PM trasciende en el ámbito científico y se conjuga con el desafío social, territorial y de salud pública.

A través de este estudio se busca ofrecer una visión clara, rigurosa y sustentada sobre los efectos de las emisiones de PM en los principales focos de contaminación, los patrones de dispersa de las partículas del entorno y las medidas susceptibles de ser implementadas para mitigar sus impactos. En este sentido, el libro constituye como un aporte sustantivo a la investigación ambiental en el país, brindando herramientas metodológicas y resultados científicos que pueden orientar la toma de decisiones en el ámbito local, institucional y comunitario.

CAPÍTULO 1

CONTAMINACIÓN DEL AIRE

La contaminación del aire es un problema de carácter global, que afecta a todos los países independientemente de su nivel de desarrollo. Esta puede presentarse en ambientes externos, en cuyo caso la actividad industrial y la carga vehicular se configuran como los principales factores asociados (Álvarez et al., 2017).

Los principales contaminantes del aire provienen de varias fuentes y cada una tiene características diferentes en dependencia de su composición, fuente y condiciones bajo las cuáles fueron producidas, es así, que los gases más comunes son: óxidos de sulfuro principalmente dióxido de sulfuro (SO_2), óxidos de nitrógeno como el dióxido de nitrógeno (NO_2), hidrocarburos reactivos (frecuentemente denominados compuestos orgánicos volátiles) y el monóxido de carbono (CO) (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2023).

Según la Normatividad Nacional e Internacional de la OMS, los límites máximos permisibles (LMP) para la salud humana son de $0,5 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$, mientras que para el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) los LMP son de $1 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ (Santillán et al., 2016).

La contaminación en el aire se la asocia a varias causas de muerte y/o infecciones respiratorias agudas. En el Ecuador, por medio del Registro Estadístico de Nacidos Vivos y Defunciones del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, mencionan que en el 2019 la neumonía fue la sexta causa de muerte del país. Dentro de ello se contempla a las enfermedades crónicas que ocupan el octavo puesto (Loaiza, 2019).

Es importante mencionar que el PM no solamente afecta al ser humano, sino también incide en la salud del planeta, la cual provoca la disminución de oxígeno en nuestros océanos, la dificultad en el desarrollo de las plantas y son un factor muy determinante en el cambio climático (Moreno, 2022).

Siendo así que la contaminación generada por la combustión de hidrocarburos (gas, diésel y gasolina) que son empleados para el funcionamiento de los automotores, constituye uno de los principales detonantes en contaminación de aire en las diversas ciudades (Velepucha & Sabando, 2021).

El término “contaminación atmosférica” tiene diferentes definiciones, aunque to-

das referidas a la presencia de sustancias nocivas en la atmósfera en concentraciones que podrían llegar a provocar daño, ya sea a la salud de la población o a diferentes ecosistemas. Los distintos contaminantes atmosféricos se pueden clasificar en contaminantes primarios, que son aquellos emitidos directamente a la atmósfera, por ejemplo el monóxido de carbono (CO); o contaminantes secundarios, los cuales se forman en la atmósfera a partir de reacciones químicas de sus precursores, como por ejemplo el ozono (O₃), formado por reacciones de contaminantes primarios: compuestos orgánicos volátiles (COVs) y óxidos de nitrógeno (NO_x) (Ubilla & Yohannessen, 2017).

La contaminación del aire es una alteración de los niveles de calidad y pureza del aire debido a emisiones naturales o de sustancias químicas y biológicas. El aumento masivo de contaminantes atmosférica fue condicionado por el crecimiento económico e industrial, hecho que motivó una disminución en la calidad del aire que causó diversos padecimientos respiratorios en la población, lo que condicionó un problema emergente para la humanidad (García & Rojas, 2016).

1.1 Fuentes de contaminación atmosférica

De acuerdo con Lata (2022), las fuentes de contaminación atmosféricas corresponden a todas las actividades, procesos/operaciones que generen o puedan generar contaminantes atmosféricos. Entre las cuales menciona:

- a. **Fuentes fijas:** Se caracterizan por ser estacionarias (ubicadas en un punto fijo) como, por ejemplo, plantas químicas, refinerías y fábricas.
- b. **Fuentes móviles:** Son aquellas que incluyen todas las formas de transporte y vehículos motorizados.
- c. **Fuentes de área:** Constituye aquellas actividades que afectan la calidad del aire, como son el uso de imprentas, madera, tintorerías y actividades agrícolas.
- d. **Fuentes naturales:** Son el resultado de fenómenos de vida animal y vegetal, emisiones volcánicas, los océanos y la erosión del suelo.

Por otra parte, Gamboa & Mora (2022), mencionan que las principales fuentes de contaminación atmosférica antropogénica son las centrales térmicas, incineradoras de residuos, la industria química, el transporte y las minas a cielo abierto. Sus efectos nocivos son tan grandes que el aumento de los niveles de contaminación del aire en

las ciudades ya está afectando a las zonas aledañas, incluidos los ecosistemas forestales. Los estudios de exposición a los contaminantes del aire también han demostrado que los contaminantes exteriores e interiores están asociados con efectos adversos graves en la salud humana y la degradación de los ecosistemas terrestres.

1.2 Afectaciones a la salud pública

El MP constituye uno de los contaminantes atmosféricos más peligrosos para la salud humana, debido a su capacidad de ingresar y acumularse en el sistema respiratorio. Entre las principales afecciones que provoca se encuentran la irritación de las vías respiratorias, tos persistente y diversas manifestaciones respiratorias que afectan con mayor severidad a grupos vulnerables como niños, adultos mayores y personas con enfermedades cardíacas o pulmonares preexistentes. La exposición continua al MP incrementa la inflamación de las mucosas respiratorias y deteriora la capacidad pulmonar, generando condiciones propicias para el desarrollo de infecciones y enfermedades crónicas (Gómez et al., 2003).

Diversas investigaciones han demostrado que la exposición prolongada a concentraciones elevadas de PM se relaciona con efectos graves sobre la salud. Entre ellos destaca el incremento en la incidencia de cáncer pulmonar, el aumento de muertes prematuras, así como la presencia de síntomas respiratorios agudos y crónicos, tales como la dificultad para respirar o la obstrucción bronquial. De acuerdo con Santamaría (2008), la acumulación de partículas en los pulmones puede inducir enfermedades ocupacionales como la silicosis y la asbestosis, patologías caracterizadas por fibrosis pulmonar progresiva y deterioro severo de la función respiratoria. Ambas enfermedades son consideradas irreversibles y guardan una estrecha relación con la inhalación prolongada de partículas finas y altamente tóxicas.

El tamaño de las partículas es uno de los factores determinantes en la magnitud del daño que pueden causar al organismo. Las partículas de menor diámetro presentan mayor peligrosidad debido a su capacidad para penetrar profundamente en las vías aéreas. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos EPA, (2022), señala que las partículas menores a 10 micrones (PM_{10}) pueden alcanzar los bronquios y bronquiolos, mientras que las partículas menores a 2.5 micrones ($PM_{2.5}$) pueden llegar hasta los alvéolos pulmonares e incluso ingresar al torrente sanguíneo, transportándose hacia otros órganos y generando efectos sistémicos.

La exposición a PM no solo afecta los pulmones, sino también el sistema cardiovascular, incrementando el riesgo de eventos cardíacos y el deterioro de la salud general. La EPA (2022), destaca que numerosos estudios científicos han identificado una relación directa entre los niveles elevados de PM y una amplia variedad de problemas de salud, entre los que se incluyen:

- a. Muerte prematura en personas con enfermedades cardíacas o pulmonares, debido a la incapacidad del organismo para responder adecuadamente al estrés oxidativo y la inflamación generada por las partículas.
- b. Infartos de miocardio no mortales, asociados a la disminución del flujo sanguíneo y a la inflamación de los vasos que el PM puede desencadenar.
- c. Latidos irregulares o arritmias, producto de la interferencia del PM en la conducción eléctrica del corazón.
- d. Agravamiento del asma, ya que las partículas actúan como desencadenantes de crisis asmáticas y reducen la capacidad pulmonar en pacientes diagnosticados.
- e. Disminución de la función pulmonar, especialmente en niños y adultos mayores, quienes presentan mayor susceptibilidad a daños respiratorios permanentes.
- f. Aumento de síntomas respiratorios, como irritación en las vías respiratorias, episodios de tos persistente, opresión torácica y dificultad para respirar, incluso en personas sin antecedentes clínicos.

Los efectos del PM son especialmente críticos en áreas urbanas e industriales, donde la concentración de partículas finas tiende a ser mayor debido al tráfico vehicular, actividades de combustión y procesos productivos que liberan aerosoles y compuestos tóxicos al ambiente. La combinación de exposición prolongada y factores de vulnerabilidad convierte al PM en un riesgo significativo para la salud pública, motivo por el cual su monitoreo, control y regulación resultan prioritarios para la prevención de enfermedades crónicas y la protección de la calidad de vida de la población (Oyarzún, 2010).

1.3 Afectaciones al ambiente

Además de los importantes efectos que el PM ocasiona sobre la salud humana, su presencia en la atmósfera genera múltiples impactos sobre el ambiente. Estos efectos se manifiestan en diferentes escalas: desde una incidencia global, relacionada con su contribución al cambio climático y a los procesos de forzamiento radiactivo, hasta afectaciones locales, entre las cuales destacan la reducción de la visibilidad, el deterioro paisajístico y la alteración de los ecosistemas urbanos y rurales. Tal como señala el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2016), el PM tiene la capacidad de modificar la calidad del aire, acelerar la degradación de edificaciones y monumentos históricos, y desencadenar procesos de desequilibrio ambiental que afectan la dinámica natural de los ecosistemas.

El PM también juega un papel determinante en los procesos atmosféricos, ya que las partículas presentes en suspensión pueden actuar como núcleos de condensación, alterando el ciclo hidrológico y favoreciendo la formación de nieblas, brumas o lluvias ácidas, dependiendo de su composición química. Estas interacciones atmosféricas reducen la visibilidad y pueden generar condiciones meteorológicas adversas para la navegación aérea y terrestre, afectando la movilidad y aumentando los riesgos asociados al transporte (Salinas, 2012).

Asimismo, el comportamiento aerodinámico de las partículas permite que el viento transporte el PM a distancias considerables, lo que amplifica su impacto más allá del lugar donde se originó. Una vez que las partículas se desplazan, estas tienden a depositarse sobre el suelo, cuerpos de agua, vegetación y superficies expuestas. La composición química del material sedimentado determina el tipo y magnitud de los efectos ambientales posteriores. De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (2023), la deposición del MP puede provocar tres afectaciones principales:

- a. **Reducción de los nutrientes del suelo.** - La acumulación de partículas con altos contenidos de metales pesados o sustancias acidificantes puede alterar la fertilidad del suelo, afectar la disponibilidad de nutrientes esenciales y modificar su estructura física. Estos cambios alteran los procesos biogeoquímicos fundamentales, interfieren con el desarrollo normal de las raíces y disminuyen la capacidad del suelo para sostener cultivos, pastizales o vegetación nativa.
- b. **Daño en bosques sensibles y cultivos agrícolas.** - La deposición de MP sobre el

follaje de las plantas dificulta la fotosíntesis, obstruye las estomas, reduce la absorción de luz y altera la transpiración. Este proceso incrementa la vulnerabilidad de cultivos y especies forestales, especialmente en zonas cercanas a industrias, carreteras o actividades extractivas donde la presencia de partículas suele ser mayor. A largo plazo, este tipo de contaminación puede generar estrés fisiológico, disminución en la productividad agrícola y pérdida de cobertura vegetal.

- c. **Efectos perjudiciales sobre la diversidad de ecosistemas.** - La alteración química del suelo y del agua, producto de la deposición del MP, puede modificar la composición biológica de los ecosistemas acuáticos y terrestres. La introducción de compuestos tóxicos, sedimentos insolubles o sustancias acidificantes puede afectar microorganismos, insectos, especies vegetales, anfibios y peces, produciendo desequilibrios en las cadenas tróficas. En casos severos, la acumulación sostenida de MP puede provocar pérdida de especies sensibles, invasión de especies oportunistas y cambios permanentes en la estructura ecológica del territorio.

Estos procesos evidencian que el PM no solo constituye un problema de salud pública, sino también un factor de perturbación ambiental con implicaciones profundas, tanto para los ecosistemas como para los bienes materiales y culturales. Por ello, su monitoreo y control representan componentes esenciales dentro de cualquier estrategia de gestión ambiental (Romero et al., 2010).

CAPÍTULO 2

MATERIAL PARTICULADO: CLASIFICACIÓN Y COMPOSICIÓN QUÍMICA

2.1 Material particulado

El PM se define como una mezcla heterogénea de partículas sólidas y/o líquidas suspendidas en la atmósfera (Arciniegas, 2012). Su formación puede producirse a través de dos mecanismos principales: (a) debido a subdivisión de partículas de mayor tamaño y (b) aglomeración o reunión de fragmentos más pequeños, incluyendo moléculas individuales. Si bien su origen es muy diverso que incluye tanto fuentes naturales como antropogénicas, son estas últimas las que adquieren mayor relevancia debido a su frecuencia, concentración e impacto sobre el ambiente y la salud humana (Vieira et al., 2012).

El aire contiene partículas de diferente tamaño y composición química. Estas partículas generalmente se dividen en rangos de tamaño que van desde el material sedimentable (partículas $> 30 \mu\text{m}$) a partículas suspendidas que generalmente se dividen en PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$ micrómetros de diámetro (micrómetro = milésima parte de un milímetro) (Díaz, 2018). (Arrieta, 2016).

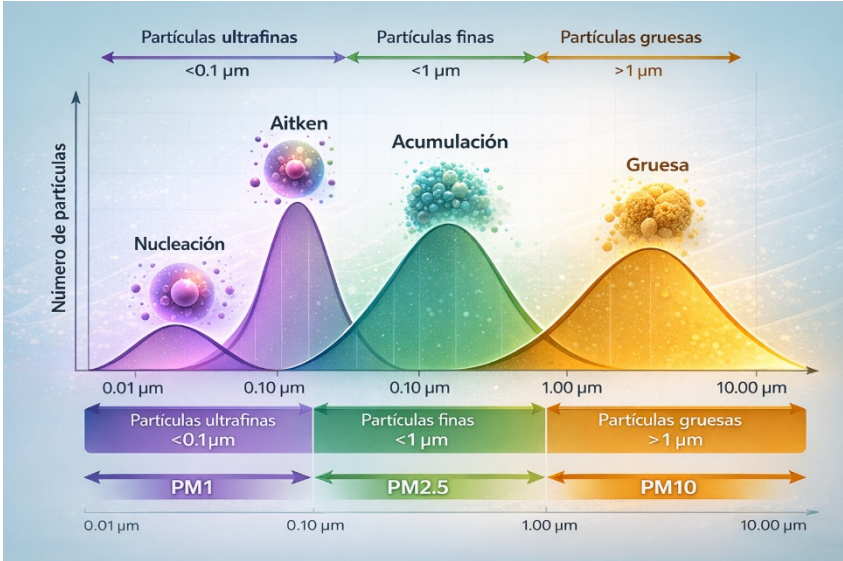
Las partículas en suspensión difieren en diferentes características, entre ellas el tamaño, la composición y el origen. Su dimensión puede variar desde tamaños muy pequeños como los nanómetros hasta decenas de micrómetros; por ello, su clasificación se fundamenta en propiedades aerodinámicas importantes y decisivas, las cuales resultan determinantes para comprender los procesos de transporte, dispersión y eliminación de partículas presentes en el aire (Andi, Vega, & Santillán, 2019).

2.1.1 Diámetros del material particulado

Debido a la diversidad de tamaños, formas y composición de las partículas de en suspensión, su identificación y clasificación se realiza habitualmente en función de su diámetro aerodinámico. Este parámetro corresponde al diámetro de una esfera de densidad uniforme que alcanza la misma velocidad terminal de asentamiento que la partícula de interés y se encuentra determinado por la forma y la densidad de la partícula (Arciniegas, 2012).

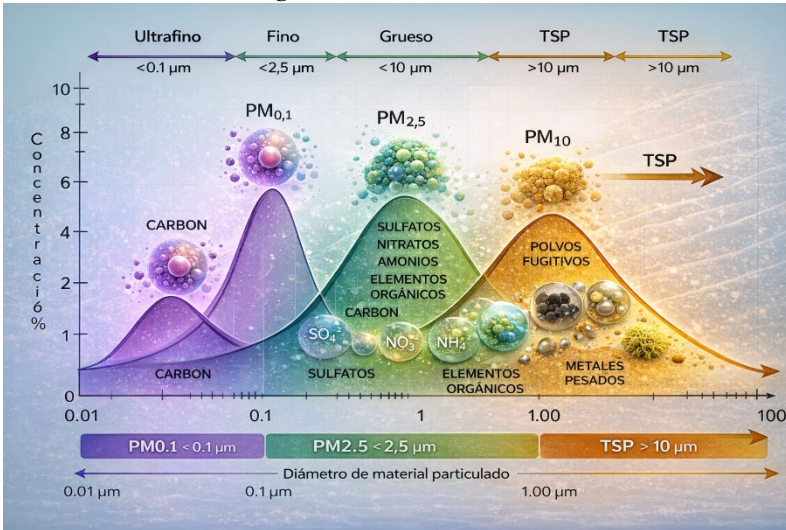
En la Figura 1 se muestra los diferentes rangos de tamaños de partícula denominados “modas”, que están relacionadas con el mecanismo de formación de las partículas: nucleación, aitken, acumulación y moda gruesa (Arciniegas, 2012).

FIGURA 1. Clasificación de PM según su tamaño.



Se consideran de origen primario aquellas partículas que son emitidas directamente a la atmósfera y secundarias aquellas que se dan de la formación de reacciones químicas ya sea ente gases a través de condensación o entre un gas y una partícula a través de la adsorción y/o coagulación (Figura 2) (Cáceres, 2015).

FIGURA 2. Distribución granulométrica de PM en la atmósfera.

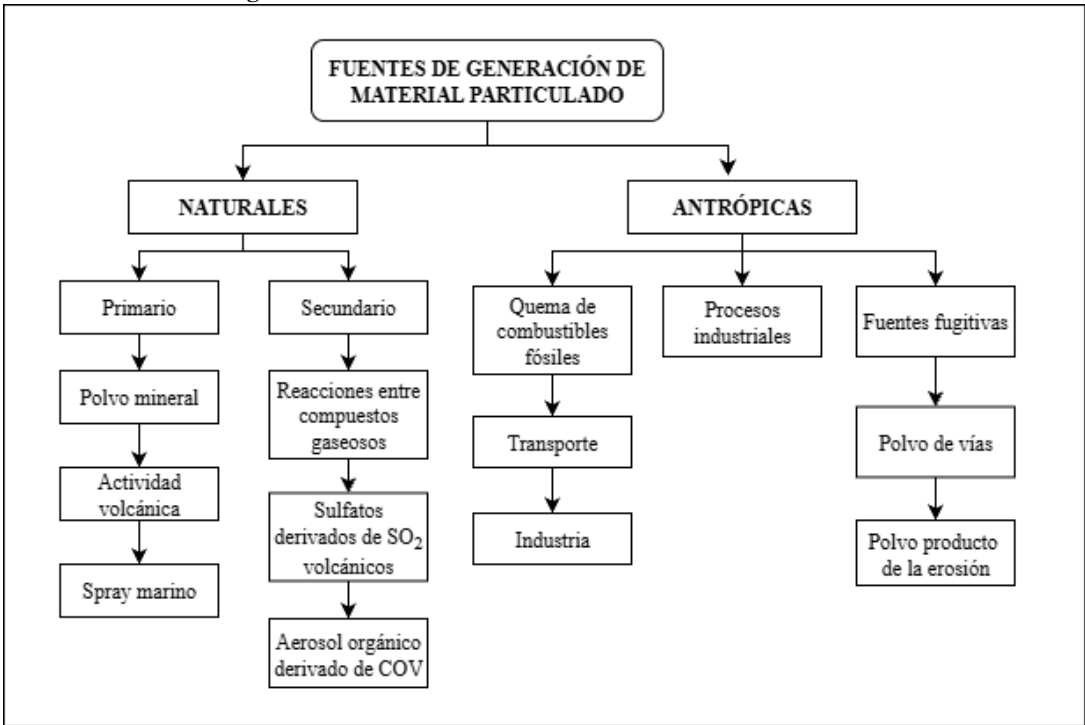


2.1.2 Fuentes de generación de material particulado

El PM se genera a partir de dos fuentes: (a) de origen natural y (b) de origen antrópico; el PM producto de fuentes naturales proviene de partículas de erupciones volcánicas, polvo arrastrado por el viento áreas de vegetación y procesos geotérmicos. Estas partículas suelen ser gruesas por lo que la permanencia en la atmósfera es de corto tiempo. En cambio, las partículas provenientes de origen antropogénico es decir a causa de las actividades del ser humano son generalmente producidos por los procesos industriales, quema de biomasa almacenamiento y traslado de material, generación industrial, etc., (Andi, Vega, & Santillán, 2019).

En la Figura 3 se hace referencia a las fuentes generadoras del PM según su tipo de partícula y fuente generadora.

FIGURA 3. Fuente de generación de PM.



El PM sedimentable se genera cuando las partículas se desintegran a consecuencia de los procesos mecánicos, tales como las partículas metálicas, cemento, polvo, polen, hollín, fragmentos de plantas e insectos, materiales de construcción, polvo tóxico de las fábricas y agricultura. Todas estas partículas permanecen suspendidas en la atmósfera durante un periodo de tiempo limitado (Huatuco, 2018).

2.1.3 Efectos negativos del material particulado

Diversas investigaciones epidemiológicas han demostrado que niveles elevados de PM, especialmente en sus partículas más finas presentes en el aire, generan impactos graves a la salud humana. Estas partículas, al ingresar al cuerpo humano pueden ser transportadas por el sistema respiratorio y alojarse en los alveolos pulmonares, interfiriendo en el intercambio de gases y favoreciendo el desarrollo de enfermedades pulmonares graves (Saldarriaga, 2019).

Las partículas sedimentables dependiendo de su composición y del proceso de transformación son potencialmente dañinas para la vegetación, el suelo, la fauna y la vida humana. En este sentido el medio ambiente experimenta diversos efectos asociados al PMS, entre los que destacan el empobrecimiento del paisaje, la contaminación a la vegetación y el suelo; así como el deterioro progresivo de los bienes materiales en los que se depositan estas partículas (Huatuco, 2018).

2.1.4 Composición química del material particulado

El PM está formado por una mezcla de sustancias orgánicas e inorgánicas que presentan una composición tanto física como química variable. Las características físicas de las partículas ejercen influencia en su transporte, tiempo de persistencia y posibilidad de su deposición, tanto en el ambiente como en el sistema respiratorio, y su composición química interviene directamente sobre los efectos en la salud humana (Perez & Gía, 2013).

La composición química del material abarca un rango amplio de especies tales como compuestos orgánicos, óxidos de silicio, sulfatos, nitratos y amonio. De tal forma que las partículas interactúan con diferentes sustancias en el aire formando compuestos químicos e inorgánicos. La composición más común de las partículas finas son los sulfatos. Las partículas más pequeñas contienen aerosoles, partículas de combustión y vapores re condensados de carácter orgánico y metálico (Quijano et al., 2010).

El carbono presenta partículas finas, producto de una combustión incompleta, y contiene tanto carbón elemental (grafito y hollín) como compuestos orgánicos no volátiles; esta última una de las más abundantes. Por consiguiente, las reacciones atmosféricas de los óxidos de nitrógeno producen vapores de ácido nítrico que puede acumularse como partículas de nitrato tanto en partículas finas como gruesas. La combinación más común de las partículas gruesas ocurre con óxidos de silicio, aluminio calcio y hierro

(Perez & Gía, 2013).

2.1.5 Clases de material particulado

El PM puede clasificarse de acuerdo con su diámetro aerodinámico de sus partículas: (a) el PM_{10} y (b) el $PM_{2.5}$ las mismas que presentan un gran peligro al ser inhaladas por el ser humano.

De acuerdo con su diámetro las partículas se clasifican en:

- a. Partículas suspendidas totales (PST) diámetro hasta $100\ \mu m$.
- b. Inhalables o respirables (PM_{10}), cuyo diámetro es menor a $10\ \mu m$.
- c. Finas, con diámetro menor a $2,5\ \mu m$ ($PM_{2,5}$) y
- d. Gruesas, con diámetro menor a $10\ \mu m$ (PM_4 Y PM_{10}) (Querol, 2018).

2.1.6 Material particulado sedimentable

El llamado polvo atmosférico consiste en pequeñas partículas suspendidas en el aire que debido a su peso desciende sobre la superficie terrestre. El PMS al tener un peso dentro de la influencia de la atracción gravitatoria, sedimenta y se deposita en las superficies (edificios y objetos en exteriores e interiores, áreas verdes, avenidas y calles con o sin asfalto) donde pueden volver a ser eyectados por flujos de aire urbanos, dándose el fenómeno de Re-suspensión (Carranza, 2021).

El PMS, es creado básicamente por la rotura de grandes partículas en procesos tales como: Trituración, pulverización, perforaciones, explosiones; en la mezcla de materiales y operaciones como: Transporte, tamizado, barreduras. Entre los contaminantes atmosféricos particulados, se puede diferenciar la fracción sedimentable y la fracción de partículas en suspensión (Carranza, 2021).

- a. La primera formada por partículas más grandes, que permanecen en el aire por cortos períodos de tiempo, depositándose en el suelo por su tamaño y grosor.
- b. La segunda corresponde a las partículas que se dispersan en la atmósfera, de una forma casi estable y homogénea y, por lo tanto, permanecen en suspensión durante un cierto tiempo, hasta que son eliminadas por precipitación.

Las partículas suspendidas comprenden el conjunto de aerosoles que se encuentran en el aire ambiental y pueden alcanzar tamaños superiores a 100 μm . El PM_{10} corresponde a las partículas con diámetro aerodinámico menor a 1 μm , mientras que las partículas ultrafinas, se caracterizan por presentar un diámetro aerodinámico inferior a 0,1 μm (Corleto & Cortéz, 2012).

Las partículas pueden tener una composición fisicoquímica homogénea o estar constituidas por diversos compuestos orgánicos e inorgánicos. Entre los componentes orgánicos se encuentran: Fenoles, ácidos, alcoholes y material biológico (polen, protozoarios, bacterias, virus, hongos, esporas y algas). Entre los compuestos inorgánicos, se encuentran nitratos, sulfatos, polímeros, silicatos, metales pesados (hierro, plomo, manganeso, zinc o vanadio) y elementos derivados de pesticidas y plaguicidas (Ayala & Ochoa, 2011).

Las propiedades de estas partículas varían en términos de su composición química, morfología (tamaño/forma), parámetros ópticos (color/dispersión de la luz) y características eléctricas (carga, resistencia). Dada la diversidad en su tamaño, forma y composición variada, su identificación y clasificación se realiza en términos de su diámetro aerodinámico (Tabla 1), el cual se define como el diámetro de su esfera de densidad unitaria (1 g/cm^3), que alcanza la misma velocidad terminal, debida a la fuerza gravitacional en aire en calma y bajo las mismas condiciones de presión, temperatura y humedad relativa (Corleto & Cortéz, 2012).

TABLA 1. Tipos de residuos en material particulado.

Residuos orgánicos		Residuos inorgánicos	
Origen Vegetal	Origen animal		
Fragmentos de madera	Lana	Carbonatos	Arcilla
Algodón	Seda	Cloruros	Yeso
Almidón	Plumas	Hollín	Metales
Fibras Diversas	Escamas	Carbón	Minerales

2.1.7 Origen y fuentes de material particulado

Este contaminante puede formarse a partir de fuentes naturales y antropogénicas, así como, a partir de emisiones directas o por procesos secundarios en la atmósfera. Las principales fuentes antropogénicas, en áreas urbanas, corresponden al tráfico vehicular, actividades industriales y aumento de obras civiles (Nuñez, 2019).

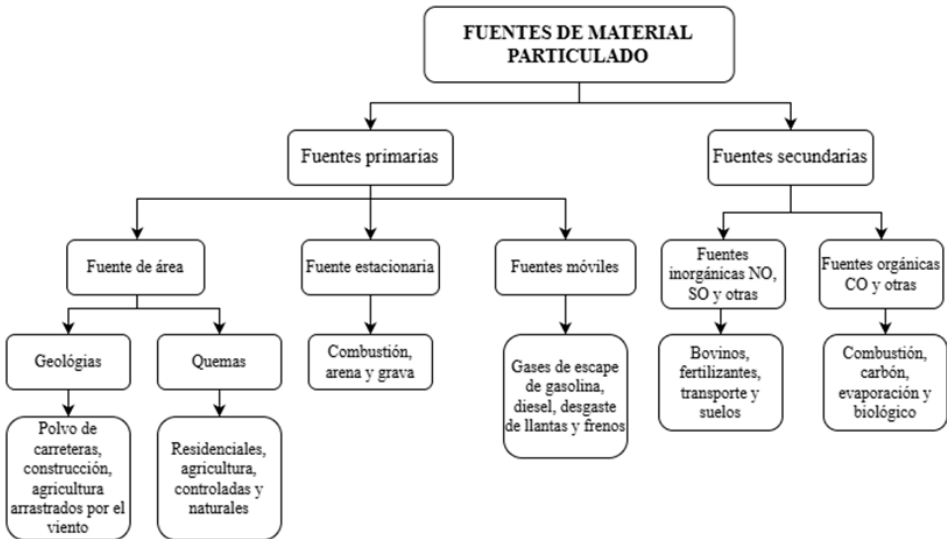
Los contaminantes del aire medidos en zonas urbanas provienen típicamente de fuentes móviles como medios motorizados de transporte y de fuentes fijas como indus-

trias, usos residenciales y procesos de eliminación de residuos. Si estas fuentes se encuentran en zonas en donde las diversas condiciones topográficas, la inversión térmica o la velocidad del viento reduzcan la dispersión de los contaminantes en la atmósfera, puede haber, periodos de tiempo con concentraciones peligrosamente altas (Bravo Vásquez, 2017).

Considerado el origen natural, las principales fuentes corresponden a erupciones volcánicas, tormentas de arena, aerosoles marinos, etc. Igualmente pueden ser emitidas de manera directa, como una partícula primaria o por formación de partículas secundarias a partir de otros precursores gaseosos en la atmósfera (Nuñez, 2019).

De acuerdo con Gonzales (2018), las fuentes antropogénicas se agrupan de la siguiente manera:

FIGURA 4. Fuentes de PM.



Fuente: elaboración basada en la clasificación de fuentes naturales y antropogénicas.

2.1.8 Composición mineralógica y química del PM

Desde el punto de vista químico y mineralógico el PM puede considerarse como un sistema complejo y dependiendo de la zona de muestreo (rural, urbana, industrial), dicha composición puede presentar una notable variabilidad. Hay que tener en cuenta que las actividades industriales tienen una incidencia sustancial, ya que aportan compuestos de naturaleza compleja derivados de las actividades productivas, las mismas que contribuyen de manera significativa a la atmósfera (Gaviria G & Gonzáles, 2012).

Existen fenómenos que influyen de manera significativa en el ciclo de vida de las partículas como la emisión y dispersión; este último afecta, a las diferencias en los

niveles de concentración másica de partículas tanto entre estaciones del año como entre los periodos día-noche. También se encuentra el fenómeno de transporte que conduce la transferencia partículas de unas localizaciones pequeñas o grandes distancias (Borrás, 2013).

Finalmente, las partículas llegan a la superficie formando parte de las precipitaciones colisionando unas con otras en el camino; este proceso se denomina deposición húmeda, siendo el principal sumidero de PM atmosférico. La deposición de partículas sin precipitación es lo que se denomina deposición seca producida principalmente por el transporte convectivo y por procesos de difusión y adhesión a la superficie terrestre. Este tipo de deposición es menos importante en una escala global, pero es muy relevante con respecto a la calidad del aire local, a los efectos sobre la salud humana y al ensuciamiento de los edificios y monumentos (Borrás, 2013).

2.2 Clasificación de partículas según su formación

Dentro del proceso de formación, los contaminantes pueden ser clasificados como primarios y secundarios, en donde los primarios se emiten directamente de procesos como: el humo de los tubos de escape de vehículos a motor, la erupción de un volcán o el dióxido de azufre de una fábrica en su proceso de producción; por otro lado, los contaminantes secundarios no se trata de una emisión directa como el caso anterior, sino más bien que, se forman a partir de reacciones químicas de los contaminantes primarios en condiciones atmosféricas iniciales presentes en el aire (Istas, 2012).

Los diferentes tipos de MP que se puede encontrar en la atmósfera; así como las reacciones químicas que dan origen, su composición, solubilidad, fuentes emisoras, tiempo de permanencia en la atmósfera y la distancia que pueden recorrer se describen en la tabla 2.

TABLA 2. Caracterización del MP presente en el aire troposférico.

	Particulado fino	Particulado grueso
Se forma a partir de:	Gases	Sólidos grandes, gotas.
Se forma a través de:	Reacciones químicas o vaporización. Evaporación de gotitas de neblina y nubes en que se han disuelto.	Disrupción mecánica (aplastamiento, molienda, abrasión de superficies, etc.). Evaporación de espray. Suspensión de polvos.
Están compuestas de:	Sulfato, nitrato, amonio, carbono elemental. Compuestos orgánicos como HAPs. Metales como plomo, cadmio, vanadio, níquel, cobre, zinc, manganeso, hierro.	Polvo re-suspendido del suelo y las calles. Ceniza del carbón y petróleo. Óxidos de elementos de la corteza (sílice, aluminio, titanio y hierro). Sal, carbonato de calcio, polen, esporas de hongos, moho. Fragmentos de plantas y animales.

	Particulado fino	Particulado grueso
Fuentes:	Combustión del carbón, petróleo, gasolina, diésel o madera. Procesos a altas temperaturas como fundiciones y siderúrgicas.	Re-suspensión del polvo industrial y del suelo en carreteras y calles. Suspensión del suelo en minería, caminos no pavimentados. Fuentes biológicas. Construcción y demolición. Combustión de carbón y petróleo.
Vida media en la atmósfera:	Días a semanas	Minutos a horas
Distancia de viaje	100 a 1000 km	1 a 10 km

CAPÍTULO 3

ESTÁNDARES DE CALIDAD DEL AIRE PARA MATERIAL PARTICULADO

La calidad del aire se ha convertido en uno de los factores más determinantes para la salud pública a nivel global. La OMS ha desarrollado una serie de estándares basados en evidencia científica, con el propósito de orientar a los países en la adopción de límites que permitan proteger la salud humana frente a los efectos nocivos de la contaminación atmosférica. Estos estándares representan la referencia internacional más rigurosa respecto a los niveles aceptables de exposición a PM y otros contaminantes atmosféricos (OMS, 2005).

Las directrices de calidad del aire de la OMS son el resultado de revisiones sistemáticas de cientos de estudios epidemiológicos y toxicológicos que han demostrado la asociación directa entre la exposición a contaminantes como el PM fino ($PM_{2.5}$) y respirable (PM_{10}) y las partículas sedimentables, con un aumento significativo de enfermedades respiratorias, cardiovasculares, neurodegenerativas e incluso cáncer (World Health Organization, 2021).

3.1 Importancia de los estándares de la OMS para la salud pública

La OMS advierte que la exposición crónica al PM, incluso en concentraciones relativamente bajas, puede causar una reducción considerable en la esperanza de vida. Las partículas de menor tamaño, como $PM_{2.5}$, son especialmente peligrosas debido a su capacidad de penetrar profundamente en los pulmones y llegar al torrente sanguíneo, generando inflamación sistémica, daño celular y estrés oxidativo (Cohen et al., 2017).

Los estándares de la OMS no tienen carácter obligatorio, pero se han convertido en la guía global más aceptada por organismos ambientales, gobiernos nacionales y sistemas de monitoreo de calidad del aire, debido a su robustez metodológica y a su enfoque preventivo basado en protección a la salud (Santillan et al., 2025).

3.2 Estándares para el material particulado según la OMS

La OMS establece límites diferenciados dependiendo del tipo de PM y el tiempo de exposición, ya que el riesgo sanitario varía según la duración de la exposición y el tamaño de las partículas (Gaviria et al., 2012; Morantes et al., 2016).

3.2.1 Estándares para partículas sedimentables

Aunque las directrices de la OMS se centran principalmente en $PM_{2.5}$ y PM_{10} , se han utilizado referencias derivadas de estudios sobre deposición de partículas en zonas urbanas para establecer valores estimados. Para fines operativos, muchos países y estudios científicos comparan el PMS con un valor guía internacionalmente aceptado de:

- 0.5 mg/cm²/mes como límite recomendado para evitar daños a la salud y a estructuras (WHO, 2006).

Este valor corresponde al límite más restrictivo adoptado por estudios urbanos en América Latina y Europa, utilizado como referencia técnica en investigaciones de impacto ambiental.

3.2.2 Estándares para PM_{10}

La OMS indica que las partículas de tamaño menor o igual a 10 micras representan un riesgo moderado, especialmente para sistemas respiratorios vulnerables, como niños y adultos mayores.

Los valores recomendados son:

- PM_{10} – Media anual: 20 µg/m³
- PM_{10} – Promedio 24 horas: 50 µg/m³

La exposición prolongada a PM_{10} se asocia con bronquitis crónica, exacerbación de asma y disminución funcional del sistema pulmonar (WHO, 2021).

3.2.3 Estándares para $PM_{2.5}$

Las partículas finas ($PM_{2.5}$) son el contaminante atmosférico de mayor preocupación actual debido a su capacidad de atravesar barreras biológicas y su asociación con múltiples enfermedades crónicas.

Los valores establecidos por la OMS son:

- $PM_{2.5}$ – Media anual: $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- $PM_{2.5}$ – Promedio 24 horas: $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$

La OMS enfatiza que ningún nivel de $PM_{2.5}$ se considera completamente seguro, ya que incluso concentraciones inferiores a los límites recomendados generan efectos en la salud, aunque en menor magnitud (Burnett et al., 2018).

3.3 Fundamento científico de los estándares de la OMS

Los valores planteados por la OMS provienen de evidencia epidemiológica sólida. Estudios globales han mostrado que incrementos mínimos en la concentración de $PM_{2.5}$ —tan solo $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ — se asocian con aumentos del 6 al 13 % en muertes por enfermedades cardiovasculares y del 8 al 15 % en hospitalizaciones por afecciones respiratorias (Hoek et al., 2013).

Así mismo, la OMS señala que no solo la concentración, sino también la composición química del PM (sulfatos, nitratos, metales pesados, carbono elemental) influye directamente en la severidad de los efectos en la salud (WHO, 2021).

3.4 Relevancia de los estándares de la OMS para países en desarrollo

En naciones de América Latina, Asia y África, donde las normativas nacionales suelen ser menos estrictas que las guías de la OMS, existe un mayor riesgo poblacional debido a:

- Crecimiento vehicular acelerado,
- Aumento de actividades industriales,
- Uso de combustibles con alto contenido de azufre,
- Expansión urbana sin control ambiental,
- Actividades de construcción y quema de biomasa.

Por ello, la adopción progresiva de los estándares de la OMS respalda políticas públicas más estrictas, estrategias de mitigación y la elaboración de inventarios de emisiones más precisos (Gutiérrez & Nava, 2020).

Los estándares de la OMS constituyen la referencia más rigurosa para evaluar los riesgos sanitarios derivados de la contaminación por PM. Aunque no son de cumplimiento obligatorio, su adopción como guía técnica permite a los países implementar políticas preventivas eficientes, proteger a poblaciones vulnerables y generar sistemas de vigilancia ambiental basados en evidencia científica. Su enfoque preventivo y su actualización periódica los convierten en una herramienta esencial para la gestión de la calidad del aire en el siglo XXI.

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

En el presente libro se presentan los resultados obtenidos a partir del análisis desarrollado en distintas zonas del cantón Riobamba, perteneciente a la provincia de Chimborazo, en la región Sierra Centro del Ecuador (Figura 5). Esta ciudad se localiza a una altitud promedio de 2850 m.s.n.m., condición que le confiere un clima frío con una temperatura media de 13,4 °C (INAMHI, 2022).

Las zonas de estudio comprenden tanto sectores urbanos como rurales, lo que permite obtener una visión amplia del comportamiento ambiental en distintos contextos territoriales. Entre las áreas evaluadas se encuentran:

1. Calpi
2. Chambo
3. Colta
4. Cajabamba
5. Barrio la libertad
6. Barrio la Esperanza
7. Barrio Juan Montalvo
8. San José de Chanchahuan

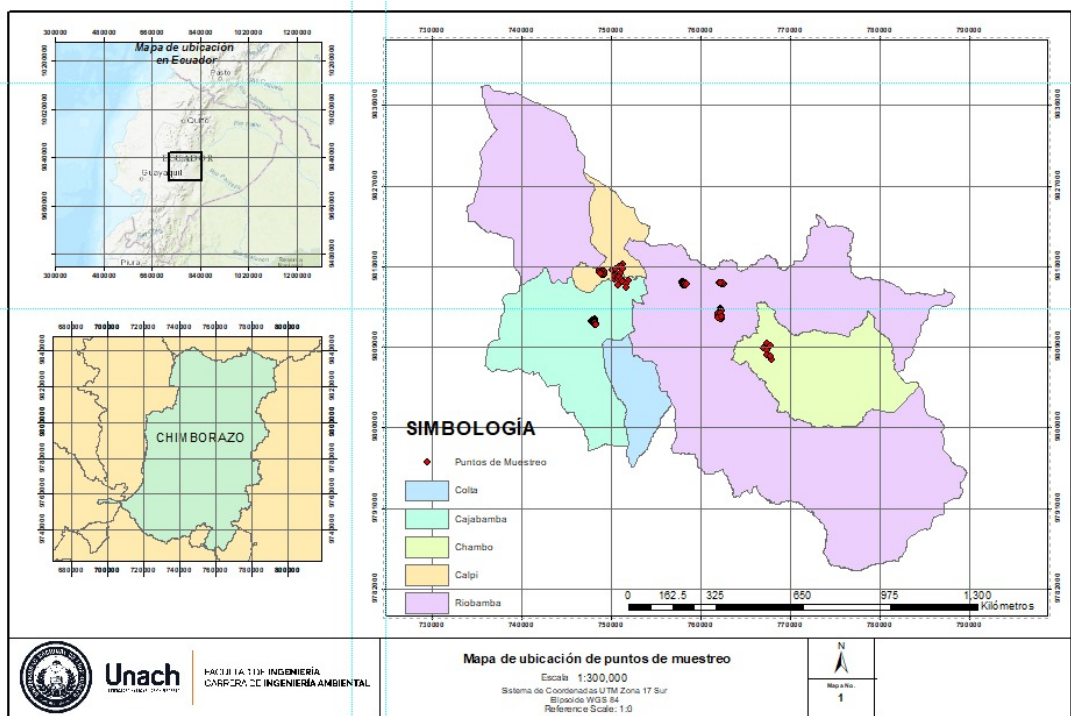
En cada una de estas zonas se aplicó la misma metodología de muestreo, procesamiento y evaluación, lo que garantiza la uniformidad en la obtención de datos y permitió realizar comparaciones confiables entre los diferentes sectores estudiados. Esta homogeneidad metodológica asegura que los resultados obtenidos reflejen con precisión las variaciones ambientales propias de cada zona y no diferencias atribuibles a los procedimientos técnicos empleados.

Características del área de estudio:

- La temperatura ambiente media registrada durante todo el año, es de 13,4 °C.

- La humedad relativa en la zona es de 63,1 %.
- La velocidad del viento es de 2,1 m/s.
- Precipitación atmosférica de 564,5 mm.
- Presión atmosférica de 548,3 mmHg.
- Coordenadas Geográficas

FIGURA 5. Área de estudio.



4.1 Visita de campo y encuestas a los moradores del sector

Con el propósito de comprender de manera precisa la magnitud del problema ambiental en el sector, se realizó una visita exhaustiva a cada uno de los puntos previamente seleccionados, particularmente en las áreas con alta concentración de aserraderos (Barrio La Esperanza). En este sector se identificaron catorce establecimientos madereros, distribuidos a lo largo de un tramo aproximado de 500 metros de la Avenida Edelberto Bonilla Oleas, lo que evidenciando una intensa actividad industrial concentrada y un elevado potencial generadora de PM.

Durante el reconocimiento del área, se llevó a cabo un levantamiento georreferenciado mediante el uso de los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) Garmin 60 CSx, un dispositivo utilizado frecuentemente en estudios topográficos y ambientales. La información recopilada constituye la base espacial para la aplicación posterior del análisis geoestadístico, cuyo objetivo fue determinar la dispersión del PM mediante el método de interpolación Kriging, técnica que permite modelar y representar la distribución del contaminante en zonas no muestreadas a partir de la variabilidad espacial observada.

De manera complementaria, se realizó un estudio socioambiental en el barrio “La Esperanza” con el fin de incorporar la percepción ciudadana respecto a la problemática generada por los aserraderos. Para ello, se aplicaron 18 encuestas estructuradas, con la finalidad de recopilar información clave relacionada con las molestias percibidas, afectaciones a la salud y la experiencia cotidiana de los habitantes frente a la presencia constante de polvo de madera en el ambiente.

Los moradores participaron de forma activa en el proceso y respondieron la encuesta diseñada para identificar los principales efectos asociados al PM generado por los aserraderos. Entre los aspectos evaluados se incluyeron:

1. Percepción sobre el origen del PM en el sector, con el objetivo de identificar el nivel de conocimiento de la comunidad sobre las fuentes de emisión.
2. Calificación de la calidad del aire en el barrio “La Esperanza”, considerando la presencia visible y constante del polvo de madera en suspensión.
3. Evaluación del riesgo percibido para la salud, indagando si la población considera que la exposición al PM puede afectar su bienestar físico.
4. Identificación de enfermedades asociadas al polvo de madera, a partir de una lista de posibles afecciones respiratorias, dérmicas o alérgicas.
5. Registro de síntomas experimentados por los moradores, tales como irritación ocular, tos persistente, alergias, dificultad respiratoria o molestias recurrentes vinculadas a la exposición ambiental.

La inclusión de esta encuesta permitió establecer una conexión directa entre los datos técnicos obtenidos mediante instrumentación especializada y la experiencia vivencial de la comunidad, enriqueciendo el análisis integral del problema y proporcionando

insumos valiosos para la toma de decisiones, planificación ambiental y elaboración de propuestas de mitigación basadas tanto en criterios científicos como en necesidades reales de la población.

4.2 Toma de puntos GPS

Para este procedimiento, es fundamental considerar las condiciones atmosféricas al momento de realizar el levantamiento georreferenciado. El funcionamiento del GPS depende directamente de la recepción clara y continua de señales emitidas por los satélites; por ello, el cielo debe encontrarse lo más despejado posible, ya que la presencia de nubes densas, neblina, humedad elevada o incluso interferencias físicas como edificaciones altas y vegetación frondosa pueden aumentar significativamente el margen de error en la precisión del posicionamiento. En condiciones climáticas adversas, el receptor puede registrar variaciones en la señal que se traducen en errores medidos en metros, afectando la exactitud de la ubicación de los puntos.

Una vez identificados y caracterizados los lugares considerados como focos de contaminación, tales como aserraderos, talleres, zonas industriales o áreas de actividad intensiva, se procede a delimitar un perímetro que abarque la totalidad de estos puntos críticos. Esta delimitación es esencial para establecer los límites reales del área de estudio, garantizar que todos los elementos contaminantes queden incluidos dentro del análisis y definir la distribución estratégica de las estaciones o dispositivos de muestreo ambiental.

La toma de puntos GPS se realiza recorriendo el perímetro previamente establecido, marcando cada punto de interés con coordenadas geográficas precisas. Este registro se lleva a cabo mediante un dispositivo GPS de alta sensibilidad, preferiblemente configurado bajo el sistema de referencia oficial (WGS 84), lo que asegura compatibilidad con softwares de Sistemas de Información Geográfica (SIG) utilizados posteriormente durante el procesamiento cartográfico. Además de los focos de contaminación, se recomienda registrar puntos adicionales como vías de acceso, zonas de dispersión probable, áreas residenciales cercanas, cuerpos de agua o cualquier otro elemento que pueda influir en la dinámica del PM o en los procesos ambientales asociados.

Finalmente, los puntos GPS obtenidos son verificados, depurados y organizados, formando una base de datos espacial que constituye una parte esencial del análisis geo ambiental. Esta información permite generar mapas precisos, identificar patrones de

distribución de contaminantes y facilitar la posterior planificación de rutas, puntos de muestreo y estrategias de monitoreo ambiental continuo.

4.3 Ubicación e implantación de los equipos de medición para PMS

Tomando en consideración los lineamientos metodológicos planteados por (Marcos & Valderrama, 2012), se estableció que el lugar de emplazamiento de cada estación de monitoreo debía encontrarse totalmente libre de obstáculos que pudieran alterar la deposición natural del PMS. Esto incluye evitar la proximidad inmediata a edificaciones, muros perimetrales, techos, árboles de gran altura, tendederos de ropa, estructuras metálicas o cualquier objeto que genere turbulencias, sombras aerodinámicas o acumulaciones artificiales de partículas. La presencia de estos elementos puede provocar perturbaciones significativas en los valores obtenidos, comprometiendo así la exactitud y representatividad de los resultados.

Con el fin de garantizar un proceso de muestreo ordenado y técnicamente sustentado, se dividió toda el área de estudio en seis zonas, aplicando un criterio territorial uniforme que permitió cubrir de manera homogénea todo el barrio “La Esperanza”. En cada una de estas zonas se colocó un equipo de monitoreo, lo que permitió obtener una distribución espacial equilibrada de los puntos de medición. Esta distribución estratégica favorece la identificación de posibles variaciones internas, así como la detección de sectores con mayor influencia de fuentes contaminantes.

Posteriormente, se aplicó el método pasivo descrito por Almirón, Dalmasso & Llera (2008), ampliamente utilizado en estudios de calidad del aire por su eficiencia, bajo costo operativo y capacidad de generar datos confiables para comparaciones territoriales. Este método consiste en colocar, en cada equipo de medición, una caja Petri con un papel filtro previamente acondicionado, el cual ha sido pesado en una balanza analítica de alta precisión y cuya área ha sido determinada con exactitud para permitir el cálculo posterior de la concentración de PMS. Las cajas Petri permanecieron expuestas en los puntos de monitoreo durante un período continuo de un mes, tiempo establecido para garantizar la acumulación suficiente de partículas y cumplir con las normas de monitoreo mensual del PMS.

Según los criterios establecidos por Santillán et al., (2016), los equipos fueron ubicados en lugares con mayor probabilidad de receptor PMS, priorizando zonas donde la circulación del aire fuese estable y sin interferencias externas. Se seleccionaron

áreas abiertas, lejos de corrientes de viento canalizadas, evitando espacios con excesiva sombra, humedad o tránsito constante de personas o vehículos que pudieran alterar la deposición natural de las partículas.

La cuidadosa selección del emplazamiento, la correcta división del área de estudio, la aplicación rigurosa del método pasivo y la ubicación estratégica de los seis equipos aseguraron la obtención de datos representativos, comparables y científicamente consistentes, capaces de reflejar la realidad ambiental del barrio “La Esperanza” durante el periodo de estudio. Este enfoque metodológico integral garantiza que los resultados presentados constituyan una base sólida para la evaluación de la calidad del aire y el análisis de posibles impactos en la salud y el ambiente.

4.4 Método de muestreo de PMS

Para el muestreo de PMS, se instalan las estaciones de acuerdo con el área de estudio y conforme en el Libro VI, Anexo IV, del TULSMA, el cual indica que las muestras deben recolectarse de manera continua durante un periodo de 30 días. Una vez terminado el muestreo, el papel filtro debe ser llevado al laboratorio y colocado en la estufa a una temperatura de 50°C durante un periodo de 24 horas, con el fin de eliminar la humedad adquirida por efecto de las condiciones ambiente (Santillán et al., 2016). Posteriormente, tras la eliminación de la humedad cada papel debe ser pesado nuevamente mediante una balanza analítica.

Finalmente, para determinar el PMS se aplica la fórmula propuesta por (Marcos & Valderrama, 2012), la cual consiste en calcular la diferencia entre los pesos final e inicial y dividiendo para el área del papel filtro, donde los resultados son expresados en unidades de mg/cm²/mes (Ecuación 1).

$$PAS = \frac{P_f - P_i}{A_{rea}} * 1mes \quad (1)$$

Donde:

PAS: Polvo Atmosférico Sedimentable.

Pi (P. inicial): Este es después de salir de laboratorio.

Pf (P. final): Este es después de estar expuesta el filtro durante el periodo de muestreo.

Área del papel filtro: $A = \pi * r^2$

r: 4.3 cm

4.5 Monitoreo de PMV

Las mediciones se llevaron a cabo de manera aleatoria en distintos puntos representativos de cada zona del área de estudio. El monitoreo se efectuó durante los días laborables, con el propósito de obtener datos homogéneos bajo condiciones de actividad humana e industrial regulares. Los horarios de recolección fueron 07h00, 12h00 y 15h00 que son las horas pico, momentos en los que suele presentarse un mayor flujo vehicular, incremento de actividades comerciales y, en algunos casos, procesos operativos de las industrias locales.

Para el monitoreo y la cuantificación del PMV se utilizó el equipo DustTrak™ II, tecnología ampliamente reconocida en estudios de calidad del aire debido a su alta sensibilidad y capacidad para registrar mediciones de PM en tiempo real. Este dispositivo tiene la ventaja de medir simultáneamente diferentes fracciones de masa y tamaño de partículas, lo que facilita la interpretación de los resultados y permite distinguir comportamientos específicos del PM en el ambiente.

El DustTrak™ II opera mediante un fotómetro láser de dispersión de luz, el cual detecta la intensidad lumínica desviada por las partículas suspendidas en el aire que atraviesan la cámara óptica del equipo. Esta señal se convierte posteriormente en valores de concentración de masa, permitiendo obtener mediciones precisas en intervalos de tiempo muy cortos. Esta característica no solo mejora la fiabilidad de las lecturas, sino que también reduce considerablemente las necesidades de mantenimiento del equipo, otorgándole una ventaja operativa en estudios prolongados y en ambientes con alta carga de partículas (TSI, 2013).

El procedimiento es el siguiente:

1. Se procede a corroborar, encender y ejecutar la calibración del equipo (ZERO CAL), con el filtro 0 μm , esto se debe realizar antes de cada una de las lecturas con los diferentes filtros.
2. Terminada su calibración se coloca el filtro de 10 μm , luego el de 4 μm y 2,5 μm
3. Se inicia la recolección de PM, el mismo que dura 2 minutos por muestra.
4. Arrojándonos datos en (mg/m^3), los cuales se transforman a μm .
5. La toma de lecturas con el equipo DustTrak™ II, inicia al instante de que el PM empieza a disgregarse por el aire (Santillán et al., 2016).

4.6 Análisis cualitativo con el Microscopio Óptico (MO)

Para el análisis cuantitativo de PMS en el laboratorio, se procedió a la preparación de las muestras para su observación microscópica. Para ello, el PM depositado sobre cada papel filtro fue desprendido con la ayuda de un pincel fino y esterilizado, realizando movimientos suaves y controlados para evitar la dispersión del material o el deterioro de la muestra. Este procedimiento permitió transferir una cantidad representativa del PM a un portaobjetos de vidrio completamente limpio y seco, asegurando que la observación posterior reflejara adecuadamente la composición y morfología de las partículas recolectadas en campo.

Con el material depositado sobre el portaobjetos, **se añadió cuidadosamente una gota de azul de metileno**, colorante biológico que facilita el contraste óptico y permite resaltar estructuras, fragmentos y características morfológicas del PM. Este paso es fundamental para mejorar la visibilidad de las partículas bajo el microscopio, en especial aquellas que presentan tonalidades claras o semitransparentes que dificultan su diferenciación respecto al fondo óptico. Tras la aplicación del colorante, **se colocó un cubreobjetos**, evitando la formación de burbujas y asegurando una distribución uniforme de la muestra.

El análisis microscópico se realizó empleando diferentes lentes objetivos —**4x, 10x, 40x y 100x**— lo que permitió una observación progresiva de las partículas desde una vista general hasta una visualización detallada de su estructura. Los aumentos menores (4x y 10x) facilitaron la identificación de la distribución general del material, presencia de conglomerados, fibras o fragmentos grandes, mientras que los aumentos intermedios y altos (40x y 100x) permitieron examinar características más finas, tales como bordes, porosidad, formas cristalinas, partículas minerales, restos orgánicos, hollín y posibles trazas de compuestos no solubles.

Para el objetivo de **100x**, fue imprescindible el uso de **aceite de inmersión**, el cual permite incrementar significativamente la resolución y la nitidez de la imagen, reduciendo la refracción de la luz entre el lente y la muestra. Este paso fue clave para lograr una observación detallada de partículas muy pequeñas o con características superficiales complejas, que resultan relevantes para la clasificación del PM y la interpretación de su origen.

4.7 Análisis geoestadístico

Para el desarrollo del análisis geoestadístico, se recopiló información proveniente de las estaciones meteorológicas más cercanas al área de estudio, priorizando aquellas que cuentan con registros continuos y confiables de variables atmosféricas clave. Entre los parámetros más relevantes para comprender la dinámica del PM se encuentran la velocidad del viento, la dirección predominante del flujo atmosférico y, en algunos casos, la temperatura ambiental, la humedad relativa y la presión barométrica, dado que estas variables pueden influir en la dispersión y transporte de las partículas en suspensión.

La integración de los datos meteorológicos permite establecer patrones de circulación del aire que condicionan el comportamiento espacial del PM, ya que el viento actúa como principal agente de transporte, pudiendo desplazar partículas ligeras a distancias significativas o acumulándolas en zonas específicas dependiendo de las condiciones topográficas. Con esta información, se llevó a cabo un análisis espacial detallado cuyo objetivo principal fue determinar la dirección, intensidad y alcance de la dispersión del PM dentro del área evaluada.

Para modelar la distribución espacial del PM, se aplicó el método de interpolación geoestadística Kriging, una técnica robusta y ampliamente utilizada en estudios ambientales debido a su capacidad para estimar valores en áreas no muestreadas con un alto nivel de precisión. El método Kriging no solo considera la distancia entre los puntos de muestreo, sino también la estructura espacial de la variabilidad, lo que lo convierte en una herramienta superior a métodos de interpolación simples como el inverso de la distancia ponderada (IDW) o la interpolación lineal.

La aplicación del método Kriging implicó la elaboración previa de un variograma experimental, herramienta fundamental que permite analizar la dependencia espacial entre los datos obtenidos en campo. El variograma proporciona información sobre:

- **El alcance (range):** distancia máxima en la que los datos presentan correlación espacial.
- **El nivel de meseta (sill):** punto donde la variabilidad deja de aumentar significativamente.
- **El efecto pepita (nugget):** variación no explicada, relacionada con errores de medición o cambios abruptos en el fenómeno.

Una vez determinado el modelo de variograma que mejor se ajustó a los datos —ya sea esférico, exponencial, gaussiano, entre otros— se procedió a generar la interpolación Kriging, obteniendo así mapas continuos que representan la distribución espacial estimada del PM. Estos mapas permiten identificar zonas con mayor concentración de PM, rutas probables de dispersión, áreas de acumulación y posibles puntos donde el impacto ambiental es más significativo.

El resultado del análisis geoestadístico constituye una herramienta fundamental para la comprensión de la dinámica ambiental del PM en el área de estudio, ya que combina información meteorológica y espacial para generar modelos predictivos que pueden utilizarse para:

- evaluar la efectividad de las políticas de control de emisiones,
- identificar zonas críticas que requieran intervenciones,
- orientar la ubicación futura de estaciones de monitoreo,
- y contribuir a la planificación territorial y ambiental.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

En el presente apartado se describen y analizan los resultados obtenidos del monitoreo de PM en las localidades de Calpi, Chambo, Colta y Cajabamba, así como en los barrios La Libertad, La Esperanza y Juan Montalvo de la ciudad de Riobamba y sector San José Chacahuán. Estas zonas, presentan diversas características socioeconómicas, productivas y ambientales, que contienen distintos escenarios de influencia antrópica y natural. En este contexto, contar con información valiosa que permitió realizar un análisis comparativo de los niveles de PM registrados en cada sitio; así como elaborar mapas de dispersión, identificar las fuentes predominantes de emisión y evaluar los posibles riesgos asociados para la salud y el entorno. De este modo, los resultados obtenidos constituyen en un insumo fundamental para la evaluación integral de la calidad del aire en la provincia de Chimborazo.

5.1 Resultados en la zona de Calpi

El sector de Calpi se caracteriza por una combinación de actividades agrícolas, tránsito vehicular interprovincial y asentamientos poblacionales en expansión, lo que configura un escenario propicio para la generación y acumulación de material particulado. El análisis de los resultados en esta zona permite evaluar la influencia de estas dinámicas productivas y de movilidad sobre la calidad del aire, así como sus posibles implicaciones ambientales y sanitarias.

5.2 Material particulado volátil

Los valores de concentración del PMV de 2,5 μm y 10 μm , se obtuvieron con el uso del equipo DustTrak™ II, en el período noviembre-diciembre de 2018 (12 de noviembre-10 de diciembre de 2018), para lo cual se dividió el área en 7 puntos de muestreo como se observa en la Figura 6.

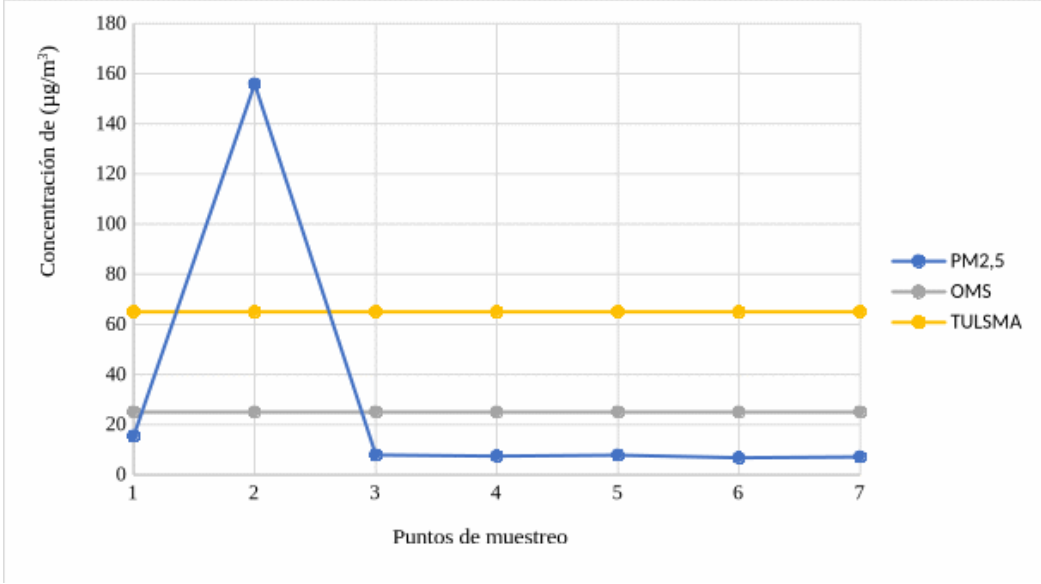
FIGURA 6. Ubicación de los puntos para el monitoreo de PMV



5.3 Análisis global de la concentración de PMV en la cabecera parroquial de Calpi en comparación con los LMP de la OMS y TULSMA

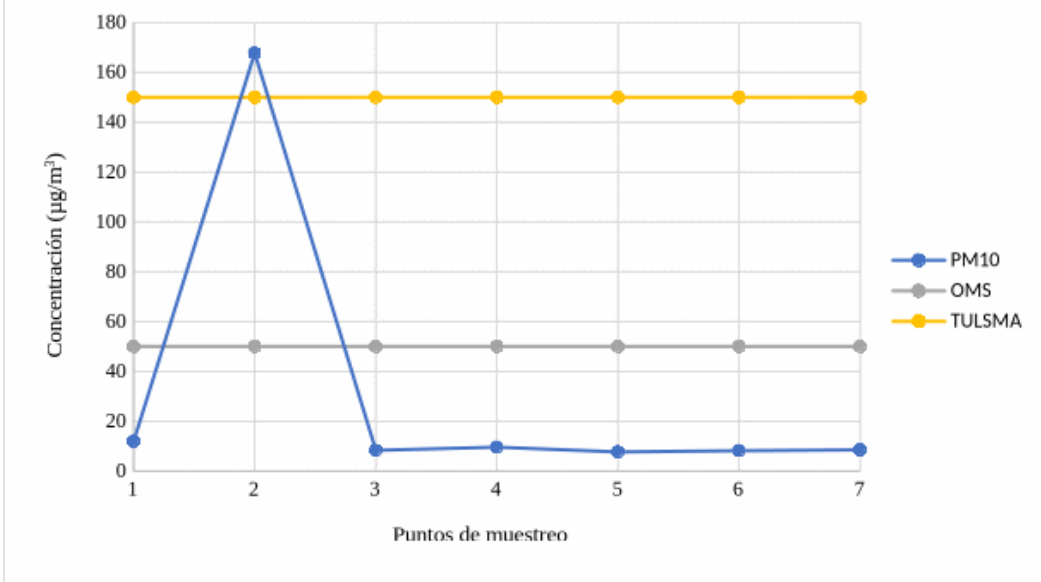
En las Figuras 7 y 8 se muestra la concentración global de $PM_{2,5}$ y PM_{10} respectivamente, para lo cual se realizó un promedio general en cada uno de los siete puntos, con los datos obtenidos durante los 21 días de monitoreo en tres horarios diferentes (8H:00, 12H:00 y 16H:00), así también, se hizo la comparación con los límites máximos permisibles propuestos por la OMS y el TULSMA, en el cual se observó que tanto para el $PM_{2,5}$ como para el PM_{10} , la concentración sobrepasa sólo en un área, la cual corresponde al punto de monitoreo 2, mientras que en los demás puntos (1, 3, 4, 5, 6 y 7), se mantienen por debajo de los LMP propuestos. Aunque los LMP para el caso del PM_{10} es menos riguroso, este tiene un comportamiento similar al $PM_{2,5}$, sobrepasando la concentración solamente en el punto de monitoreo 2, esto debido a que según el GAD Santiago de Calpi (2015), existen industrias cercanas al punto de monitoreo tales como Petro-Ecuador, Cemento Chimborazo, Mendogas y fábricas dedicadas a la producción de bloques y cal, las cuales emanan PM.

FIGURA 7. Comparación de la concentración de PM_{2,5} con los LMP de la OMS y el TULSMA por cada punto de monitoreo



Fuente: elaboración propia a partir de los datos del monitoreo.

FIGURA 8. Comparación de la concentración de PM₁₀ con los LMP de la OMS y el TULSMA por cada punto de monitoreo



Fuente: elaboración propia a partir de los datos del monitoreo.

5.4 Análisis diario de la concentración de PMV en la cabecera parroquial de Calpi en comparación con los LMP de la OMS y TULSMA

Con los datos obtenidos del monitoreo de PM_{2,5} y PM₁₀ durante el período noviembre-diciembre de 2018, se hizo un promedio diario para cada una de las horas de los 7 siete puntos muestreo, dando los siguientes resultados (Tablas 3 y 4).

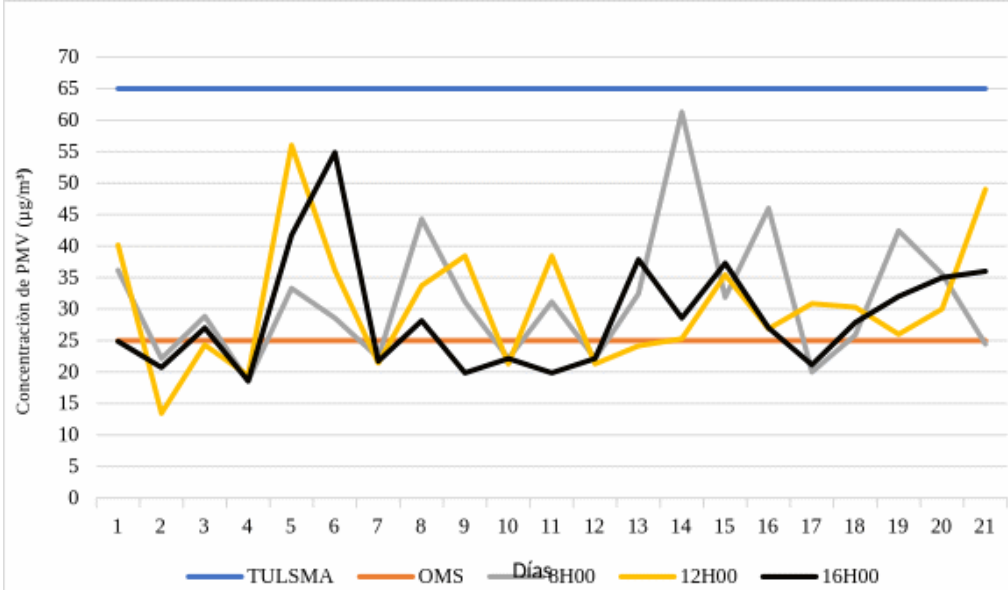
La Tabla 3 indica la comparación de la concentración del PM_{2,5} con respecto a la OMS y el TUSLMA, en donde los días 2, 4, 7, 10, 12 y 17 correspondientes a concentraciones de 18,77 µg/m³, 18,86 µg/m³, 21,81 µg/m³, 21,86 µg/m³, 21,86 µg/m³ y 24 µg/m³ respectivamente, no sobrepasaron el LMP propuesto por la OMS, que es de 25 µg/m³, sin embargo en los demás días, la concentración de PM sobrepasa el LMP permitido por la OMS, esto debido a que en tales días, no hubo mayor presencia de viento, que transporta los contaminantes atmosféricos a larga distancia, ya que según Angelo & Calderón (2014), estas partículas pueden estar suspendidas en la atmósfera de varios días, hasta semanas.

TABLA 3. Concentración de PM_{2,5} en la cabecera parroquial de Calpi y su comparación con los LMP de la OMS y TULSMA

DÍA	8H00	12H00	16H00	PROMEDIO	LMP OMS 25 µg/m ³	LMP TULSMA 65 µg/m ³
1	36,14	40,16	24,86	33,72	NO	SI
2	22,14	13,44	20,71	18,77	SI	SI
3	28,86	24,29	27,00	26,71	NO	SI
4	18,57	19,43	18,57	18,86	SI	SI
5	33,29	56,00	41,71	43,67	NO	SI
6	28,57	36,14	54,86	39,86	NO	SI
7	22,29	21,43	21,71	21,81	SI	SI
8	44,29	33,71	28,14	35,38	NO	SI
9	31,14	38,43	19,86	29,81	NO	SI
10	22,14	21,29	22,14	21,86	SI	SI
11	31,14	38,43	19,86	29,81	NO	SI
12	22,14	21,29	22,14	21,86	SI	SI
13	32,43	24,14	37,86	31,48	NO	SI
14	61,29	25,29	28,57	38,38	NO	SI
15	31,86	35,43	37,29	34,86	NO	SI
16	46,00	26,86	27,00	33,29	NO	SI
17	20,00	30,86	21,14	24,00	SI	SI
18	25,86	30,29	27,86	28,00	NO	SI
19	42,43	26,00	32,00	33,48	NO	SI
20	35,57	30,00	35,00	33,52	NO	SI
21	24,43	49,00	36,00	36,48	NO	SI

Con relación al TULSMA que propone un LMP de $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$, las concentraciones registradas de todos los días no sobrepasan la normativa propuesta por dicha institución, visualizada en la Figura 9, la cual muestra las concentraciones de cada uno de las horas tomado todos los días (gris, amarillo, negro) y los LMP (azul, naranja), así también, se observa que la concentración de $\text{PM}_{2.5}$, sobrepasa los LMP propuestos por la OMS en casi todos los días y en todas las horas de monitoreo, las misma que estuvieron cercanas a alcanzar el valor del LMP del TULSMA, esto tiene relación, ya que el LMP propuesto por la OMS y el TULSMA para el $\text{PM}_{2.5}$ es más exigente que para el PM_{10} por su mayor peligrosidad para la salud de las personas. Sin embargo, para los días 2, 4, 7, 9, 10, 12 y 17, las concentraciones estuvieron por debajo de los LMP propuesto por las instituciones ya mencionadas, ya que según Zeng & Zhang (2017), menciona que la velocidad y dirección del viento, favorece su dispersión, teniendo relación ya que para esos días se evidencio tales condiciones.

FIGURA 9. Comparación de los valores de $\text{PM}_{2.5}$ con los LMP de la OMS Y TULSMA



Elaboración propia a partir de los datos presentados en las tablas del capítulo.

En la Tabla 4 se indica la comparación de la concentración del PM_{10} con respecto al LMP propuesto por la OMS y el TULSMA ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente), en la que los valores de concentración registrados no sobrepasaron los LMP. Sin embargo, existen días en las que las concentraciones incrementaron, estando cercanas a los LMP propuestos por la OMS, como: el día 1, 14 y 16 con valores de $47,62 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $46,38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $45,86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, ya que según Angelo & Calderón (2014), estas

partículas pueden estar suspendidos en la atmósfera desde varios días hasta semanas.

TABLA 4. Concentraciones de PM₁₀ en la cabecera parroquial de Calpi y su comparación con los LMP de la OMS y TULSMA

DÍA	8H00	12H00	16H00	PROMEDIO	LMP OMS 50 µg/m ³	LMP TULSMA 150 µg/m ³
1	57,43	41,57	43,86	47,62	SI	SI
2	23,14	27,43	31,71	27,43	SI	SI
3	36,86	22,86	27,43	29,05	SI	SI
4	17,14	16,00	16,57	16,57	SI	SI
5	23,43	24,29	39,43	29,05	SI	SI
6	14,57	58,29	35,86	36,24	SI	SI
7	19,29	24,43	22,14	21,95	SI	SI
8	32,71	25,86	30,14	29,57	SI	SI
9	20,71	44,14	26,86	30,57	SI	SI
10	25,00	20,86	29,29	25,05	SI	SI
11	20,71	44,14	26,86	30,57	SI	SI
12	24,71	20,86	29,29	24,95	SI	SI
13	55,71	24,57	36,71	39,00	SI	SI
14	42,43	40,00	56,71	46,38	SI	SI
15	49,29	26,57	25,29	33,71	SI	SI
16	42,00	40,43	55,14	45,86	SI	SI
17	32,43	44,00	36,86	37,76	SI	SI
18	30,29	26,57	28,29	28,38	SI	SI
19	26,86	27,00	24,43	26,10	SI	SI
20	28,00	56,43	23,57	36,00	SI	SI
21	26,71	24,43	30,71	27,29	SI	SI

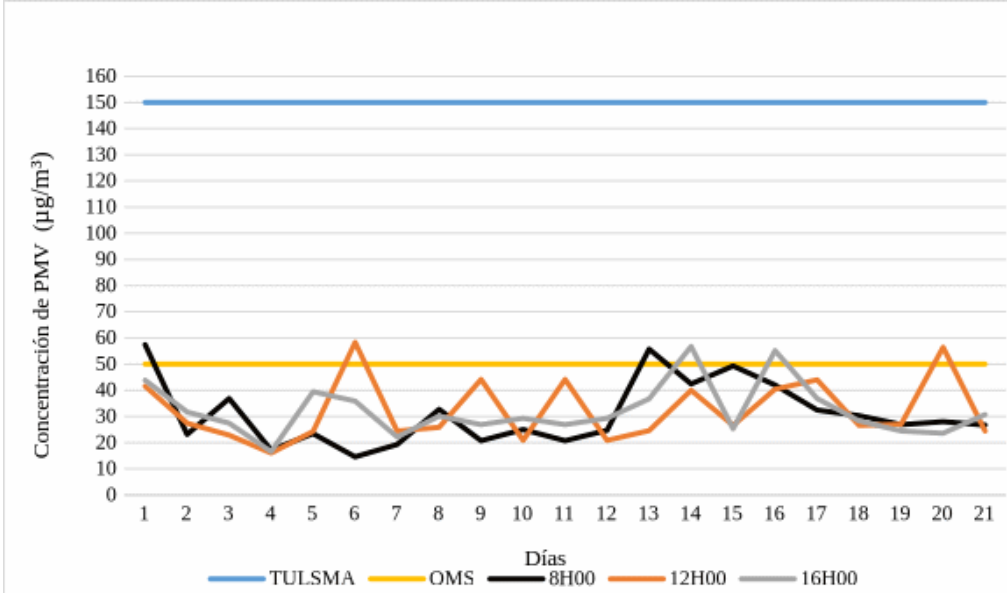
La Figura 10 representa los datos de la Tabla 4, en la cual se observa la comparación de las concentraciones para cada una de las horas de todos los días de muestreo (negro, naranja y gris) con los límites permitidos (azul, amarillo), donde se destaca que la mayoría de las concentraciones no sobrepasan el LMP de la OMS, así también se ve que ninguno de estos valores sobrepasan el LMP del TULSMA, debido a que alrededor del lugar de estudio existe actividad moderada de quema agrícola, tráfico vehicular, actividades industriales, resuspensión de polvo, que son fuentes antropogénicas generadoras de PM₁₀ (Schwarz *et al.*, 2019).

Por otro lado, las mediciones tomadas para los días 1 y 13 a las 8H00, 6 y 20 a las 12H00 y 14 y 16 a las 16H00, sobrepasan el LMP de la OMS, pero no los del TULSMA, así también existe un intervalo de días que van desde el 12 al 17 en los cuales los valores de concentración de PM₁₀, tienen un comportamiento al alza en todos los horarios, algunos de los cuales incluso sobrepasan el LMP de la OMS, esto debido a que en estos días hubo condiciones secas en el lugar. Lo mencionado anteriormente

tiene relación con lo que menciona Flores, Manoj, Junming, & Denise (2011), que nos dice que este tipo de condiciones ayuda a la resuspensión del PM, el cual llega a estar suspendido en el aire creando una columna o tolvanera.

Las concentraciones por emisiones de $PM_{2,5}$ y PM_{10} siguen un comportamiento similar, las cuales tienen un promedio de $30,27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $31,86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, sin embargo, se debe tener más en consideración la emisión de $PM_{2,5}$ ya que según Pui *et al.*, (2014), estas partículas se producen a altas temperaturas producto de la combustión.

FIGURA 10. Comparación de valores de PM_{10} con los LMP de la OMS y el TULSMA



Elaboración propia a partir de los datos presentados en las tablas del capítulo.

5.5 Análisis estadístico descriptivo

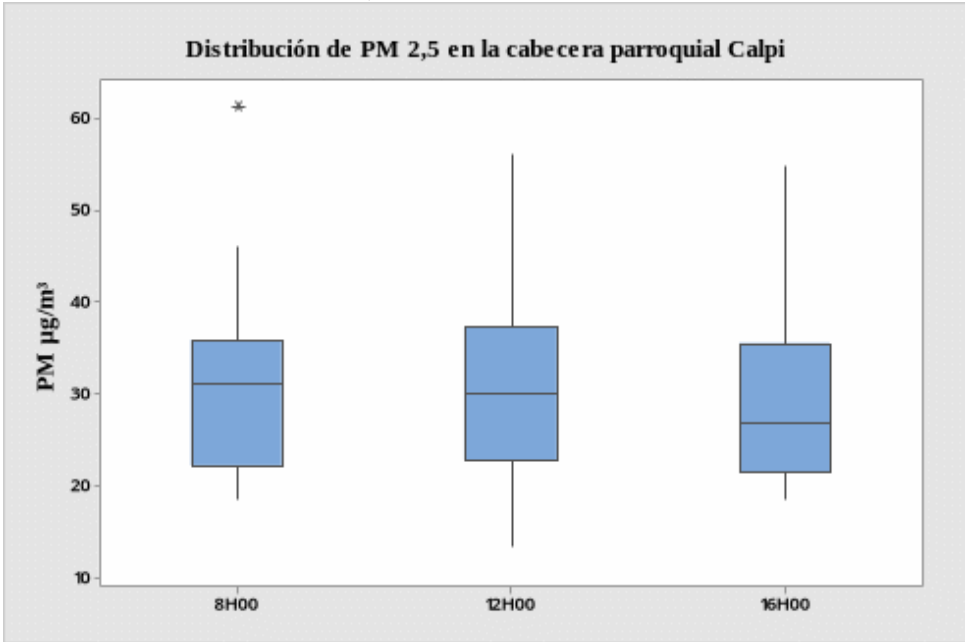
Para el análisis estadístico descriptivo, se trabajó con el Software Minitab 18 Statistical, utilizando las herramientas de estadísticas básicas, como la media, el error estándar de la media, la mediana, la desviación estándar, el mínimo, el primer cuartil, la mediana, el tercer cuartil, el máximo y el rango, y para las gráficas se utilizaron las de caja.

5.6 Material particulado volátil $PM_{2,5}$

Con los valores obtenidos para $PM_{2,5}$, en la cabecera parroquial Calpi, se determinó un valor medio para las 08h00, 12h00 y 16h00, de $31,46 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $30,57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $28,78 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente; el valor máximo que se registra en el sector es de $61,29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un valor mínimo de $13,44 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el rango (Figura 11) que estableció el análisis

estadístico es de $42,72 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $36,29 \mu\text{g}/\text{m}^3$, correspondiente para cada una de las horas.

FIGURA 11. Distribución de $\text{PM}_{2,5}$ en la cabecera parroquial de Calpi

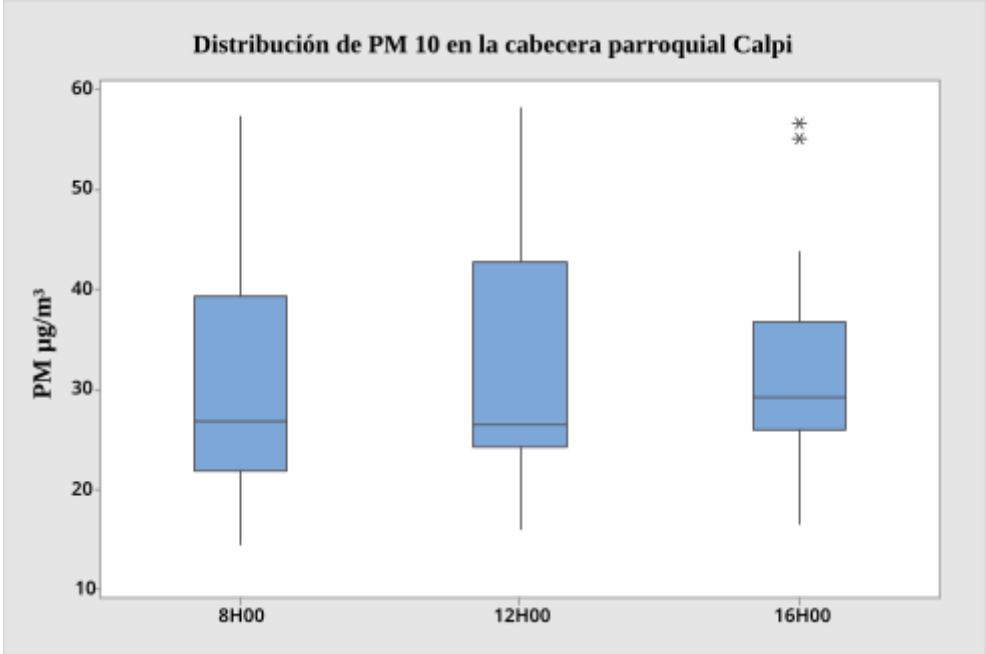


En la figura anterior, el diagrama de cajas para las 8H00, 12H00 y 16H00 muestra que aproximadamente el 75 % de los valores de concentración de $\text{PM}_{2,5}$ sobrepasan los LMP de la OMS y estando por debajo de la normativa del TULSMA. De igual forma, se presenta un valor atípico de $61,29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tomado a las 8H00.

5.7 Material particulado volátil PM_{10}

Para PM_{10} , se determinó un valor medio para las 8h00, 12h00 y 16h00 de $30,92 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $32,42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $33,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente; el valor máximo registrado en el sector de estudio es de $58,29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un valor mínimo de $14,57 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el rango, que se visualiza en la Figura 12, que estableció el análisis estadístico es de $42,86 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $42,29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $40,14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, correspondiente para cada una de las horas.

FIGURA 12. Distribución de PM₁₀, cabecera parroquial Calpi.



En la figura anterior, el diagrama de cajas para las 8H00, 12H00 y 16H00 muestra que aproximadamente el 75 % de los valores de concentración de PM₁₀ sobrepasan los LMP de la OMS y estando por debajo de la normativa del TULSMA. De igual forma, se presentan valores atípicos de 55,14 µg/m³ y 56,43 µg/m³ tomado a las 16H00.

5.8 Concentración y análisis descriptivo del PMS en la cabecera parroquial Calpi

Una vez realizado el monitoreo durante un mes del PMS en los siete puntos de muestreo, se tiene los datos correspondientes de peso para cada punto de monitoreo en la Tabla 5, donde se obtuvo un promedio de 0,381 mg/cm²/mes de los siete puntos de muestreo, de todos los días, en cada hora de monitoreo para el período noviembre-diciembre de 2018, siendo así, que este valor no sobrepasa los LMP propuesto por la OMS y el TULSMA.

TABLA 5. Concentración de PMS en cada punto de monitoreo

Punto	Ubicación geográfica (UTM)		Peso inicial del papel (mg)	Peso final del papel (mg)	PMS (mg/cm ² /mes)
1	750080	9817608	475,6	506,7	0,535
2	750488	9817698	469,9	535,4	1,128
3	750848	9817934	473,5	492,3	0,324
4	751012	9817880	477,1	487,8	0,184

Punto	Ubicación geográfica (UTM)		Peso inicial del papel (mg)	Peso final del papel (mg)	PMS (mg/cm ² /mes)
5	751234	9818157	467,5	473,4	0,102
6	751157	9817987	479,7	489,4	0,167
7	751286	9817699	471,2	484,2	0,224

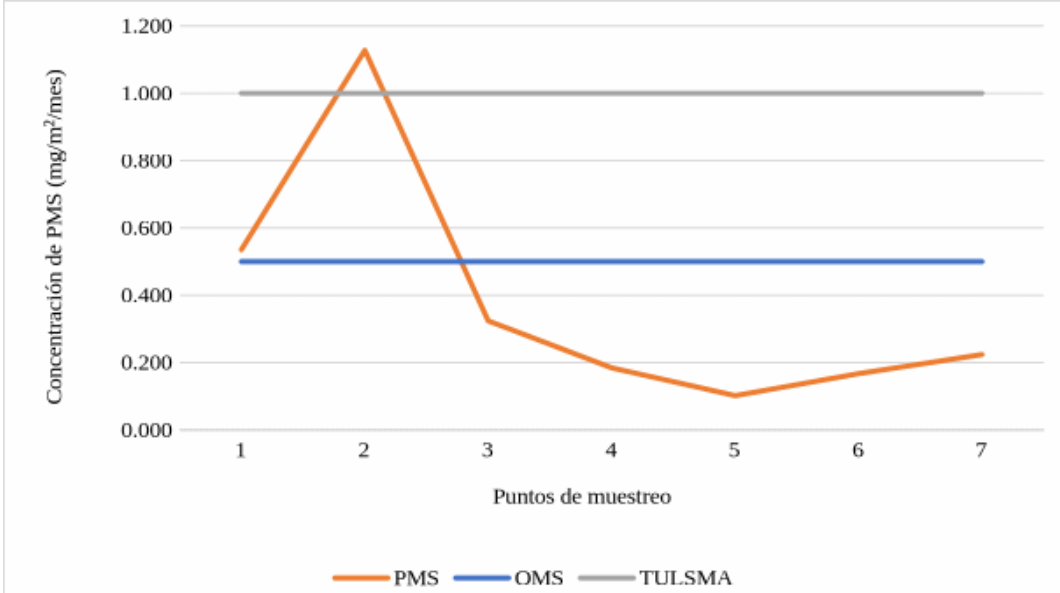
En la Tabla 6 se muestra la comparación de los valores de concentración de PMS (obtenidos a partir de la Tabla 5) con los LMP establecidos por la OMS y el TULSMA, donde, las muestras 1 y 2 con valores de 0,535 mg/cm²/mes y 1,128 mg/cm²/mes respectivamente, sobrepasan el LMP de la OMS que es de 0,5 mg/cm²/mes, mientras que para el LMP propuesto por el TULSMA de 1 mg/cm²/mes, solo sobrepasa en la muestra 2, comprobando de esta manera que los puntos de monitoreo más cercanos a las industrias, tienen mayor afección por la emisión de PM, a diferencia de los otros que se encuentran relativamente alejados, así también, la influencia de la velocidad y dirección del viento para este mes, favorece su dispersión (Zeng & Zhang, 2017).

TABLA 6. Comparación de valores de PMS con el LMP establecidos por la OMS y el TULSMA

Muestra	PMS (mg/cm ² /mes)	LMP OMS	Permisible	LMP TULSMA	Permisible
1	0,535		NO		SI
2	1,128		NO		NO
3	0,324		SI		SI
4	0,184	0,5 mg/cm ² /mes	SI	1 mg/cm ² /mes	SI
5	0,102		SI		SI
6	0,167		SI		SI
7	0,224		SI		SI

En la Figura 13 se observa que las muestras obtenidas en los puntos de monitoreo 3, 4, 5, 6 y 7, no sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos por la OMS y el TULSMA, debido a que durante el período de monitoreo, los datos de dirección del viento fueron favorables para la dispersión del área poblada, con un sentido sureste y con velocidades comprendidas entre media y alta de 3,79 m/s y 6,26 m/s respectivamente, por lo que según (Zeng & Zhang, 2017), las condiciones desfavorables en la atmósfera afectan a la dispersión de los contaminantes como por ejemplo la baja temperatura del aire o la dirección y velocidad del viento; así también, los días fueron soleados, lo cual hace que el aire circundante se caliente y se produzca el movimiento vertical o convectivo en la atmósfera (ESTRUCPLAN, 2015), lo cual favorece a la dispersión de los contaminantes en el centro poblado de la cabera parroquial de Santiago de Calpi.

FIGURA 13. Comparación de valores de PMS con los LMP establecidos por la OMS y TULSMA



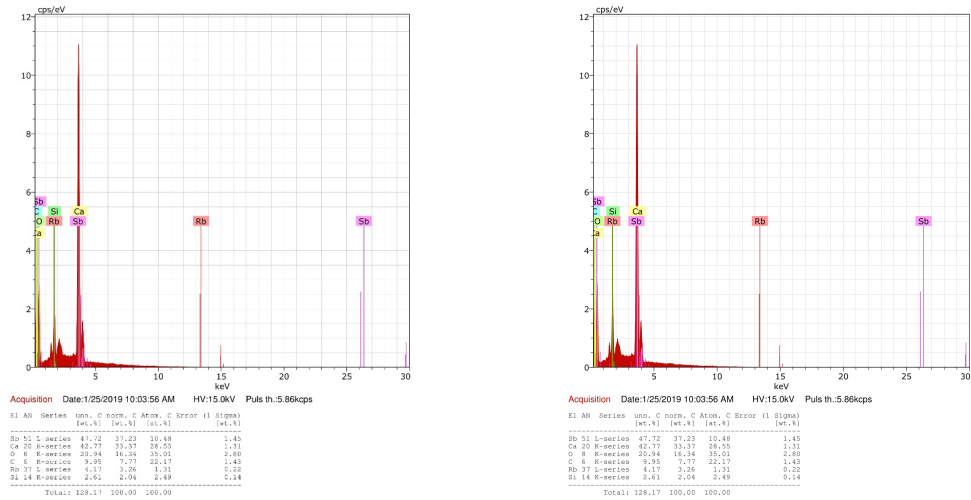
Elaboración propia a partir de los datos presentados en las tablas del capítulo.

5.9 Caracterización química

La composición química del PMS, se lo realizó a partir de una muestra representativa de cada punto de monitoreo mediante la técnica de espectroscopia de fotones rayos x dispersados (EDX), en el laboratorio de microscopia de la UNACH.

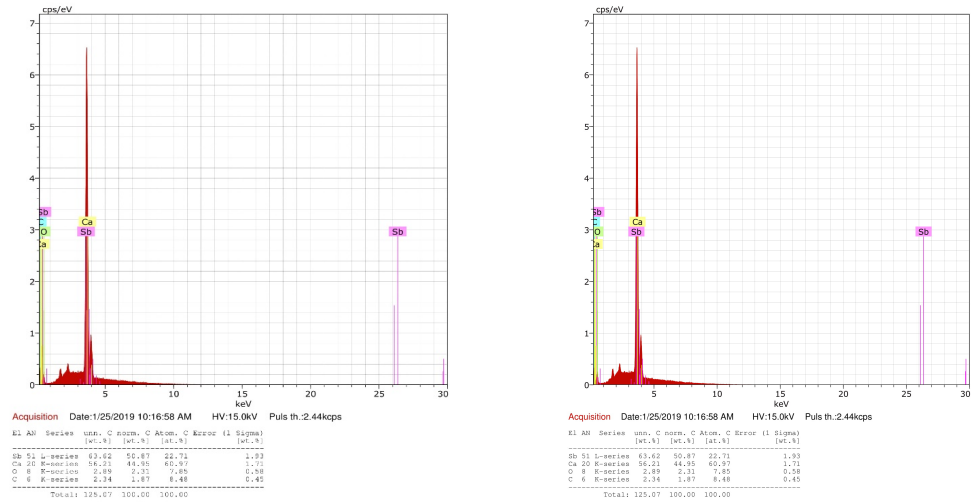
En la Figura 14 se indica el análisis químico de la muestra del punto de monitoreo N.º 1, en la cual nos arroja valores en porcentajes de concentración (columna 5 (norm. C [wt. %])) de elementos químicos de antimonio (Sb) y calcio (Ca) de 37,23 % y 33,37 % respectivamente, en el cual predomina el antimonio que según la Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades (2016) menciona que “el antimonio es liberado en pequeñas cantidades hacia el medio ambiente a través de incineradores y plantas generadoras de energía por combustión de carbón”, seguido de oxígeno (O) y carbono (C) con un 16,34 % y 7,77 % respectivamente finalmente se encuentra valores bajos de rubidio (Rb) y silicio (Si) con un 3,26 % y 2,04 % respectivamente.

FIGURA 14. Caracterización físico-química de la zona de monitoreo 1



En la Figura 15 se indica el análisis químico de la muestra del punto de monitoreo N.º 2, en la cual nos arroja valores en porcentaje de concentración (columna 5 (norm. C [wt. %])) de elementos químicos de Sb y Ca de 50,87 % y 44,95 % respectivamente, seguido de O y C con un 2,31 % y 1,87 % respectivamente.

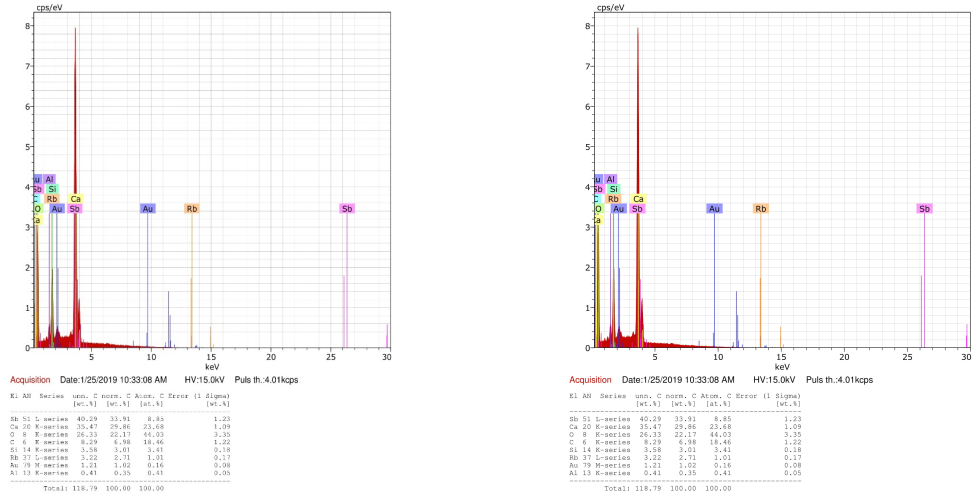
FIGURA 15. Caracterización físico-químico zona de monitoreo 2



En la Figura 16 se indica el análisis químico de la muestra del punto de monitoreo N.º 3, en la cual nos arroja valores en porcentaje de concentración (columna 5 (norm. C [wt. %])) de elementos químicos de Sb y Ca de 33,91 % y 29,86 % respectivamente, seguido de O y C con un 22,17 % y 6,98 % respectivamente, por último, se encuentra

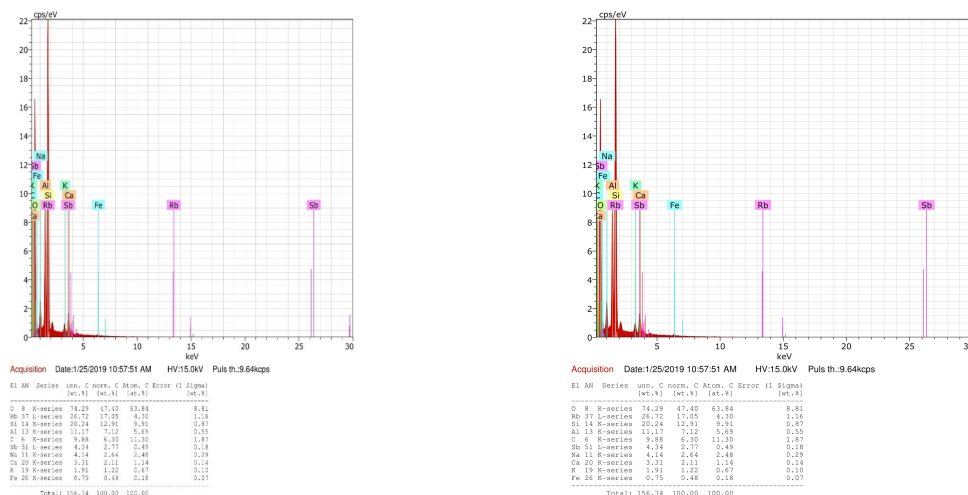
valores de Si y Rb con un 3,01 % y 2,71 % respectivamente. Existen también valores mínimos de oro (Au) que sería parte del proceso de microscopia más no de la muestra en sí; y de aluminio (Al) que no son representativos.

FIGURA 16. Caracterización físico-química zona de monitoreo 3



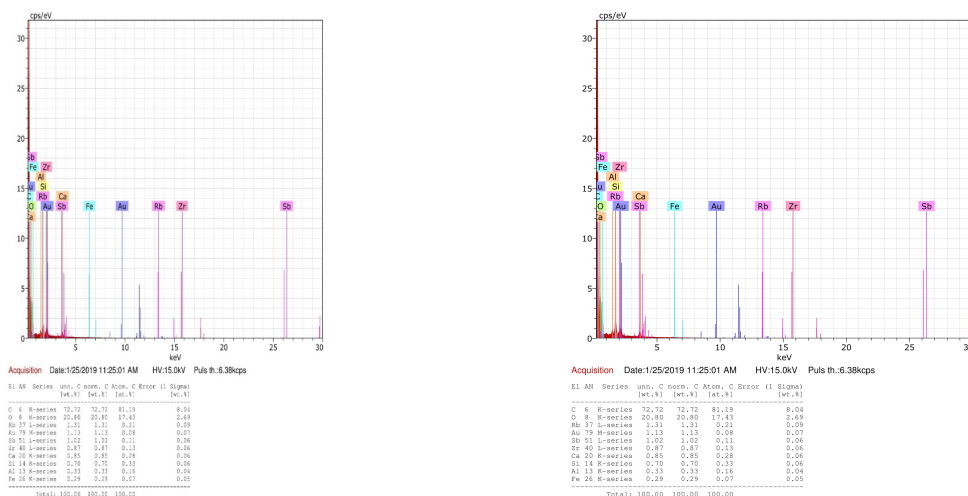
En la Figura 17 se indica el análisis químico de la muestra del punto de monitoreo N.º 4, en la cual nos arroja valores en porcentaje de concentración (columna 5 (norm. C [wt. %])) de elementos químicos de O, Rb, Si, Al de 47,40 %, 17,05 %, 12,91 % y 7,12 % respectivamente, seguido de Ca, Sb y sodio (Na) con un 6,30 %, 2,77 % y 2,11 % respectivamente, por último, se encuentran valores mínimos de potasio (K) y hierro (Fe) con 1,22 % y 0,48 % respectivamente.

FIGURA 17. Caracterización físico-química zona de monitoreo 4



En la Figura 18 se indica el análisis químico de la muestra del punto de monitoreo N.º 5, en la cual nos arroja valores en porcentaje de concentración (columna 5 (norm. C [wt. %])) de elementos químicos de C y O de 72,72 % y 20,80 % respectivamente, seguido de valores mínimos de Rb, Au, Sb, zirconio (Zr), Ca, Si, Al y Fe de 1,31 %, 1,13 %, 1,02 %, 0,87 %, 0,85 %, 0,70 %, 0,33 % y 0,29 % respectivamente.

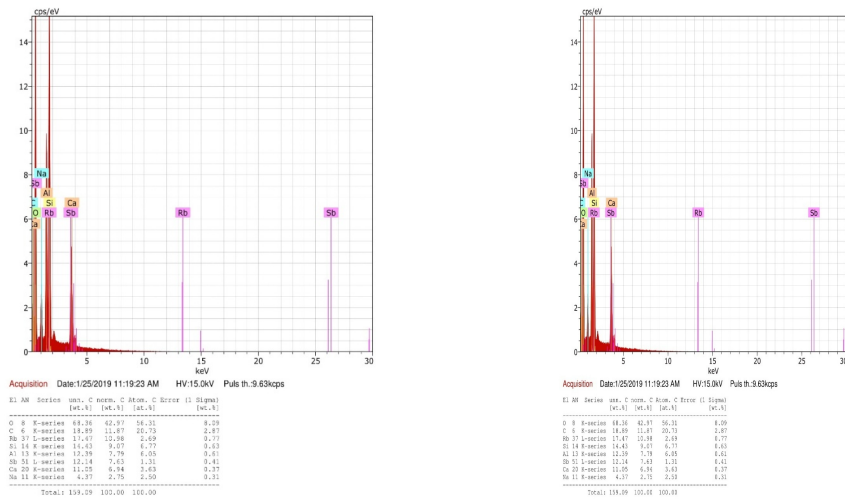
FIGURA 18. Caracterización físico-química zona de monitoreo 5



En la Figura 19 se indica el análisis químico de la muestra del punto de monitoreo N.º 6, en la cual nos arroja valores en porcentaje de concentración (columna 5 (norm. C [wt. %])) de elementos químicos de O y C de 42,97 % y 11,87 % respectivamente,

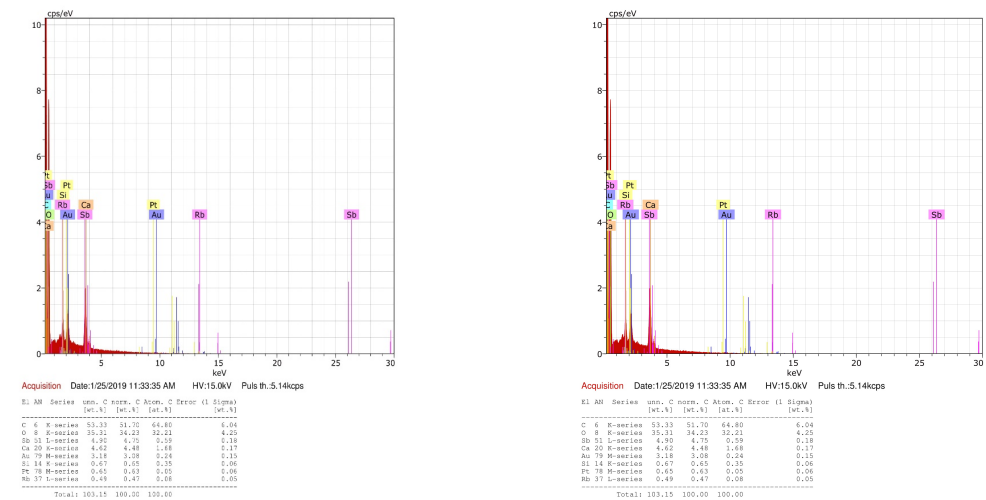
seguido de Rb, Si, Al, Sb, Ca con valores de 10,98 %, 9,07 %, 7,79 %, 7,63 %, 6,94 %, y 2,75 % respectivamente finalmente se encuentran un valor mínimo de Na con un 0 %.

FIGURA 19. Caracterización físico-química zona de monitoreo 6



En la Figura 20 se indica el análisis químico de la muestra del punto de monitoreo N.º 7, en la cual nos arroja valores en porcentaje de concentración (columna 5 (norm. C [wt. %])) de elementos químicos de C y O de 51,40 % y 34,23 % respectivamente, seguido de Sb, Ca y Au de 4,75 %, 4,48 % y 3,08 % finalmente tenemos valores mínimos de Si, platino (Pt) y Rb de 0,65 %, 0,63 % y 0,47 % respectivamente.

FIGURA 20. Caracterización físico-química zona de monitoreo 7



En la Tabla 7 se indica el total de los elementos encontrados en cada uno de los puntos de monitoreo, esto obtenido a partir de un promedio entre las cinco puntas de cada uno de las muestras analizadas en el MEB, en los cuales se puede constatar la existencia de una similitud de elementos químicos en todos los puntos de monitoreo, los cuales corresponden al O, C, Sb y Ca, y que también son los que más prevalecen en todos los puntos.

TABLA 7. Elementos químicos encontrados en cada punto de monitoreo.

Punto 1		Punto 2		Punto 3		Punto 4		Punto 5		Punto 5		Punto 7	
Elemento	%	Elemento	%	Elemento	%	Elemento	%	Elemento	%	Elemento	%	Elemento	%
O 42,06		O 31,05	Sb 29,40	O 44,60		O 34,17	O 31,40	C 31,72					
C 39,31		Sb 16,51	O 29,05	Rb 14,46		Sb 29,67	C 25,93	Sb 25,88					
Sb 13,27		Ca 14,82	Ca 23,13	C 13,33		Ca 25,90	Sb 15,53	O 24,60					
Ca 11,93		C 12,95	C 10,54	Sb 11		Rb 14,19	Ca 13,65	Ca 23,58					
Rb 10,29		Rb 11,40	N 6,58	Fe 10,53		C 11,87	Rb 4,60	Rb 8,04					
Si 8,08		Si 9,35	Rb 6,47	Si 8,59		N 7,98	Al 4,06	In 5,12					
Al 6,17		Al 4,67	Si 5,96	Ca 7,75		Si 5,91	Si 3,83	Si 4,70					
In 3,90		Au 2,88	Fe 4,74	Al 5,18		Al 3,84	Fe 1,78	N 3,64					
Na 3,14		Fe 2,10	Al 1,62	In 3,72		Au 2,58	Au 1,70	Au 6					
Fe 2,36		Na 1,28	Au 0,73	Au 2,68		Fe 1,19	Na 1,50	Al 2,47					
Ba 1,76		K 1,10	K 0,71	Co 2,33		Mn 1,12	Zr 0,87	Nb 1,57					
K 0,73		Mg 0,86	Mg 0,42	Na 2,01		Na 1,09	-	-	Ba 1,40				
-	-	Ba 0,73	Na 0,35	K 1,00		Mg 0,78	-	-	Fe 1,07				
-	-	-	-	-	-	S 0,67	-	-	Pt 1,03				
-	-	-	-	-	-	-	-	-	Na 0,68				

En la Tabla 8 se observa el promedio global de concentración de cada uno de

los elementos encontrados en la muestra, donde se obtuvo un total de 21 elementos químicos, los cuales se los clasifica en base al porcentaje de concentración existente, entre ellos tenemos elementos químicos mayoritarios, elementos químicos de menor concentración y elementos químicos de cantidades inferiores.

TABLA 8. Promedio total de cada elemento

Elementos químicos mayoritarios (%)	Elementos de menor concentración (%)	Elementos químicos de cantidades inferiores (%)
O=33,85	Si=6,63	Nb=1,57
C=20,81	N=6,07	Na=1,44
Sb=20,40	In=4,25	Ba=1,30
Ca=17,25	Al=4,00	Mn=1,12
Rb=9,92	Fe=3,40	Pt=1,03
	Co=2,33	K=0,89
	Au=2,19	Zr=0,87
		Mg=0,69
		S=0,67

De entre los elementos químicos mayoritarios, se encontraron O y C, con valores en porcentaje de 33,85 % y 20,81 % respectivamente, los cuales se produce por la quema de combustibles fósiles como carbón, gas y petróleo que liberan partículas en la atmósfera (Bergman, 2011), por otro lado, para el caso del elemento rubidio, este se produce debido a residuos generados, por procesos de quema de combustibles fósiles (Díaz, 2011); esto se relaciona, ya que alrededor del dominio de estudio existe la presencia de industrias como caleras que durante su proceso de producción, se evidencia el uso de hornos que queman combustible, aunque por otro lado otro, este elemento también podría tener relación con el tráfico vehicular en horas pico.

Así también estos resultados guardan relación, ya que el elemento químico antimonio encontrado en este estudio, es uno de los elementos encontrados por la incineración de combustibles fósiles, transformación de metales e quema de residuos (Arciniégas, 2012), el cual es uno de los de mayor concentración con un porcentaje del 20,40 %.

Por otro lado, también se encuentra el Ca y el Si con un porcentaje de concentración de 17,4 % y 6,63 % respectivamente, los cuales corresponde a un elemento químico que puede provenir del suelo y de la corteza terrestre (Quijano et al., 2013). Esto tiene relación debido a que en la zona de estudio corresponde a un suelo de areniscas y conglomerados, sin embargo, la presencia de Ca y Si, puede tener relación a la presencia de diversas industrias caleras existentes alrededor de la zona de estudio.

En lo que respecta a los elementos de menor concentración se identificaron al sili-

cio (Si), nitrógeno (N), indio (In), aluminio (Al), hierro (Fe), cobalto (Co) y oro (Au), en la cual el Fe “pueden estar asociados a la contaminación por fuentes vehiculares” (Gutiérrez et al., 2012), así mismo se ve como lo mencionado anteriormente tiene relación, ya que por la cabecera parroquial de Calpi, además de industrias, existe la presencia de una vía principal muy transitada durante todos los días del año, la misma que comunica la sierra con la costa ecuatoriana, además la presencia de vehículos en las horas pico que podrían estar contribuyendo a la presencia de este tipo de elementos químicos en el PM del aire.

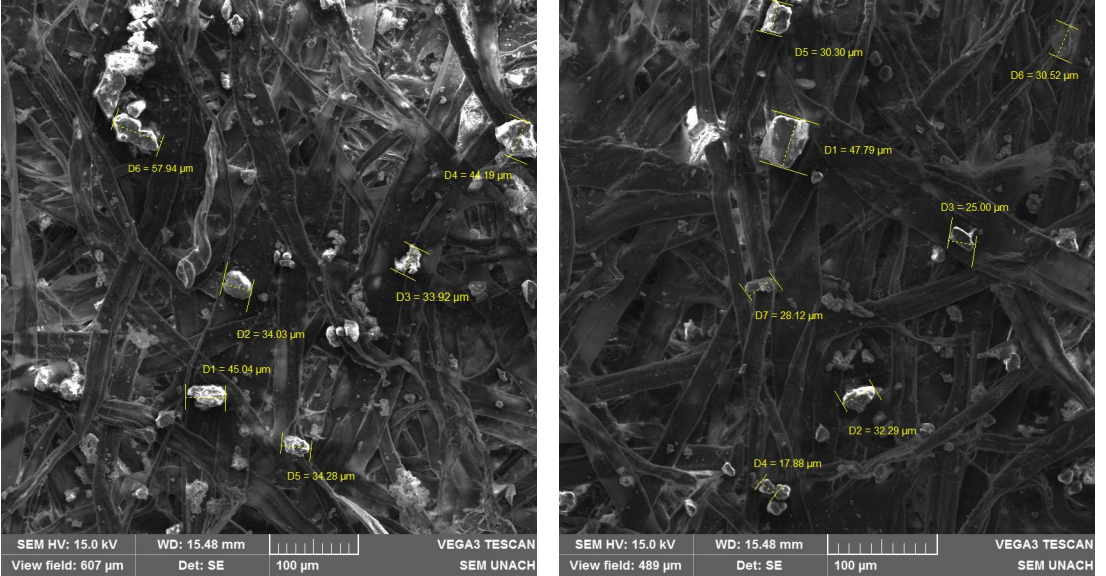
Finalmente, de entre los elementos químicos en cantidades inferiores se identificaron al niobio (Nb), sodio (Na), bario (Ba), manganeso (Mn), platino (Pt), potasio (K), zirconio (Zr), magnesio (Mg) y azufre (S), de los cuales el Mn es considerado carcinógeno (Arciniégas, 2012), y el K “que pueden provenir de los procesos industriales” (Gutiérrez et al., 2012), teniendo una relación con lo mencionado, ya que alrededor tenemos la existencia de diferentes tipos industrias, las cuales tienen procesos de incineración para su funcionamiento.

5.10 Caracterización morfológica

Las siete muestras de PMS fueron analizadas morfológicamente con el uso del MEB, en la cual se tomaron imágenes a 100x en la parte central de la muestra, para poder identificar el tamaño y la forma del PMS. A continuación, se observa las siguientes imágenes.

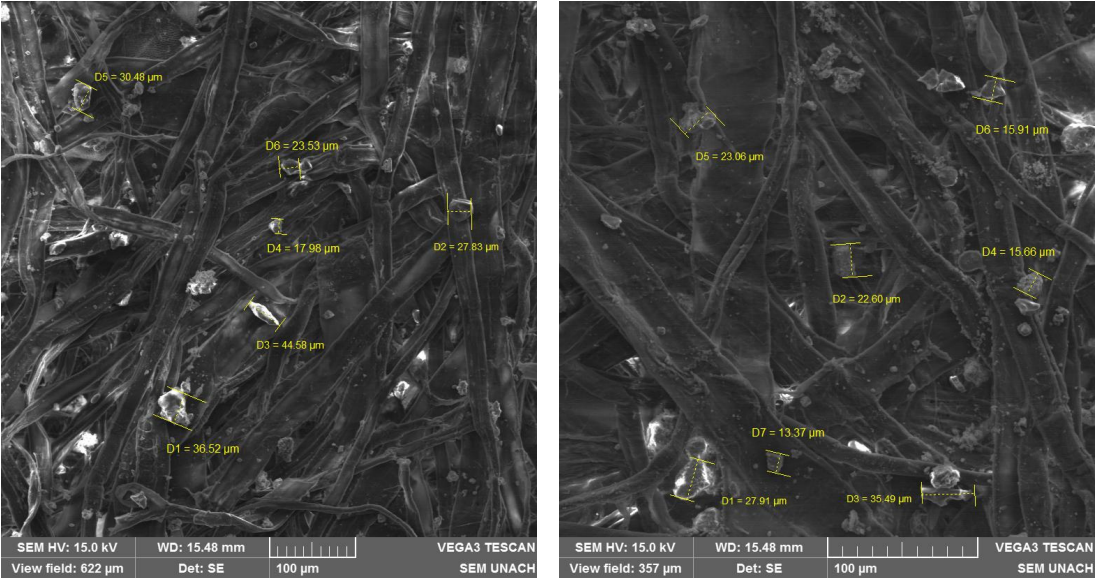
Las Figuras 21 a 24 presentan los diámetros observados a 100x para las siete muestras analizadas, organizadas en pares y una muestra individual.

FIGURA 21. Diámetros del PM de la muestra 1 y 2, observados a 100x



Muestra 1 (izquierda) y muestra 2 (derecha).

FIGURA 22. Diámetros del PM de la muestra 3 y 4, observados a 100x



Muestra 3 (izquierda) y muestra 4 (derecha).

FIGURA 23. Diámetros del PM de la muestra 5 y 6, observados a 100x

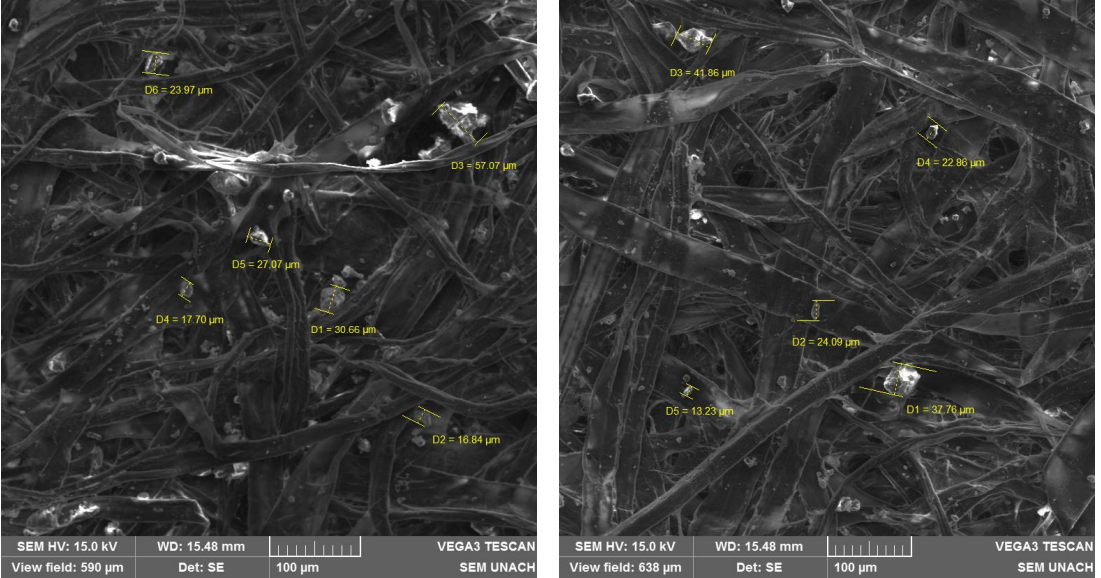
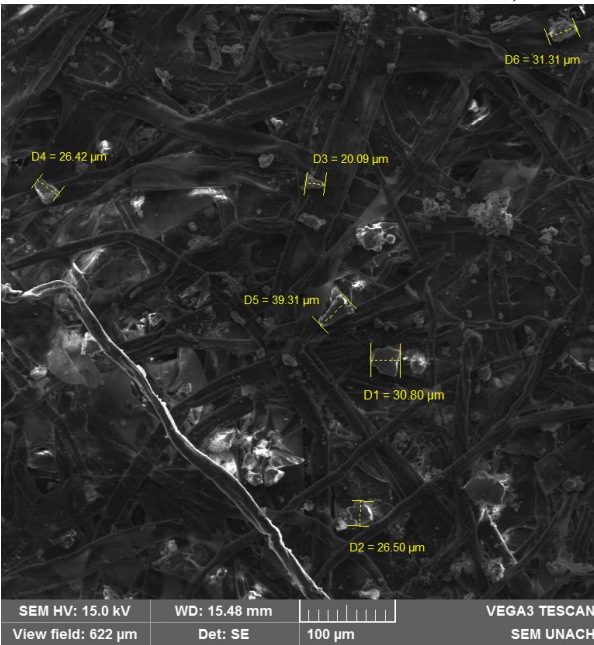


FIGURA 24. Diámetros del PM de la muestra 7, observado a 100x



De las siete muestras recolectadas, se observó la morfología de 48 partículas, en las cuales, los tamaños de estas partículas sobrepasan los valores de 2,5 µm y 10 µm en relación a los datos tomados para el PMV, siendo así que el promedio de la muestra 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 son 30,65 µm, 47,56 µm, 24,85 µm, 30,65 µm, 27,96 µm, 27,88 µm y 29,07 µm, respectivamente, esto se debe a la aglomeración entre partículas por humedad en el

ambiente en las que la finas se unen a las gruesas por tensión superficial, colisionando entre sí (García, 2010). Además, se determinó el tamaño de las partículas al azar en todas las muestras, teniendo así que, la partícula más pequeña tiene un tamaño de 13,23 μm , mientras que la partícula más grande tiene un tamaño de 47,79 μm .

En las muestras obtenidas de la parroquia Calpi se identificaron en su mayoría conglomerados de PM los cuales provienen de la quema de carbón compuestos principalmente de C, Si, Ca. También se han observado partículas que en su mayoría son esféricas, esto debido a procesos de combustión de combustibles fósiles que se realiza en el sector como la quema de carbón, madera y aceite quemado los cuales se trabaja a altas temperaturas llevados a cabo en la industria de caleras, bloqueras.

De igual forma, producto de procesos de combustión incompleta (automóviles, carbón, quema de biomasa) muy comunes en la parroquia Calpi, se encontró partículas de forma irregular, rectangular-laminar, alargada, amorfa, esto debido a la aglomeración de elementos químicos tales como Al, Fe, Si, Na, Ca, Sb, Rb presentes en cada uno de las muestras.

5.11 Simulación de la dispersión de contaminantes de PM

Por último, se elaboraron 3 mapas de simulación para visualizar la dispersión y concentración de PM volátil $\text{PM}_{2,5}$ y PM_{10} , y PMS durante el período noviembre-diciembre de 2018. Dentro del análisis estadístico se obtuvo una predicción del 99,96 %, 99,79 % y 99,70 %, con un error del de 0,04 %, 0,21 % y 0,30 %.

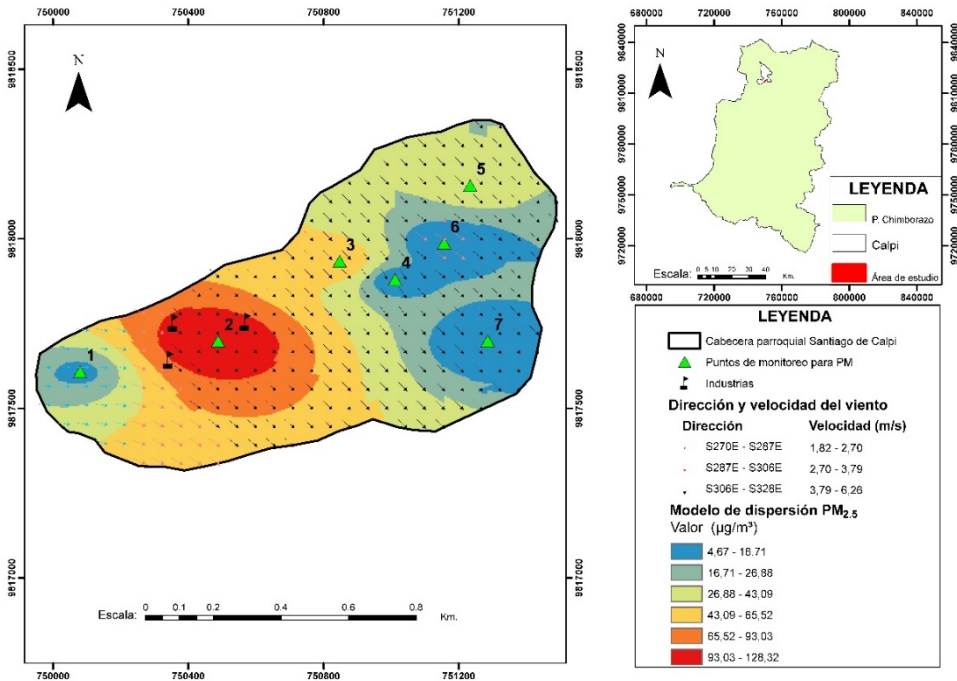
Así también, se generó un mapa de dirección de vientos, trabajando con dos variables, coordenadas en X y Y, y los datos de dirección de viento que se obtuvieron de las estaciones meteorológicas de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Dirección de Aviación Civil (DAC) y la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH); las unidades de la dirección están dadas en grados; la dirección es 270° y 329° , indicando que el PM se mueve en esta dirección.

En la Figura 25 se indica el mapa de simulación, en el cual, se indica la concentración y dispersión de $\text{PM}_{2,5}$, en el todo el dominio de estudio, donde se observa que la mayor concentración del $\text{PM}_{2,5}$, se da alrededor del punto de monitoreo 2 con un valor mínimo de 93,03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y un máximo de 128,32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, correspondientes a una concentración alta, que sobrepasan todos los LMP propuestos por las entidades reguladoras (OMS y TULSMA), esto se relaciona ya que en el lugar se tiene la presencia de varias

industrias de cal y bloque, así como una vía principal que conecta la sierra con la costa ecuatoriana, en la misma que se evidencia un gran flujo vehicular, la siguiente concentración corresponde al punto 3 con una mínima de $43,09 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un máxima de $55,52 \mu\text{g}/\text{m}^3$, seguido del punto 5 con una concentración mínima de $26,88$ y una máxima de $43,09 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Finalmente los puntos 1, 4, 6 y 7 con una concentración mínima de $4,67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un máxima de $18,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que evidencia que la concentración en los demás puntos va disminuyendo ya que estos se van alejando de la influencia industrial así como de la vía principal antes mencionada, esto tiene relación también porque la dispersión del PM para este período de monitoreo se realiza en sentido sureste, con velocidades del viento mínimas de $1,82 \text{ m/s}$ y altas de $6,25 \text{ m/s}$, ayudando de esta manera a descontaminación del aire atmosférico en el área de estudio.

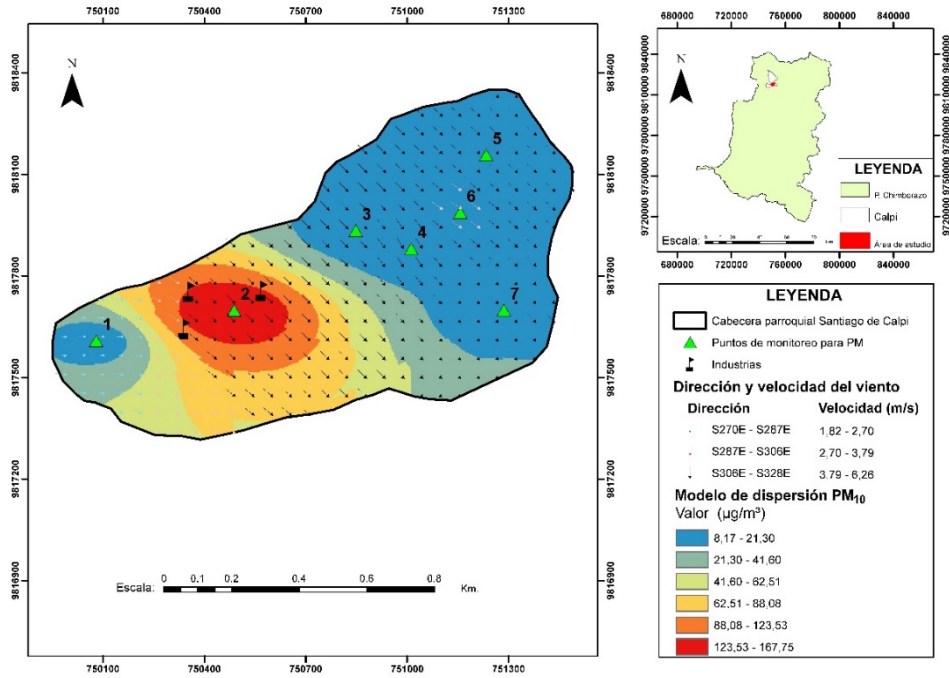
FIGURA 25. Modelo de dispersión $\text{PM}_{2,5}$, en la cabecera parroquial de Calpi



En la Figura 26 se indica el mapa de simulación, en el cual, se indica la concentración y dispersión de PM_{10} , en el todo el dominio de estudio, donde se observa que la mayor concentración del PM_{10} , se da alrededor del punto de monitoreo 2 con un valor mínimo de $123,53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un máximo de $167,75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, correspondientes a una concentración alta, que sobrepasan todos los LMP propuestos por las entidades reguladoras (OMS y TULSMA), esto se relaciona ya que en el lugar se tiene la presencia de varias

industrias de cal y bloque, así como una vía principal que conecta la sierra con la costa ecuatoriana, en la misma que se evidencia un gran flujo vehicular, además, los puntos 1, 3, 4, 5, 6 y 7 con una concentración mínima de $8,17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un máxima de $21,30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que evidencia que la concentración en estos puntos correspondientes al área poblada es baja, ya que estos puntos están alejados de la influencia industrial directa, así como de la vía principal antes mencionada, esto tiene relación también porque la dispersión del PM para este período de monitoreo se realiza en sentido sureste, con velocidades del viento mínimas de $1,82 \text{ m/s}$ y altas de $6,25 \text{ m/s}$, ayudando de esta manera a descontaminación del aire atmosférico en el área de estudio.

FIGURA 26. Modelo de dispersión PM_{10} en la cabecera parroquial de Calpi

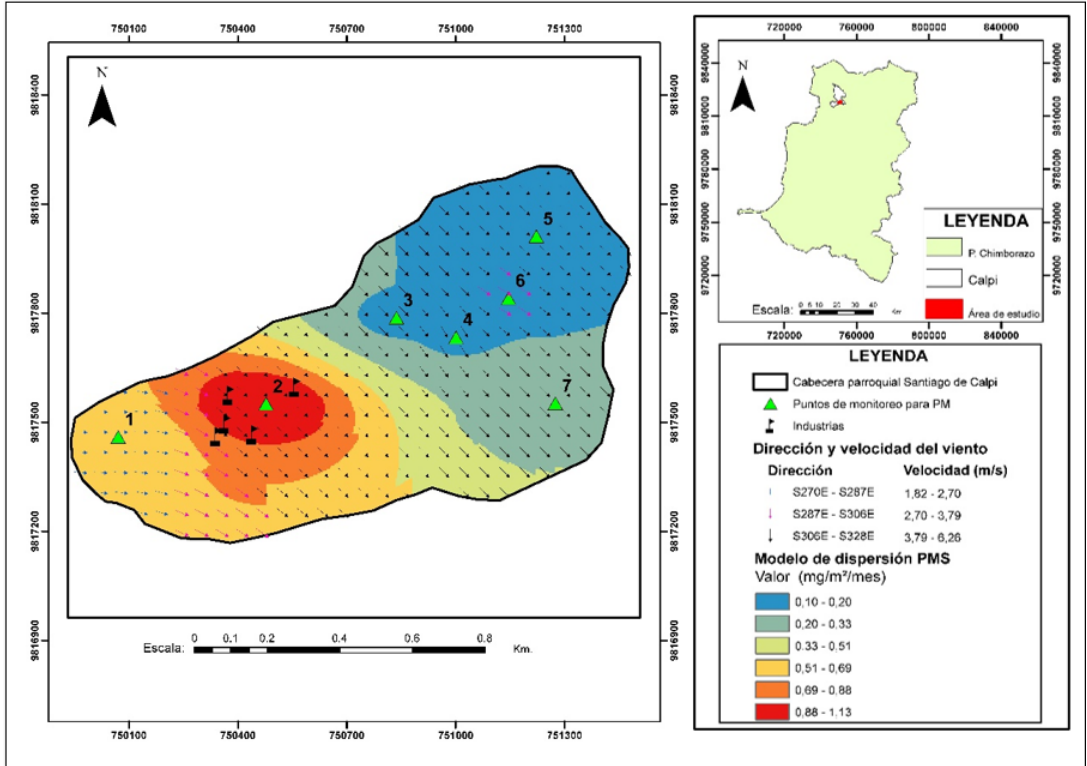


En la Figura 27 se indica el mapa de simulación, en el cual, se muestra la concentración y dispersión de PMS en todo el dominio de estudio, donde se observa que la mayor concentración del PM_{10} , se da alrededor del punto de monitoreo 2 con un valor mínimo de $123,53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un máximo de $167,75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, correspondientes a una concentración alta, que sobrepasan todos los LMP propuestos por las entidades reguladoras (OMS y TULSMA), esto se relaciona ya que en el lugar se tiene la presencia de varias industrias de cal y bloque, así como una vía principal que conecta la sierra con la costa ecuatoriana, en la misma que se evidencia un gran flujo vehicular.

Finalmente los puntos 1, 3, 4, 5, 6 y 7 con una concentración mínima de $8,17$

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ y un máxima de $21,30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que evidencia que la concentración en estos puntos correspondientes al área poblada es baja, ya que estos puntos están alejados de la influencia industrial directa, así como de la vía principal antes mencionada, esto tiene relación también porque la dispersión del PM para este período de monitoreo se realiza en sentido sureste, con velocidades del viento mínimas de $1,82 \text{ m/s}$ y altas de $6,25 \text{ m/s}$, ayudando de esta manera a descontaminación del aire atmosférico en el área de estudio.

FIGURA 27. Modelo de dispersión de PMS, en la cabecera parroquial de Calpi.



1. Resultados del cantón Chambo

5.12 Análisis de material particulado sedimentable con el método gravimétrico

En esta investigación se realizó el análisis de PMS mediante 7 estaciones de monitoreo pasivo durante el periodo de un mes según la OMS y el TULSMA.

A continuación, en las Tablas 9 y 10 se muestran los resultados de concentración de PMS los cuales se obtuvieron mediante el cálculo gravimétrico y los valores máximos para PMS.

TABLA 9. Resultados de las Concentraciones de PMS

Estaciones de monitoreo	Ubicación Geográfica		Peso inicial del papel (mg)	Peso final del papel (mg)	Área del papel filtro (cm ²)	PMS (mg/cm ² /mes)
1	766926	9808921	435,6	471,0	58,09	0,61
2	767375	9809374	434,7	473,2	58,09	0,66
3	767775	9809194	428,8	460,5	58,09	0,55
4	767341	9808626	436,1	498,5	58,09	1,07
5	767384	9808139	437,1	476,2	58,09	0,67
6	767813	9807578	436,2	464,2	58,09	0,48
7	767738	9808003	439,9	484,3	58,09	0,76

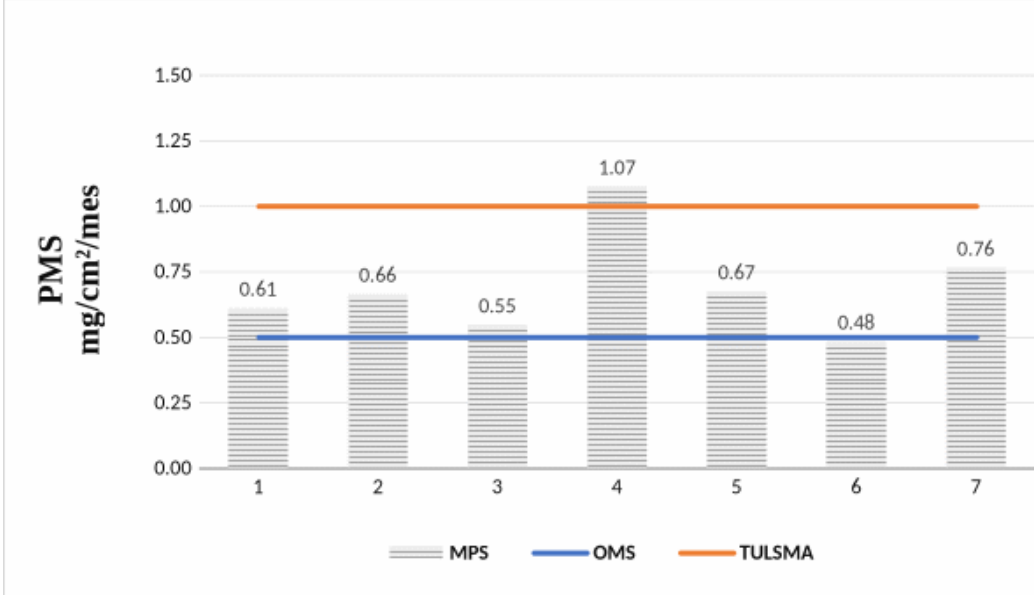
TABLA 10. Límites Máximos Permisibles para PMS

Normativa OMS en un mes de muestreo	Legislación Ambiental Ecuatoriana TULSMA
0,5 mg/cm ²	1 mg/cm ²

En la Figura 28, se indica la comparación de los valores del área de estudio con los límites máximos permisibles de la OMS y TULSMA.

Dentro del análisis a la gráfica se observa que la gran mayoría de estaciones tienen valores que cumplen con los límites máximos de la normativa ecuatoriana, sin embargo es lo contrario para lo establecido por la OMS, en síntesis podemos decir que la acumulación si fue efectiva en todas las estaciones y esto se debe especialmente a la incidencia de nuestras fuentes fijas (hornos artesanales), además se pueden incluir otros factores como arrastre de material por el viento en predios con cultivos aledaños y emisiones de fuentes móviles.

FIGURA 28. Comparación de los Valores de PMS con Límites Establecidos por la OMS y TULSMA



Elaboración propia a partir de los datos presentados en las tablas del capítulo.

Estaciones

En la estación 6 (0,48 mg/cm²/mes) no sobrepasa los LMP para PMS en ninguna normativa, esto debido a que en este sector especialmente existe poco tráfico vehicular y escasos hornos artesanales.

Por otra parte, las estaciones 1 (0,61 mg/cm²/mes), 2 (0,66 mg/cm²/mes), 3 (0,55 mg/cm²/mes), 5 (0,67 mg/cm²/mes) y 7 (0,76 mg/cm²/mes) sobrepasa los LMP únicamente de la OMS.

En la estación 4 (1,07 mg/cm²/mes) siendo la única zona sobrepasa los valores máximos del TULSMA y OMS, estación que corresponde al GAD municipal de Chambo que tiene mayor incidencia de fuentes móviles en todo el día, influjo por otra parte el arrastre de materiales de una fábrica de adoquines alledaña, además trabajos de regeneración de las vías en este sector que provocan el levantamiento constante de polvo a la atmósfera.

5.13 Resultados del análisis del material particulado volátil

Los valores de concentración del MPV de 2,5 µm y 10 µm, determinados con el equipo DustTrak™ II en el periodo enero-febrero del 2019 (14 de enero - 8 de febrero) tres veces al día.

Para un mejor análisis se tomó en consideración sacar un promedio general del

día, de cada hora tomada en las 7 estaciones de monitoreo, como se detalla en las Tablas 11 y 12.

TABLA 11. Datos de PM_{2.5} en la Matriz del Cantón Chambo

Fechas, 2019	08h30	12h30	15h30
Lunes 14 de enero	8,43	4,86	4,57
Martes 15 de enero	6,14	3,71	1,86
Miércoles 16 de enero	7,43	3,71	2,57
Jueves 17 de enero	7,00	2,43	2,71
Viernes 18 de enero	14,14	7,14	4,57
Lunes 21 de enero	4,00	2,71	3,00
Martes 22 de enero	7,71	12,43	4,57
Miércoles 23 de enero	7,00	2,00	5,71
Jueves 24 de enero	9,00	3,43	4,43
Viernes 25 de enero	5,86	6,86	2,71
Lunes 28 de enero	8,29	12,43	5,43
Martes 29 de enero	8,43	4,29	8,71
Miércoles 30 de enero	7,43	6,43	4,14
Jueves 31 de enero	12,00	3,14	3,57
Viernes 01 de febrero	7,00	2,43	6,14
Lunes 04 de febrero	10,14	2,14	2,00
Martes 05 de febrero	9,00	6,86	1,57
Miércoles 06 de febrero	3,57	4,00	8,43
Jueves 07 de febrero	6,29	2,86	2,71
Viernes 08 de febrero	6,43	6,86	2,29

TABLA 12. Datos de PM₁₀ en la Matriz del Cantón Chambo

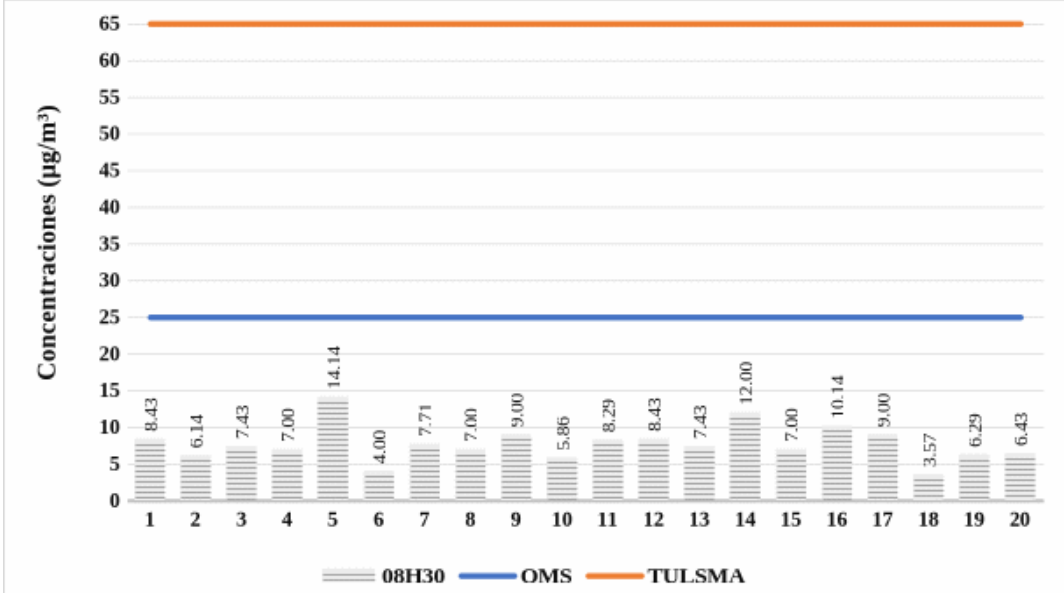
Fechas, 2019	08h30	12h30	15h30
Lunes 14 de enero	6,29	10,71	4,29
Martes 15 de enero	7,14	3,00	4,00
Miércoles 16 de enero	9,00	4,71	4,71
Jueves 17 de enero	8,57	2,71	2,43
Viernes 18 de enero	16,14	8,86	5,14
Lunes 21 de enero	7,00	5,43	3,00
Martes 22 de enero	6,71	12,00	5,03
Miércoles 23 de enero	5,14	4,43	5,29
Jueves 24 de enero	11,43	5,00	5,14
Viernes 25 de enero	7,00	9,86	3,00
Lunes 28 de enero	9,71	14,00	6,14
Martes 29 de enero	8,86	6,43	7,14
Miércoles 30 de enero	7,00	8,86	2,86
Jueves 31 de enero	12,86	4,71	3,14
Viernes 01 de febrero	7,57	4,14	9,00
Lunes 04 de febrero	11,71	4,14	2,14
Martes 05 de febrero	9,43	5,94	2,14
Miércoles 06 de febrero	3,57	6,29	5,43

Fechas, 2019	08h30	12h30	15h30
Jueves 07 de febrero	8,57	2,71	2,43
Viernes 08 de febrero	7,00	9,86	3,00

5.14 Comparación con los Límites Máximos Permisibles de la OMS y TULS-MA

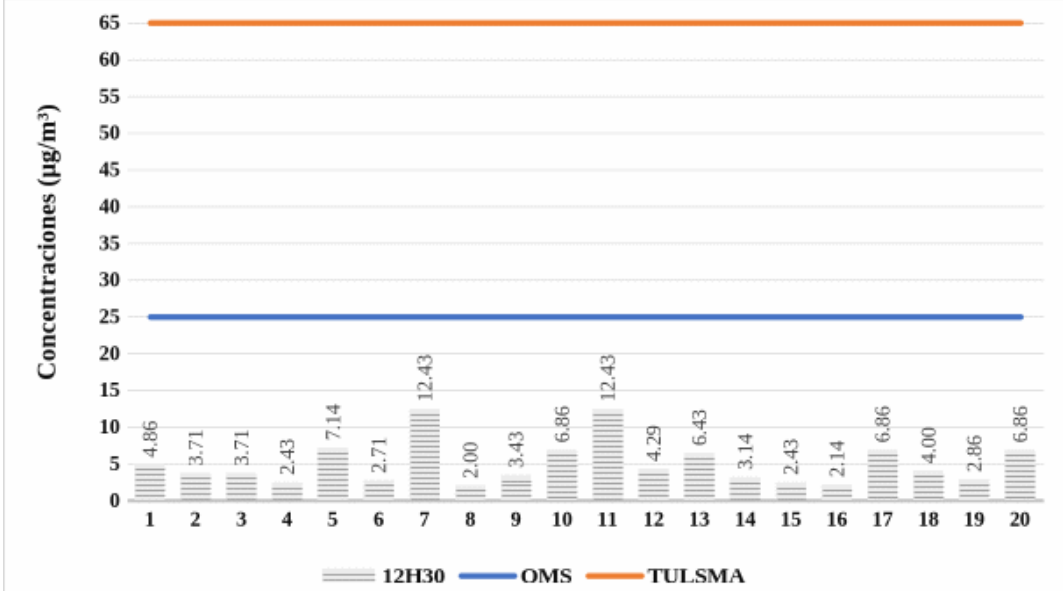
Con los datos obtenidos de MPV de 2,5 μm , se concluye que ningún día excedió los límites de las normativas, como se puede apreciar en las Figuras 29, 30 y 31.

FIGURA 29. Comparación de los valores de PM_{2,5} a las 08H30 con LMP de la OMS y TULSMA



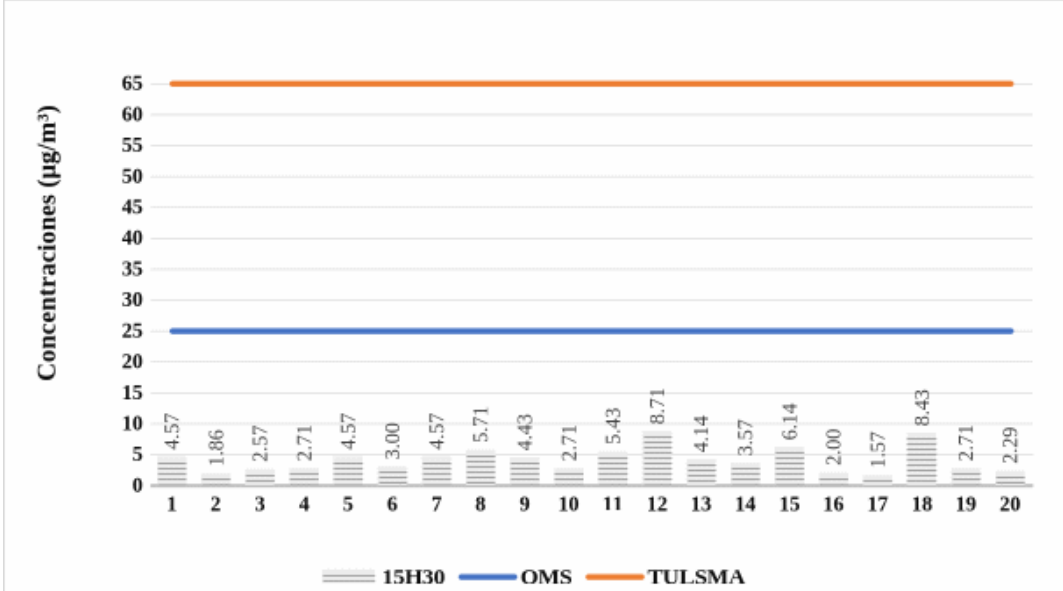
Elaboración propia a partir de los datos presentados en las tablas del capítulo.

FIGURA 30. Comparación de los valores de $PM_{2.5}$ a las 12H30 con LMP de la OMS y TULSMA



Elaboración propia a partir de los datos presentados en las tablas del capítulo.

FIGURA 31. Comparación de los valores de $PM_{2.5}$ a las 15H30 con LMP de la OMS y TULSMA



Elaboración propia a partir de los datos presentados en las tablas del capítulo.

Con respecto a las Figuras 29, 30 y 31:

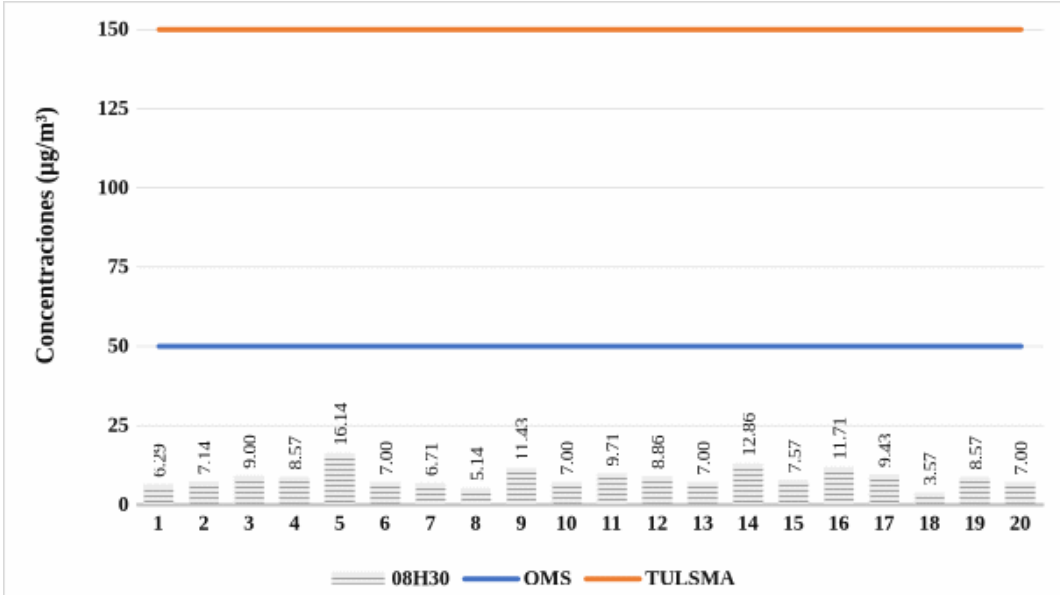
- Durante la toma de datos a primera hora en los días 5, 14 y 16 tenemos concentraciones sobre los $10 \mu g/m^3$.
- Al medio día los valores han bajado teniendo que solamente en los días 7 y 11

tenemos concentraciones sobre los $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

- En la última medición de la tarde los valores son bajos y no existe ningún día con concentraciones que superen los $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

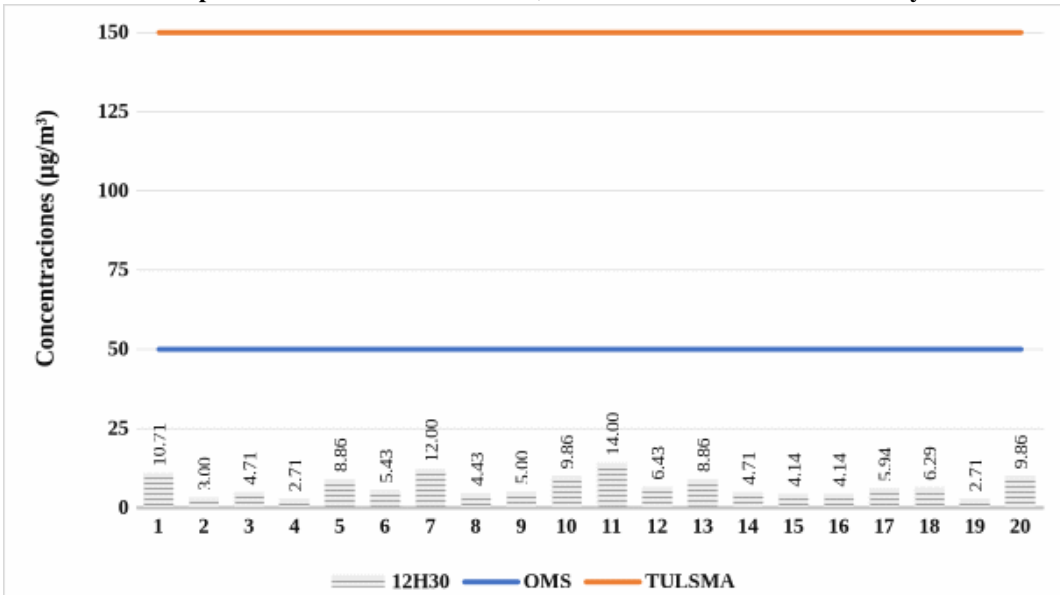
De igual manera con los datos obtenidos de MPV de $10 \mu\text{m}$, cumplen con los LMP de la OMS y TULSMA como se puede observar en las Figuras 32, 33 y 34.

FIGURA 32. Comparación de los Valores de PM_{10} a las 08H30 con LMP de la OMS y TULSMA



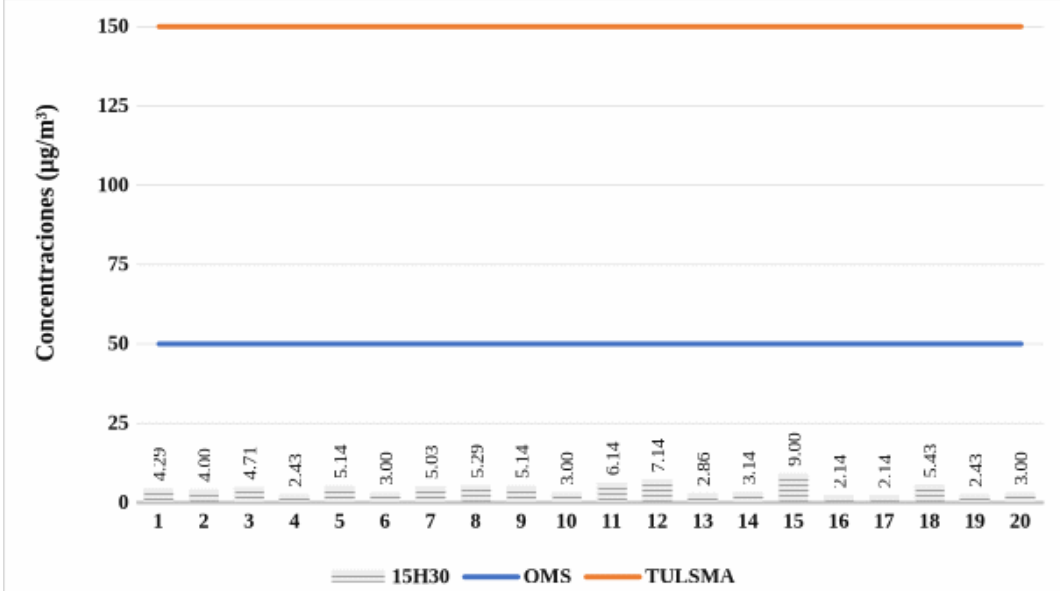
Elaboración propia a partir de los datos presentados en las tablas del capítulo.

FIGURA 33. Comparación de los Valores de PM_{10} a las 12H30 con LMP de la OMS y TULSMA



Elaboración propia a partir de los datos presentados en las tablas del capítulo.

FIGURA 34. Comparación de los Valores de PM₁₀ a las 15H30 con LMP de la OMS y TULSMA



Elaboración propia a partir de los datos presentados en las tablas del capítulo.

En las Figuras 32, 33 y 34, dentro de la comparación de los valores de concentración de PM₁₀, se concluye que ningún día excedió los valores máximos:

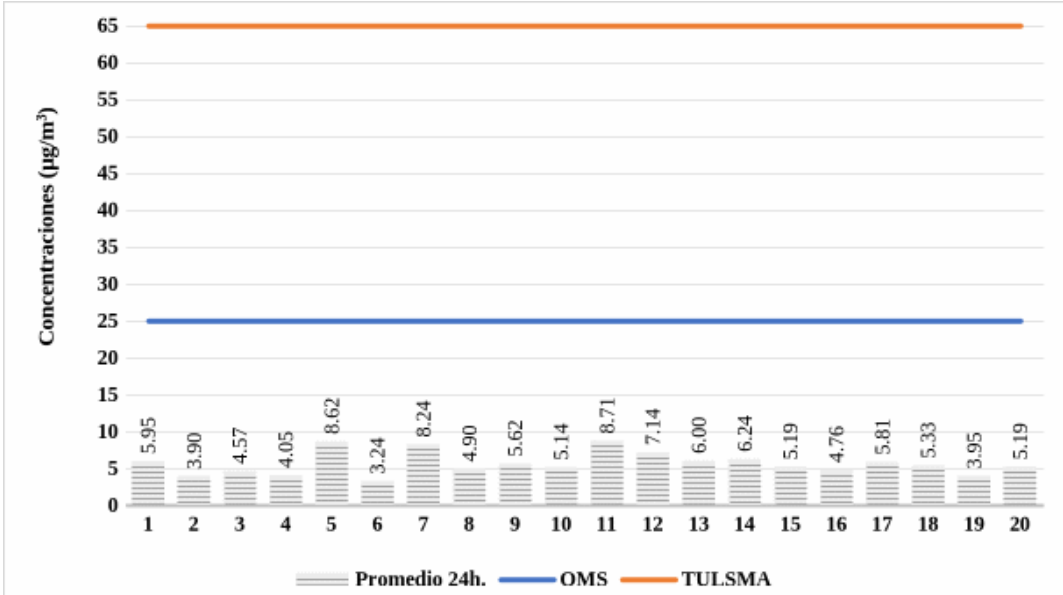
- A primera hora en los días 5, 9, 14 y 16 tenemos valores de concentración mayores a 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Al medio día tenemos que en los días 1, 7 y 11 existen valores sobre los 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- En la medición de la tarde no existe ningún día con concentraciones que superen los 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

La variabilidad climática en los diferentes días ayuda a la dispersión de la concentración del contaminante por ende los valores en general se encuentran por debajo de los límites permisibles.

En General a las primeras horas de la mañana se evidencia mayor cantidad de emisiones en el ambiente y con el pasar de las horas baja notablemente.

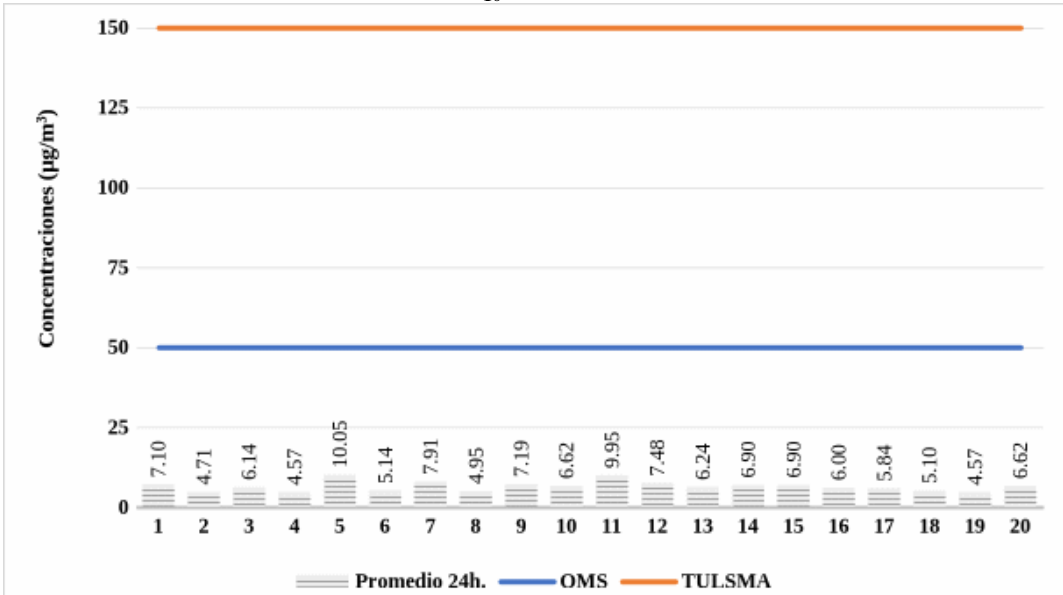
Con los datos obtenidos de las Tablas 11 y 12 se realizó un promedio entre los horarios de 08h30, 12h30 y 15h30, para comparar con los límites máximos permisibles de la OMS y TULSMA en 24 horas, dando como resultado que ningún punto de monitoreo excede los valores máximos, como se puede observar en las Figuras 35 y 36.

FIGURA 35. Promedio de los Valores de PM_{2.5} en 24 horas



Elaboración propia a partir de los datos presentados en las tablas del capítulo.

FIGURA 36. Promedio de los Valores de PM₁₀ en 24 horas



Elaboración propia a partir de los datos presentados en las tablas del capítulo.

5.15 Análisis Estadístico Descriptivo

Para el análisis estadístico descriptivo, se trabajó con el Software Minitab 18 Statistical, utilizando las herramientas de estadística básica, como la media, mediana, el error estándar de la media, la desviación estándar, mínimo y máximo, cuartiles y el

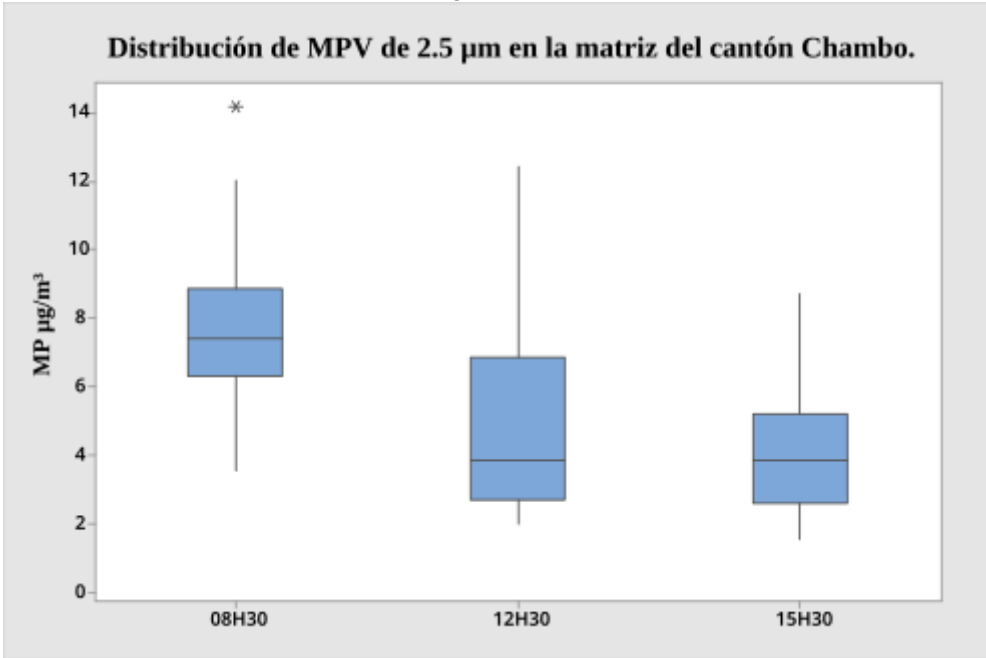
rango, con los datos obtenidos se utilizó una gráfica de cajas.

5.15.1 Material particulado volátil de 2,5 μm

Con los valores obtenidos de $\text{PM}_{2,5}$, en la matriz del cantón Chambo se obtuvo una media para las 08h30, 12h30 y 15h30, de $7,76 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $5,04 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $4,08 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente, el valor mínimo que se registra en el sector es de $1,57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un valor máximo de $14,14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, (Figura 37).

El rango que se estableció en el análisis estadístico es de $10,57 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $10,43 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $7,14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, correspondiendo a cada hora .

FIGURA 37. Distribución de MPV de 2,5 μm en la Matriz del Cantón Chambo



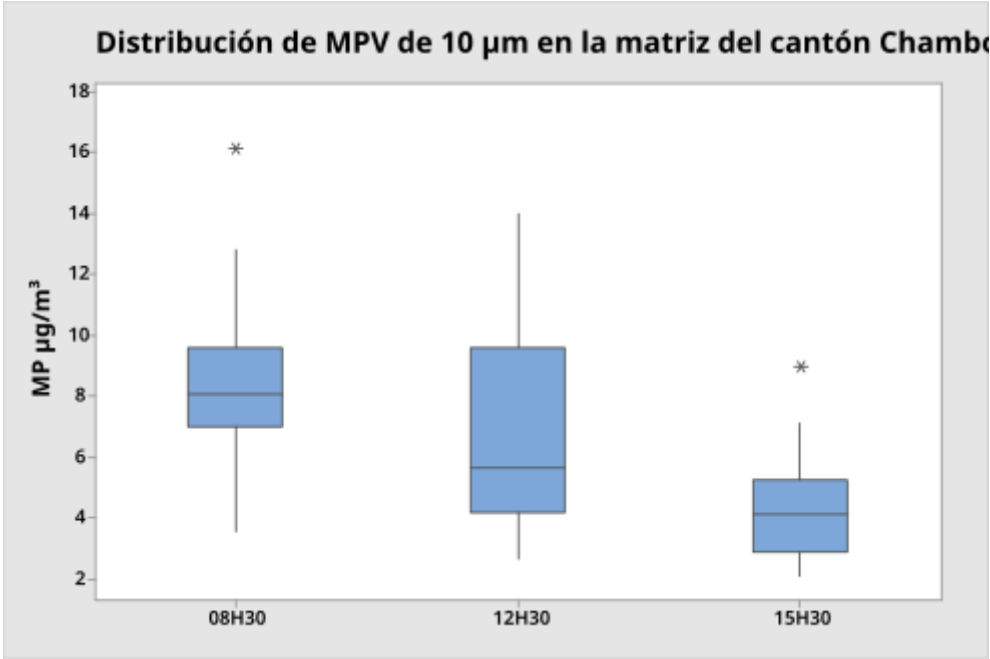
De acuerdo a Santillán (2016) en su investigación, al comparar los valores obtenidos de MPV en la matriz del cantón Chambo junto con los valores máximos según la OMS y el TULSMA, los resultados obtenidos se encuentran dentro de los límites máximos permisibles, ya que se establece como media diaria $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el $\text{PM}_{2,5}$, respectivamente.

5.15.2 Material particulado volátil de 10 μm

Con los valores de PM_{10} , se obtuvo una media de $8,54 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $6,69 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $4,27 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para las 08h30, 12h30 y 15h30, respectivamente; el valor mínimo que se registra en el sector es de $2,14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un valor máximo de $16,14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figura 38).

El rango establecido es de $12,57 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $11,29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $6,86 \mu\text{g}/\text{m}^3$, correspondiente a cada hora.

FIGURA 38. Distribución de MPV de $10 \mu\text{m}$ en la Matriz del Cantón Chambo



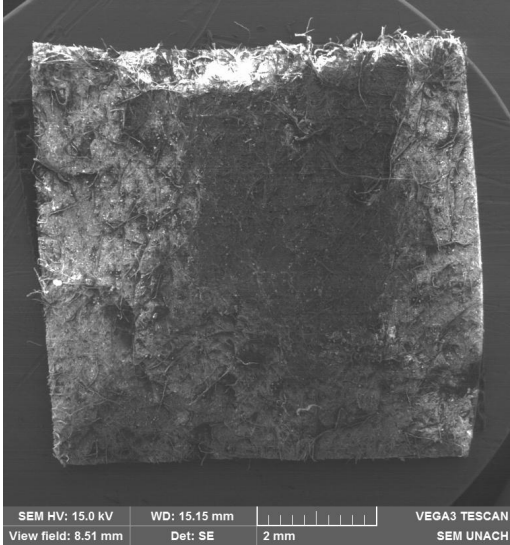
Los valores obtenidos de PM_{10} al comparar con los límites máximos permisibles según la OMS y el TULSMA, los resultados obtenidos se encuentran dentro de los valores máximos, ya que se establece como media diaria $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.

5.16 Análisis Molecular

5.16.1 Caracterización morfológica del material particulado sedimentable

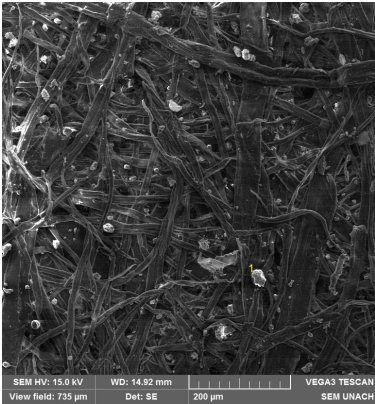
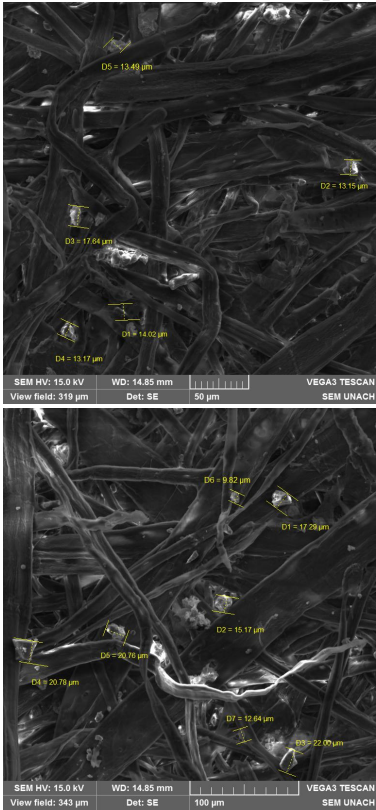
Se analizó la morfología del PMS que se encontraban en el papel filtro con el uso del microscopio electrónico de barrido, donde se tomaron imágenes a 2x, 100x y 200x, Figura 39, donde se puede identificar la forma y el tamaño de las partículas sedimentadas. En la Figura 40, se identifica el diámetro de las partículas sedimentables.

FIGURA 39. Morfología del PMS correspondiente a la Matriz del Cantón Chambo



Muestra observada por microscopio electrónico de barrido.

FIGURA 40. Diámetro de las partículas sedimentables



Detalle de partículas sedimentables observadas a diferentes aumentos.

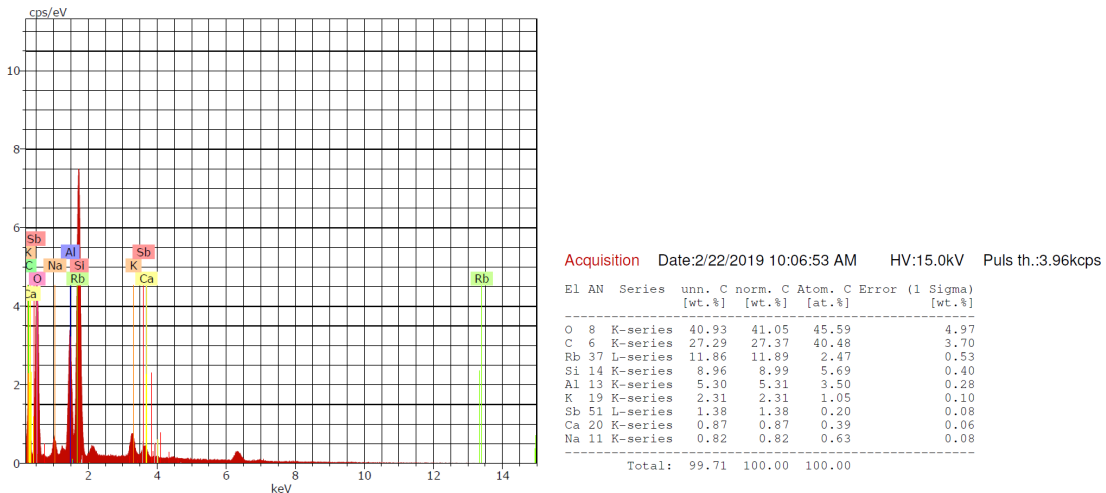
Se realizó el análisis de 7 muestras recolectadas en el área de estudio. La morfología de las muestras de PMS se caracterizó por presentar formas irregulares y esféricas.

Estas partículas presentaron de manera general contenido de elementos metálicos y compuestos orgánicos debido a la combustión incompleta de los hornos como la quema de leña para la fabricación de ladrillos y campos de cultivos aledaños a las viviendas (Jaya & Gomezcoello, 2012). En cuanto al diámetro de las partículas las mismas oscilan entre un rango de 5,2 a 22,00 μm . Se concluye que el tamaño de partículas abarca el PM_{10} que son nocivas para la salud, según Aragon (2011), Se ha demostrado que incide en el ser humano de manera respiratoria y cardiovascular.

5.16.2 Caracterización de la Composición Química del PMS

La composición química del PMS recolectado en papel filtro proveniente de la matriz del cantón Chambo se determinó por medio de EDX, se examinó 7 muestras del cual se tomó para su análisis cinco puntos, en las esquinas de la muestra que son cuatro y uno en el centro, donde se obtiene un gráfico y una tabla con la composición química en porcentaje (Figura 41).

FIGURA 41. Composición Química de la Muestra de la Estación N° 1



Para un mejor análisis se realizó un promedio de porcentaje de composición química de PMS como se presenta en la Tabla 13.

Compuestos	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4	Estación 5	Estación 6	Estación 7	Promedio
Oxígeno (O)	42,74	50,64	49,79	53,49	45,02	36,24	49,96	46,84
Carbono (C)	29,83	20,85	8,67	12,91	20,94	42,61	17,60	21,91
Rubidio (Rb)	11,44	12,02	11,47	12,65	9,76	4,37	12,86	10,65
Silicio (Si)	8,07	8,28	7,70	9,06	7,89	3,50	10,73	7,89
Aluminio (Al)	3,32	4,09	6,85	6,43	4,35	0,95	4,29	4,33
Antimonio (Sb)	1,59	1,52	7,04	1,47	5,46	6,09	1,32	3,50
Calcio (Ca)	1,09	1,06	5,87	1,14	4,68	5,48	1,04	2,91
Sodio (Na)	0,60	0,71	2,16	1,35	0,93	0,47	1,56	1,11

Compuestos	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4	Estación 5	Estación 6	Estación 7	Promedio
Potasio (K)	1,34	0,81	0,45	1,50	0,97	0,30	0,65	0,86

TABLA 13. Porcentajes y Promedio de la Composición Química del PMS

Los no metales encontrados en nuestra muestra tienen un porcentaje promedio: Oxígeno 46,84 % y Carbono 21,91 %. Existe una influencia de ladrilleras artesanales, debido a que, durante la producción de los ladrillos en los diferentes hornos, se utiliza la leña (madera seca) misma que es quemada y producto de esto se originan algunos compuestos orgánicos asociados al carbono, como el monóxido de carbono (CO) y compuestos orgánicos volátiles (COVs) que a su vez son liberados por la quema de combustibles, como gasolina, madera, carbón o gas natural.

Según Jaya & Gomezcoello (2012) en su trabajo de titulación menciona que la configuración de los ladrillos dentro del horno, dificulta la presencia de oxígeno, ocasionando una combustión incompleta y deficiente a temperaturas que no son suficientemente altas para quemar toda la leña.

El carbono y oxígeno, a su vez se producen a partir de la combustión incompleta de vehículos automotores con uso de diésel. Este puede permanecer en la atmósfera por varios días y semanas, para luego sedimentar (Bergman, 2011).

A su vez se encontró metales alcalinos, en las muestras de estudio se encontraron 3 elementos de este grupo con un porcentaje: Rubidio 10,65 %, sodio 1,11 %, y potasio 0,86 %.

El rubidio proviene de los catalizadores de los vehículos ligeros, pesados y otros medios de transporte y maquinaria, que utilizan básicamente como combustibles gasolina y diésel., en bajas concentraciones no traen problema a salud (Vargas, 2010).

Se encontró Si, Al, y Ca, los cuales son materiales de la composición del suelo proveniente del polvo de los caminos y carreteras, de los procesos de construcción y del polvo arrastrado por el viento que pueden permanecer suspendidos muchos días (Quijano & Henao, 2010).

Tenemos un porcentaje de silicio 7,89 %, aluminio 4,33 %, calcio 2,91 %, sodio 1,11 % Potasio 0,86 %, debido a que para la fabricación de ladrillos se hace una mezcla con arcillas.

El calcio es un elemento químico que se encuentra de forma natural en el ambiente en pequeñas concentraciones que no producen daño al ser humano, sin embargo, también son utilizados en algunos procesos industriales que hacen que aumenten su

concentración en el medio ambiente pudiendo causar daños pulmonares a la población expuesta (ATSDR, 2018).

5.17 Gráfica de la Dispersión de los Contaminantes

Finalmente, se obtuvieron los mapas correspondientes, para visualizar la dispersión de PMS Y PMV - $PM_{2.5}$ y PM_{10} . El objetivo de los mapas es poder interpretar que sucede con el PM en cuanto a su movilidad es decir hacia dónde se dirige y su distribución, en que zonas se acumulan en menor o mayor proporción.

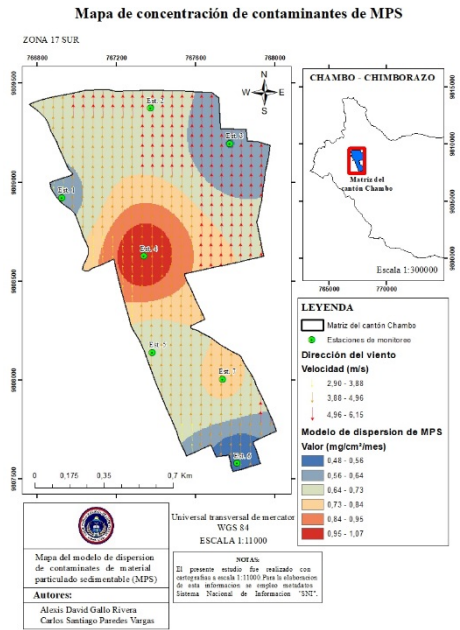
Para esto, se generó un mapa de dispersión del contaminante trabajando con coordenadas geográficas en X - Y, también se representan los valores de velocidad y dirección del viento del mes de enero – febrero de 2019, parámetros importantes que se obtuvieron de las estaciones meteorológicas: DAC-Riobamba, Macas, Puyo, Guaslan, Cebadas, Guamote, cercanas a nuestra zona de estudio.

El análisis que se realizó a los mapas, sirve para dar un criterio de cuál es la realidad en cuanto a influencia o afectación a los pobladores de la matriz, dentro del periodo enero a febrero de 2019, tiempo que duro los trabajos de recolección de datos en campo para la investigación.

En la investigación realizada en México por Sánchez (2015), la dispersión de los contaminantes atmosféricos depende del movimiento del viento.

Se realizó el modelo de dispersión para PMS (**Mapa 1**), mediante una clasificación por colores para identificar las zonas con menor y mayor concentración misma que va en una escala de colores de azul a rojo.

MAPA 1. Mapa de Concentración de PMS

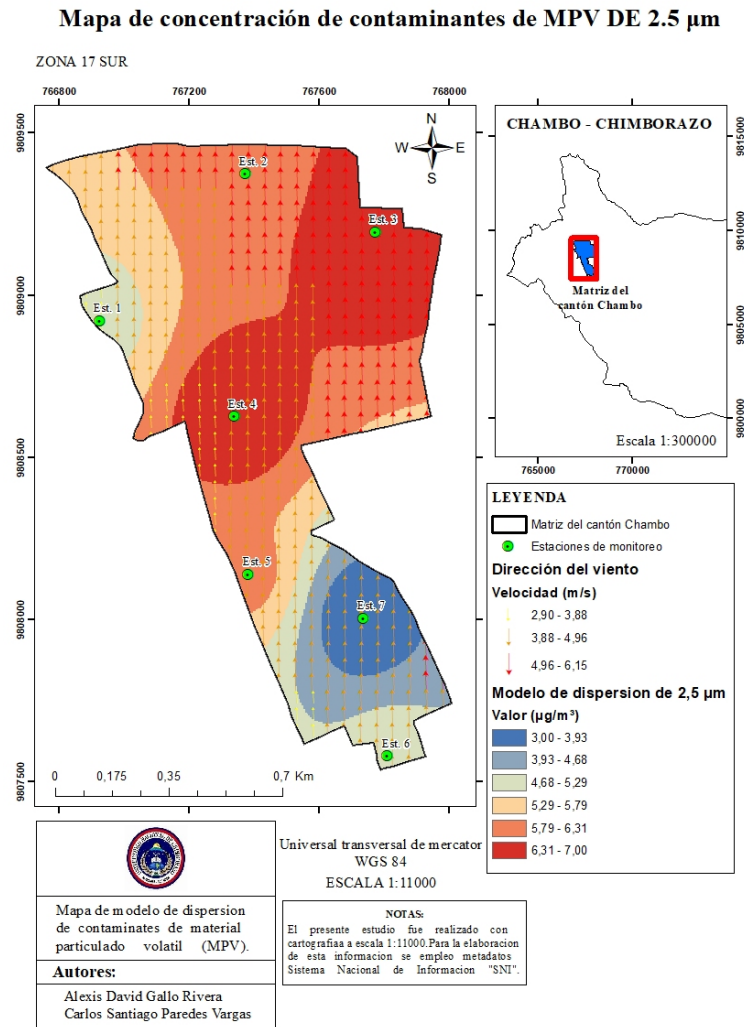


La zona de mayor concentración se encuentra en el punto de monitoreo N° 4 (Est.4) y está representada en el mapa por el color rojo, perteneciente al Municipio de Chambo con un valor de 0,95 – 1,07 mg/cm²/mes, el particulado tiende a dirigirse en dirección de Sur a Norte de acuerdo al mapa de dirección del viento de las estaciones meteorológicas de la zona.

La dirección del viento está en sentido NE, y la velocidad se encuentra entre los valores de 2,90 a 6,15 m/s, datos obtenidos de las estaciones meteorológicas.

En los **Mapas 2 y 3** se representan las concentraciones de PMV de PM_{2.5} y PM₁₀

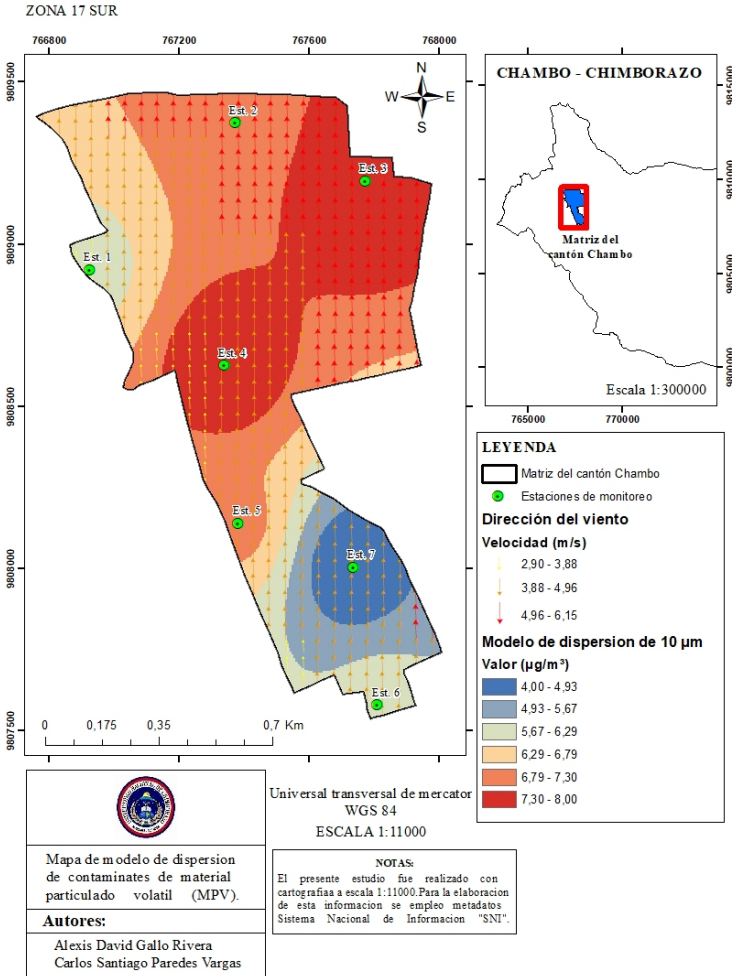
MAPA 2. Mapa de Concentración de $PM_{2.5}$



Modelo de dispersión para el PM de 2,5 μm , las zonas con mayor concentración, se encuentran en el punto de monitoreo N° 4 (Est.4), con un valor de 7,00 $\mu g/m^3$, perteneciente a la ubicación del GAD Municipal de Chambo zona céntrica de alto comercio que además es característico por el tráfico vehicular y en el punto de monitoreo N° 3 (Est.3) con un valor de 6,31 $\mu g/m^3$ zona con una importante presencia de ladrilleras artesanales. En el punto de monitoreo N° 7 (Est.7) representado en el mapa con el color azul nos da valores bajos de concentración de 3,93 $\mu g/m^3$, este pertenece a la zona del terminal terrestre lugar donde se encuentra el centro de salud, podemos destacar poca presencia de ladrilleras y bajo tránsito vehicular. Es importante indicar que el particulado tiende a dirigirse en dirección NE.

MAPA 3. Mapa de Concentración de PM₁₀

Mapa de concentración de contaminantes de MPV DE 10 µm

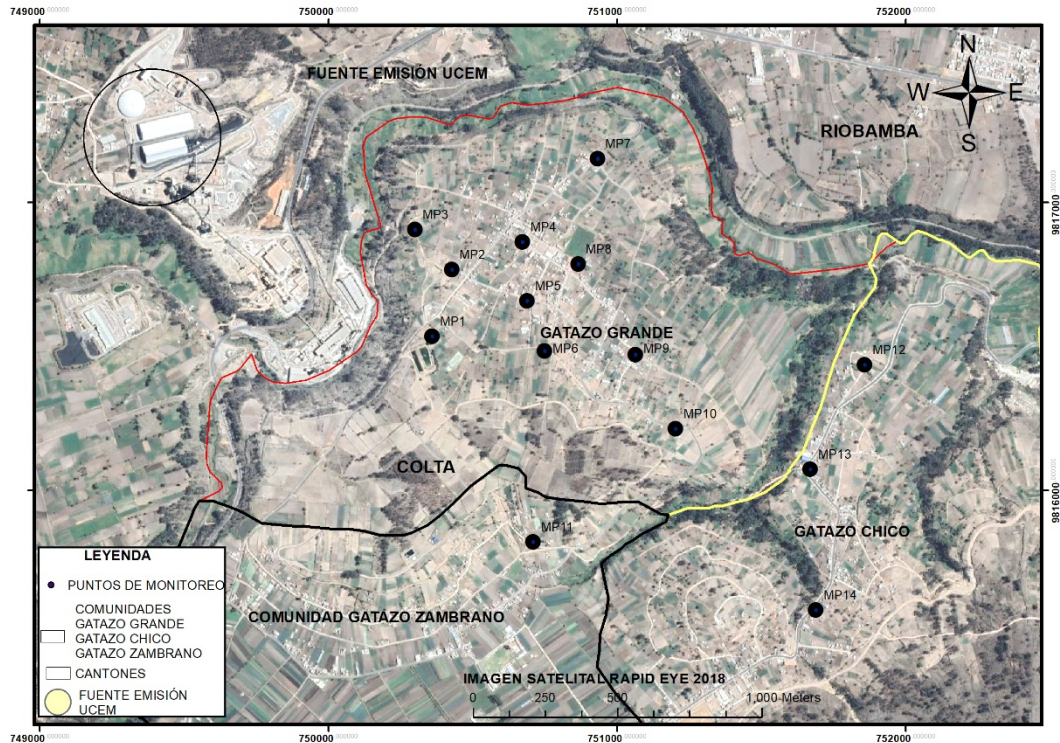


Como se observa en el **Mapa 3**, las zonas de mayor concentración se encuentran en el punto de monitoreo N° 4 (Est.4) con un valor de $8,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$, perteneciente a la ubicación del GAD Municipal de Chambo y se distribuye hacia el punto de monitoreo N° 3 (Est.3) con un valor de $7,30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. En el punto de monitoreo N° 7 (Est.7) es una zona de baja influencia está representado en el mapa con el color azul además representa valores bajos de concentración con un valor de $4,93 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El particulado tiende a dirigirse en dirección NE.

1. Resultados de COLTA

5.18 Muestreo del PMS en la comunidad Gatazo Grande

Establecidos los objetivos se procede a realizar el análisis de los datos, del PMS PM_{10} y $PM_{2.5}$; estimando los valores de los puntos de monitoreo (Figura 42).
FIGURA 42. Mapa del área de estudio (Área de Influencia).



5.18.1 Resumen de los puntos de monitoreo FILTRO $2.5\mu g/cm^3$

Se estableció una tabla resumen con los datos obtenidos en los diferentes puntos de monitoreo (14), de esta manera se realizó un filtrado de los datos obtenidos en un lapso de 10 días de monitoreo alternadas en un lapso de cuatro días de intervalo, con un total de 10 datos en dos horas 07:30-10:00 y 13:00-15:30 (Tabla 14, columnas A y B).
TABLA 14. Promedio $PM_{2.5}$ $\mu g/cm^3$.

Punto de monitoreo	A: 07:30-10:00	B: 13:00-15:30
MPV 01	0.032	0.0317
MPV 02	0.033	0.0318
MPV 03	0.031	0.0316
MPV 04	0.033	0.0319
MPV 05	0.034	0.0336
MPV 06	0.031	0.0319
MPV 07	0.032	0.0304
MPV 08	0.035	0.0338

Punto de monitoreo	A: 07:30–10:00	B: 13:00–15:30
MPV 09	0.035	0.0341
MPV 10	0.032	0.0321
MPV 11	0.032	0.0316
MPV 12	0.032	0.0328
MPV 13	0.034	0.033
MPV 14	0.033	0.0345

A = 07:30–10:00; B = 13:00–15:30.

La Figura 43-A representa el promedio de PM de los 14 puntos de monitoreo de la recolección de muestras en la mañana 07:30-10:00, con un valor medio de 0.0328, la desviación estándar con un valor de 0.0012, es muy baja debido a que los valores registrados se manejan en unidades de dos cifras significativas, un rango de 0.004, un valor mínimo de 0.0312 y un máximo de 0.0352.

Los valores analizados en las horas de la tarde (Figura 43-B) se reflejan en los siguientes datos descriptivos: la media posee un valor de 0.0325, la mediana con 0.032, la desviación estándar posee un valor de 0.0011 debido a que los valores tienen bajas cifras significativas, el rango es de 0.0041, su valor mínimo es de 0.0304 y un máximo de 0.0345.

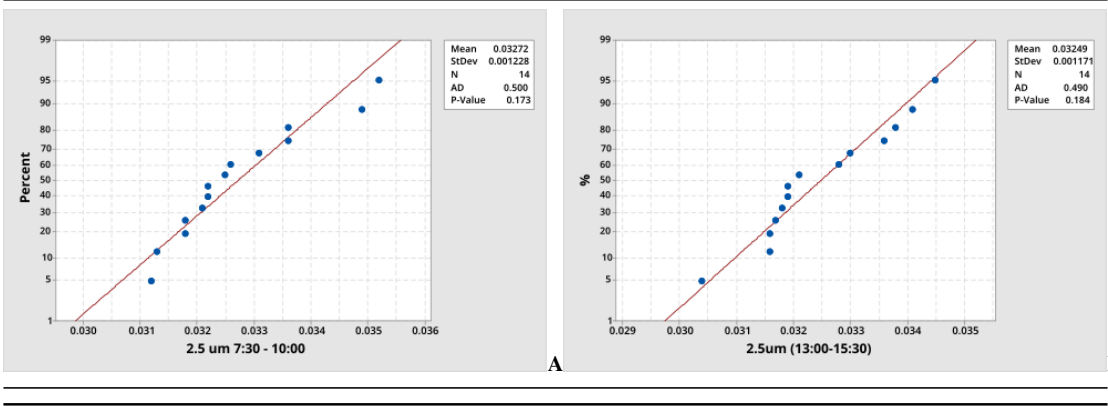


FIGURA 43. Gráfica de normalidad de MPV $2.5\mu\text{g}/\text{cm}^3$ Tiempo en horas (A: 07:30-10:00 B:13:00-15:30).

5.18.2 Análisis de correlación MPV 2.5

Para establecer la correlación de los datos comprendidos entre las 07:30-10:00, que nos permitió estimar la relación de los puntos de monitoreo en la zona de estudio se pudo estimar que los valores que tienen una correlación fuerte con valores cercanos a 1, es decir que sus valores pueden estimar la misma tendencia están entre los puntos MP01, MP4, MP7, MP10, MP12; que nos demuestra que la dispersión está asociada a la influencia de los vientos en zonas en las que no existe una barrera física de la principal fuente, Mientras que los puntos MP8, MP5, MP9 y MP14, tienen una baja correlación, debido a que las construcciones o la lejanía de las fuentes limita la movilidad de las partículas (Tabla 3-A).

TABLA 15. Matriz de correlación $\text{PM}_{2.5} \mu\text{g}/\text{cm}^3$

	MPV 01	MPV 02	MPV 03	MPV 04	MPV 05	MPV 06	MPV 07	MPV 08	MPV 09	MPV 10	MPV 11	MPV 12	MPV 13	MPV 14
MPV 01	1.00													
MPV 02	0.56	1.00												
MPV 03	0.70	0.30	1.00											
MPV 04	0.94	0.62	0.69	1.00										
MPV 05	0.38	-0.34	0.71	0.34	1.00									
MPV 06	0.84	0.65	0.80	0.90	0.42	1.00								
MPV 07	0.92	0.72	0.71	0.95	0.28	0.94	1.00							
MPV 08	0.25	0.58	0.23	0.19	-0.17	0.40	0.47	1.00						
MPV 09	0.59	0.06	0.24	0.65	0.25	0.36	0.41	-0.56	1.00					
MPV 10	0.95	0.64	0.57	0.91	0.16	0.84	0.90	0.28	0.61	1.00				
MPV 11	0.86	0.77	0.63	0.78	0.06	0.77	0.85	0.50	0.30	0.89	1.00			
MPV 12	0.93	0.64	0.68	0.94	0.22	0.84	0.93	0.30	0.58	0.93	0.91	1.00		
MPV 13	0.36	0.30	0.49	0.44	0.33	0.70	0.43	0.10	0.24	0.49	0.34	0.35	1.00	
MPV 14	0.64	0.30	0.26	0.77	0.25	0.56	0.58	-0.34	0.85	0.64	0.30	0.58	0.35	1.00

A

	MPV 01	MPV 02	MPV 03	MPV 04	MPV 05	MPV 06	MPV 07	MPV 08	MPV 09	MPV 10	MPV 11	MPV 12	MPV 13	MPV 14
MPV 01	1.00													
MPV 02	0.30	1.00												
MPV 03	0.63	0.79	1.00											
MPV 04	0.22	0.89	0.78	1.00										
MPV 05	0.13	0.15	0.07	0.05	1.00									
MPV 06	-0.03	0.44	0.47	0.72	-0.14	1.00								
MPV 07	0.03	0.54	0.54	0.78	-0.24	0.92	1.00							
MPV 08	0.39	0.44	0.66	0.53	-0.20	0.20	0.22	1.00						
MPV 09	0.41	0.61	0.47	0.69	0.17	0.43	0.56	-0.02	1.00					
MPV 10	0.69	0.82	0.84	0.80	0.20	0.49	0.48	0.49	0.71	1.00				
MPV 11	0.27	0.67	0.68	0.75	0.06	0.24	0.41	0.81	0.34	0.54	1.00			
MPV 12	0.37	0.71	0.82	0.79	0.14	0.66	0.59	0.71	0.24	0.76	0.65	1.00		
MPV 13	0.32	0.44	0.50	0.40	-0.55	0.02	0.35	0.56	0.22	0.27	0.63	0.24	1.00	
MPV 14	0.43	0.53	0.39	0.59	0.18	0.32	0.43	-0.05	0.98	0.67	0.29	0.14	0.16	1.00

B

MPV $2.5\mu\text{g}/\text{cm}^3$ Tiempo en horas (A: 07:30-10:00 B:13:00-15:30).

Para establecer la correlación de los datos comprendidos entre las 13:00-15:30, que nos permitió estimar la relación de los puntos de monitoreo en la zona de estudio se pudo estimar que los valores que tienen una correlación fuerte con valores cercanos a 1, es decir que sus valores pueden estimar la misma tendencia están entre los puntos MP6, MP9, MP14.

Demostrando la acción del viento que transporta grandes distancias de la zona de influencia, mientras que los puntos MP5, MP6, MP7, MP8 y MP13, tienen una baja

correlación, debido a que las construcciones o la movilidad causada por automóviles (Tabla 15, panel B).

5.18.3 Resumen de los puntos de monitoreo FILTRO 10 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$

Se elaboró una base de datos, donde se resumen los datos obtenidos en los diferentes puntos de monitoreo (14), de esta manera se realizó un filtrado de los datos obtenidos en un lapso de 10 días de monitoreo alternadas en un lapso de cuatro días de intervalo, con un total de 10 datos de tiempo en la jornada de monitoreo de 13:00 – 15:30.

TABLA 16. Promedio PM_{10} $\mu\text{g}/\text{cm}^3$.

Punto de monitoreo	A: 07:30–10:00	B: 13:00–15:30
MPV 01	0.0333	0.034
MPV 02	0.0342	0.033
MPV 03	0.0335	0.0334
MPV 04	0.0358	0.0356
MPV 05	0.0342	0.0347
MPV 06	0.0357	0.0357
MPV 07	0.0334	0.0334
MPV 08	0.0341	0.0355
MPV 09	0.0353	0.0356
MPV 10	0.0332	0.0334
MPV 11	0.0342	0.0346
MPV 12	0.0358	0.0353
MPV 13	0.0354	0.0363
MPV 14	0.0385	0.0379

A = 07:30–10:00; B = 13:00–15:30.

La columna A de la Tabla 16 representa el promedio de PM de los 14 puntos de monitoreo de la recolección de muestras en la mañana 07:30-10:00, con un valor medio de 0.0347, la desviación estándar con un valor de 0.0014, es muy baja debido a que los valores registrados se manejan en unidades de dos cifras significativas, un rango de 0.005, un valor mínimo de 0.0332 y un máximo de 0.0385, con un total acumulado mensual de 0.4866 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$.

Los valores analizados en las horas de la tarde (columna B de la Tabla 16) se reflejan en los siguientes datos descriptivos: la media posee un valor de 0.0349, la desviación estándar posee un valor de 0.0013 debido a que los valores tienen bajas cifras significativas, el rango es de 0.0049, su valor mínimo es de 0.033 y un máximo de 0.0379, con un total acumulado mensual de 0.4884 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$.

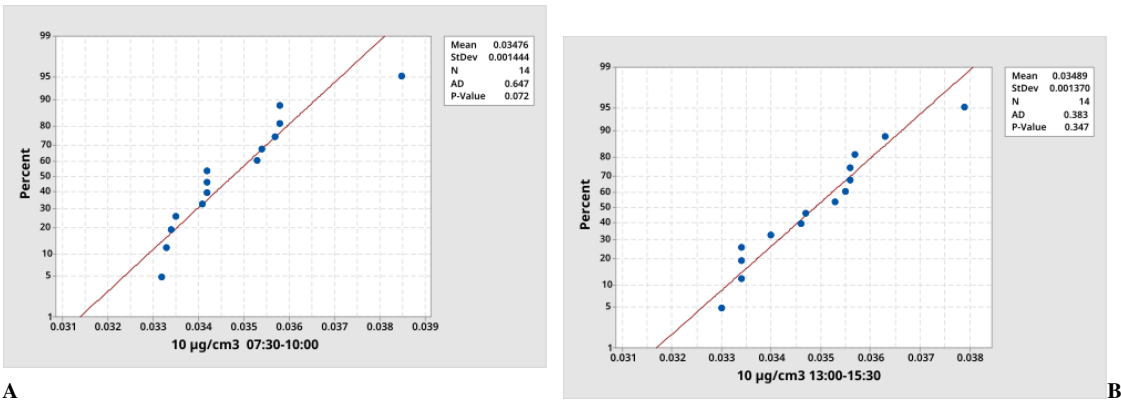


FIGURA 44. Gráfica de normalidad de MPV 10 µg/cm³ Tiempo en horas (A: 07:30-10:00 B:13:00-15:30).

5.18.4 Análisis de correlación MPV 10 µg/cm³

La correlación de los datos comprendidos entre las 07:30-10:00, nos permitió estimar la relación de los puntos de monitoreo en la zona de estudio se pudo estimar que los valores que tienen una correlación fuerte con valores cercanos a 1, es decir que sus valores pueden estimar la misma tendencia están entre los puntos MP03, MP4, MP7, MP10; que nos demuestra que la dispersión está asociada a la influencia de los vientos en zonas donde no existe una barrera física, mientras que los puntos MP12 y MP13, donde existe una barrera física de la principal fuente, tienen una correlación inversamente proporcional (Tabla 15, panel A).

TABLA 17. Promedio PM₁₀ µg/cm³.

	MPV 01	MPV 02	MPV 03	MPV 04	MPV 05	MPV 06	MPV 07	MPV 08	MPV 09	MPV 10	MPV 11	MPV 12	MPV 13	MPV 14
MPV 01	1.000													
MPV 02	0.671	1.000												
MPV 03	0.681	0.522	1.000											
MPV 04	0.884	0.704	0.817	1.000										
MPV 05	0.090	-0.078	0.491	0.220	1.000									
MPV 06	0.392	0.504	0.344	0.305	0.168	1.000								
MPV 07	0.870	0.567	0.710	0.835	0.481	0.329	1.000							
MPV 08	-0.008	-0.074	0.544	0.098	0.360	0.009	-0.068	1.000						
MPV 09	-0.206	-0.488	0.289	0.048	0.445	0.599	-0.033	0.498	1.000					
MPV 10	0.894	0.712	0.413	0.748	-0.008	0.415	0.815	0.313	-0.496	1.000				
MPV 11	0.493	0.761	0.364	0.357	-0.010	0.289	0.409	0.189	-0.464	0.557	1.000			
MPV 12	0.540	0.401	0.637	0.776	0.010	0.258	0.383	0.183	0.239	0.301	-0.126	1.000		
MPV 13	0.074	0.122	0.091	-0.022	-0.102	0.440	0.132	-0.038	-0.112	0.289	0.533	-0.486	1.000	
MPV 14	-0.433	-0.339	0.145	0.253	0.114	0.167	-0.511	0.655	0.885	-0.691	0.388	0.258	-0.620	1.000

	MPV 01	MPV 02	MPV 03	MPV 04	MPV 05	MPV 06	MPV 07	MPV 08	MPV 09	MPV 10	MPV 11	MPV 12	MPV 13	MPV 14
MPV 01	1.000													
MPV 02	0.360	1.000												
MPV 03	0.835	0.467	1.000											
MPV 04	0.660	0.098	0.804	1.000										
MPV 05	0.588	0.145	0.385	0.491	1.000									
MPV 06	0.461	0.242	0.783	0.575	0.105	1.000								
MPV 07	0.771	0.286	0.593	0.651	0.853	0.112	1.000							
MPV 08	-0.117	-0.845	0.258	0.151	0.173	-0.073	0.038	1.000						
MPV 09	-0.129	-0.340	-0.470	0.259	0.094	-0.593	-0.044	0.066	1.000					
MPV 10	0.713	0.474	0.757	0.761	0.454	0.511	0.675	-0.128	0.244	1.000				
MPV 11	0.625	-0.251	0.472	0.476	0.308	0.530	0.260	0.857	0.144	0.349	1.000			
MPV 12	0.081	0.159	0.328	0.475	0.127	0.469	0.234	0.262	-0.630	0.568	0.061	1.000		
MPV 13	-0.163	-0.570	-0.533	-0.141	0.045	-0.746	0.113	0.472	0.725	-0.185	0.033	-0.248	1.000	
MPV 14	-0.459	-0.675	-0.339	-0.137	-0.135	0.090	-0.373	0.725	-0.266	-0.358	-0.041	0.212	-0.038	1.000

MPV 10 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ Tiempo en horas (A: 07:30-10:00 B:13:00-15:30).

La correlación de los datos comprendidos entre las 07:30-10:00, que nos permitió estimar la relación de los puntos de monitoreo en la zona de estudio se pudo estimar que los valores que tienen una correlación fuerte con valores cercanos a 1, es decir que sus valores pueden estimar la misma tendencia están entre los puntos MP2, MP3, MP4, MP5 y MP7; cercanos a la fuente de emisión, son transportadas por acción del viento sin importar las barreras físicas que se encuentran en la zona de influencia, mientras que los puntos MP8, MP1 y MP13, tienen una baja correlación, debido las construcciones o barreras físicas limitan la concentración de PM (Tabla 17, panel B).

5.18.5 Concentración y análisis descriptivo del PMS

Culminado el registro de campo, durante los treinta días, se obtuvieron los datos que corresponden al peso de cada punto de monitoreo (Tabla 18), obteniendo en los meses de enero-febrero de 2020, de esta manera podemos establecer los límites permisibles LMP propuesto por la OMS y el TULSMA.

TABLA 18. Concentración PMS en los puntos de monitoreo.

PUNTOS	Ubicación geográfica (UTM)		Peso inicial (mg)	Peso final (mg)	(Pf-Pi) mg	MPS (mg/cm ² /mes)
	ESTE	NORTE				
MP1	750360	9816536	447.6	478.8	31.2	0.4696
MP2	750428	9816768	447.8	469.0	21.2	0.3191
MP3	750300	9816900	453.6	474.3	20.7	0.3115
MP4	750673	9816863	449.6	470.9	21.3	0.3206
MP5	750689	9816659	456.4	475.8	19.4	0.2920
MP6	750750	9816484	450	473.7	23.7	0.3567
MP7	750933	9817152	438	471.7	33.7	0.5072
MP8	750866	9816787	446.1	474.0	27.9	0.4199
MP9	751065	9816471	436.1	456.0	19.9	0.2995
MP10	751204	9816214	440.8	465.9	25.1	0.3778
MP11	750710	9815821	433.8	460.8	27	0.4064
MP12	751859	9816437	438.4	464.8	26.4	0.3973
MP13	751670	9816074	445.9	465.8	19.9	0.2995
MP14	751689	9815589	444.93	469.35	24.42	0.3679

La comparación de los valores de concentración de PMS (tomados de la Tabla 18) con los LMP establecidos por la OMS y TULSMA, donde, el punto de monitoreo MP7, espacialmente cercano a la fuente de emisión, con un valor de 0,5072 mg/cm²/mes, sobrepasan el LP, pero no supera el LP propuesto por el TULSMA de 1 mg/cm²/mes, que concuerda con los niveles de concentración cercanos a la fuente de emisión UCEM (Tabla 19), dentro de estudios análogos en la zona de influencia de empresa UCEM manifiestan un comportamiento distinto con niveles elevados , como que se puede estimar que la dirección y la velocidad del viento influyen de manera directa a la dispersión del MP (Andi & Vega, 2019).

TABLA 19. LP de PMS en los puntos de monitoreo.

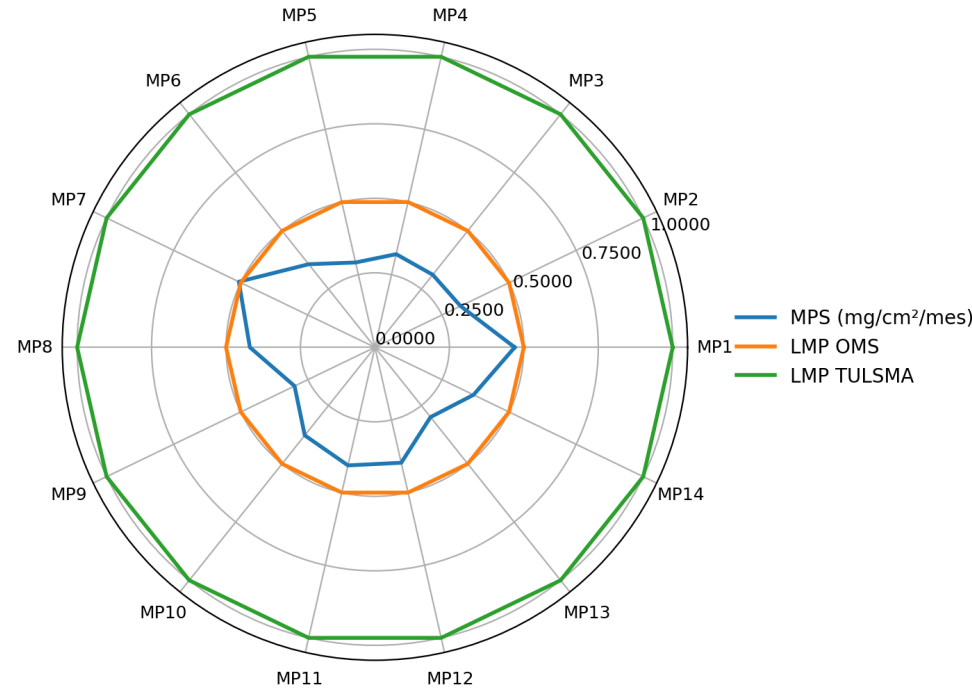
PUNTOS	MPS (mg/cm²/mes)	LMP OMS	LP	LMP TULSMA	LP
MP1	0.4696	0.5 (mg/cm²/mes) %	S	1 (mg/cm²/mes) %	S
MP2	0.3191		S		S
MP3	0.3115		S		S
MP4	0.3206		S		S
MP5	0.2920		S		S
MP6	0.3567		S		S
MP7	0.5072		N		S
MP8	0.4199		S		S
MP9	0.2995		S		S
MP10	0.3778		S		S
MP11	0.4064		S		S
MP12	0.3973		S		S
MP13	0.2995		S		S
MP14	0.3675		S		S

S = sí se encuentra dentro del LP; N = no se encuentra dentro del LP.

La influencia de factores medio ambientales, cambian la movilidad de la concentración de PM, las características predominantes en esta escala de tiempo manifiestan según el boletín meteorológico del INHAMI 2020, en relación a la precipitación registrada en los equipos meteorológicos muestra una irregular disminución por debajo de los valores registrados en la misma época en el año 2019 (INAMHI, 2020), la misma dinámica lo tiene la temperatura, existe una disminución en el callejón interandino, que altera las condiciones de dispersión de contaminante, cambiando la direccionalidad y velocidad del viento; así también, los días soleados propician que el aire circundante se caliente y se produzca el movimiento vertical o convectivo en la atmósfera (Zhang, Cai, Wang, He, & Zheng, 2017).

La Figura 45 compara las concentraciones de PMS con los límites permisibles de la OMS y del TULSMA.

FIGURA 45. Comparación PMS frente a los LP OMS y TULSMA (Texto unificado legislación secundaria medio ambiental)



5.18.6 Análisis global de la concentración de PMV en las comunidades pertenecientes de GATAZO, de la parroquia Cajabamba del cantón Colta, en comparación con los LMP de la OMS y TULSMA.

Para la evaluación de la valoración de los límites permisibles en los diferentes puntos de monitoreo de $PM_{2.5}$ y PM_{10} en el período comprendido al mes de Enero – Febrero de 2020, realizamos un promedio en los 14 puntos de monitoreo.

La Tabla 20 indica la comparación de la concentración del $PM_{2.5}$ y PM_{10} con respecto a la OMS y el TUSLMA, se determinó que todos los valores obtenidos superan el LMP de la OMS $25 \mu g/m^3$, pero no sobrepasan el LPM del TULSMA, sin embargo, lo que demuestra que los niveles de concentración del MP son elevados debido a las grandes cantidades de material que emana por las actividades industriales, los cuales transporta los contaminantes atmosféricos en grandes distancias. Según (Salini Calderón & Medina Mitma, 2017), menciona que estas partículas suelen estar suspendidas en la atmósfera muchos días.

TABLA 20. Concentración de PM_{2,5} y PM₁₀ de las comunidades Gatazo con los LMP OMS y TULSMA

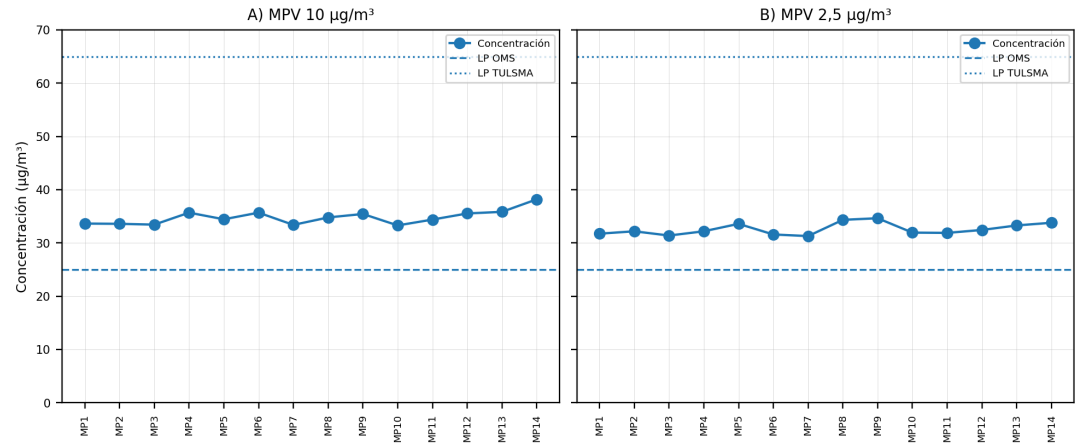
Punto de monitoreo	MPV 2,5 (µg/m ³)	MPV 10 (µg/m ³)	LMP OMS 25 µg/m ³	LMP TULSMA 65 µg/m ³
MP1	31.75	33.65	N	S
MP2	32.20	33.60	N	S
MP3	31.40	33.45	N	S
MP4	32.20	35.70	N	S
MP5	33.60	34.45	N	S
MP6	31.60	35.70	N	S
MP7	31.30	33.40	N	S
MP8	34.35	34.80	N	S
MP9	34.65	35.45	N	S
MP10	31.95	33.30	N	S
MP11	31.90	34.40	N	S
MP12	32.45	35.55	N	S
MP13	33.30	35.85	N	S
MP14	33.80	38.20	N	S

S = sí se encuentra dentro del límite permisible; N = no se encuentra dentro del límite permisible.

Los datos representados en la Tabla 20 permiten observar la comparación entre las concentraciones, se observa que el PM_{2,5} y PM₁₀, sobrepasan los límites permisibles de la OMS, pero no del TULSMA, principalmente por la fuente de emisión, además sumado a las actividades agrícolas y flujo de tránsito vehicular (Castañeda Velandia & Méndez Alcázar, 2018).

La Figura 46 resume la comparación de MPV₁₀ y MPV_{2,5} con los límites permisibles de la OMS y del TULSMA.

FIGURA 46. A) Comparación MPV $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y B) Comparación $2.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ frente a los LP OMS y TULSMA



5.19 Dinámica geoespacial de la concentración y dispersión de contaminantes de PM

Como parte del tercer objetivo se elaboraron tres modelos geoespaciales, representados en tres mapas, que permiten visualizar la concentración y dispersión del $\text{PM}_{2.5}$ y PM_{10} , y PMS durante el período enero-febrero de 2020. Dentro del análisis estadístico se obtuvo una predicción del 98,75 %, 99,45 % y 99,10 %, con un error del de 1.55 %, 0,55 % y 0,90 %, respectivamente (Peña & Araya, 2019), manifiestan que los niveles de precisión exitosos dependen del número de puntos de monitoreo, el tratamiento estadístico y la recolección de datos, generalmente se considera un modelo predictivo muy bueno cuando supera el 75 %.

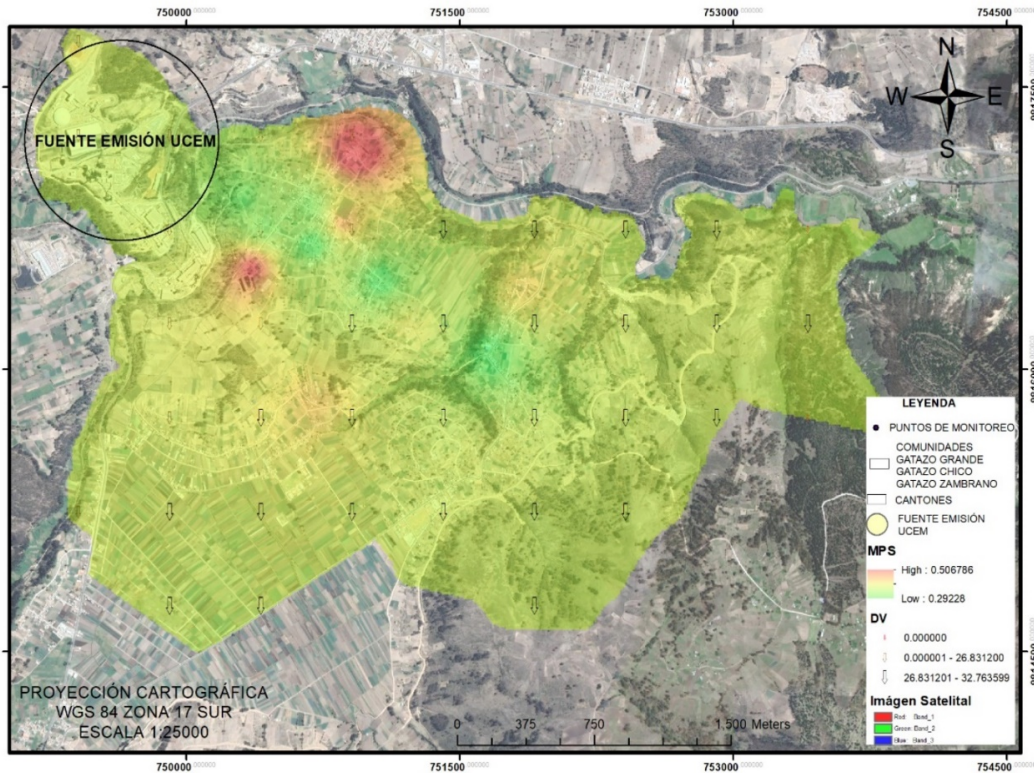
Para generar la predicción geoespacial, se utilizaron variables climáticas (viento), considerando la dirección y la velocidad; tomados de las estaciones meteorológicas, Así también, se generó un mapa de dirección de vientos, trabajando con dos variables, coordenadas en norte y este, y los datos de dirección de viento que se obtuvieron de las estaciones meteorológicas de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Quimiag y San Juan (Chimborazo); las unidades de la dirección están representadas en función de la dirección de la rosa de los vientos (WordClim, 2020).

La dinámica de las predicciones geoespaciales mostradas en la (Figura 10), indica la concentración y movilidad en forma de la dispersión de PMS, mediante este análisis determinamos que en el punto PM7 ($0.5072 \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{mes}$), los niveles de concentración superan el LPM propuestos por las entidades reguladoras (OMS), pero no supera el

LPM del TULSMA, seguido del punto MP1 y MP8, con un valor de (0.4996-0.4199 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{mes}$) que no sobrepasa el LMP de la OMS y TULSMA. La direccionalidad del viento tiene tendencia hacia el sur, con un valor promedio de 2.82 m/s y una desviación estándar de 0.65, esto se debe a que el área es relativamente pequeña para observar cambios significativos, los estudios realizados por (Andi & Vega, 2019) reportan valores similares, pero en cuanto a la dirección existe una variación debido a factores topográficos y la relación de actividades similares de emisión de PM de manera tradicional de las caleras.

La Figura 47 presenta la comparación de las concentraciones de PMS entre las comunidades de Gatazo.

FIGURA 47. Comparación PMS Comunidades Gatazo

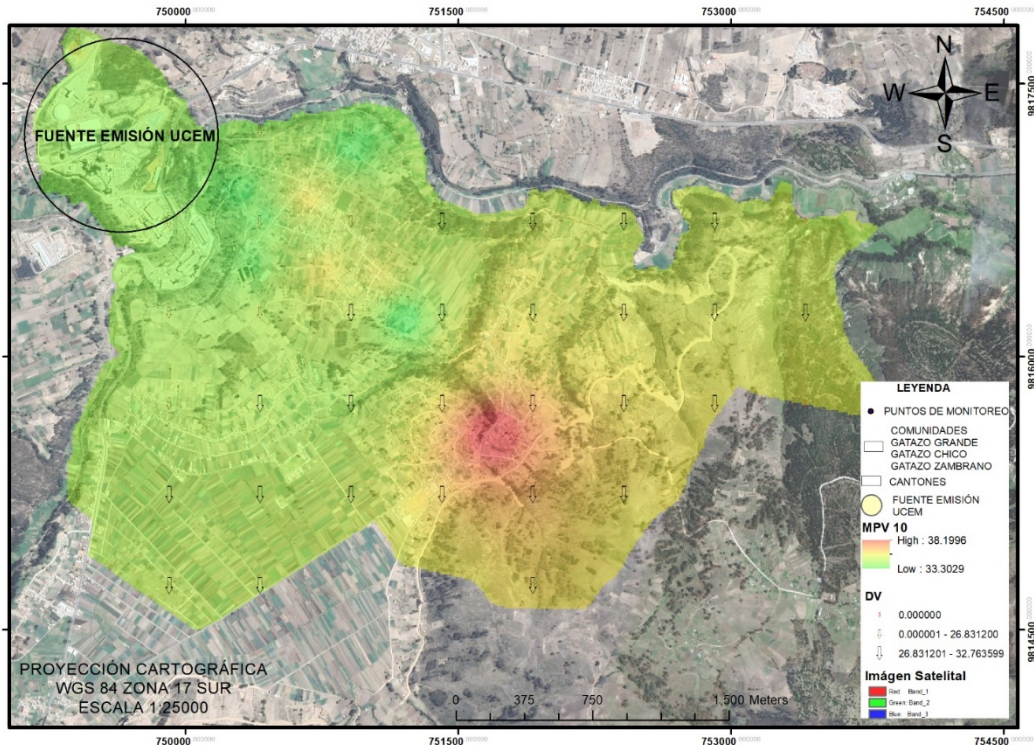


La Figura 48 indica el modelo de dispersión del MPV 10, en el cual, indica la concentración y dispersión máxima en el punto en el punto MP14 ($38.20 \mu\text{g}/\text{m}^3$), la misma tendencia de los demás valores se encuentran en un promedio de $34.82 \mu\text{g}/\text{m}^3$; los cuales superan el LMP establecido por la OMS $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pero no supera el LMP propuestos por las entidades reguladoras Ecuatorianas (TULSMA), se asume este incremento debido a las actividades industriales artesanales que emiten PM, de la misma

manera actividades relacionados con la agricultura.

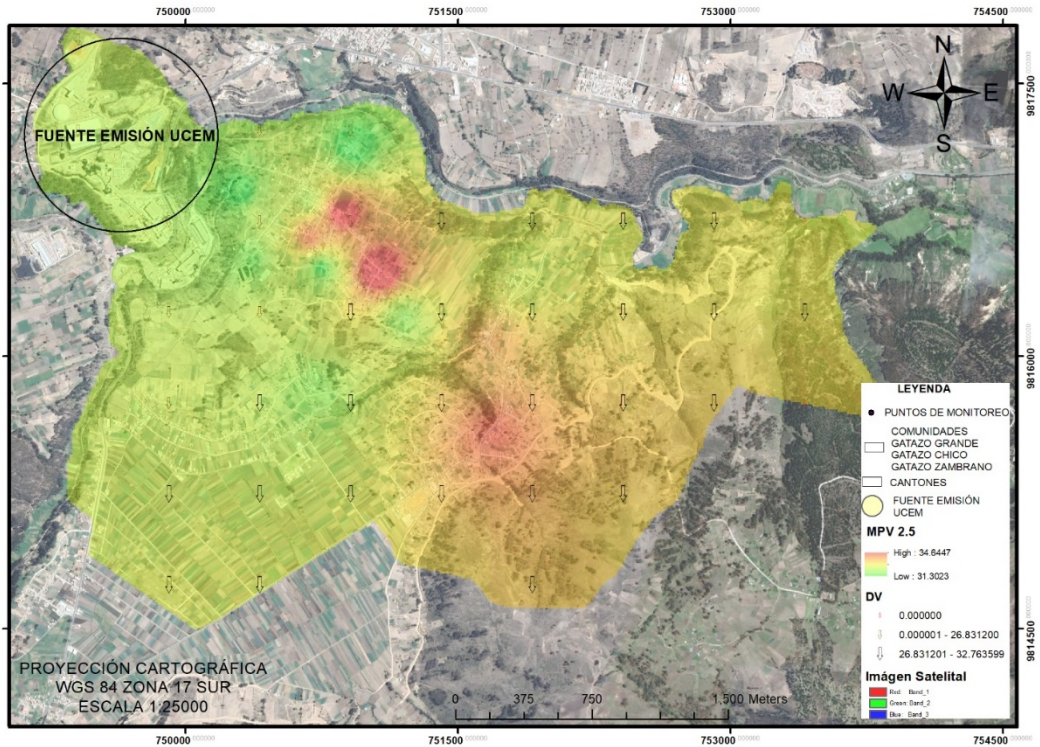
Estudios análogos estiman un nivel menor a los registrados en el área de influencia, esto se debe a la direccionalidad del viento, la velocidad del mismo y la geomorfología del territorio, debido a que el tipo de pendiente es catalogado como plano y ondulado, el PM puede viajar por un amplio espacio del territorio e inclusive incrementar valores por otras fuentes de emisión cercanas.

FIGURA 48. Comparación MPV₁₀ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Comunidades Gatazo



La Figura 49 indica el modelo de dispersión del MPV 2.5, en el cual, indica la concentración y dispersión máxima en el punto en el punto MP9 ($34.65 \mu\text{g}/\text{m}^3$), la misma tendencia de los demás valores se encuentran en un promedio de $32.60 \mu\text{g}/\text{m}^3$; los cuales superan el LMP establecido por la OMS $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pero no supera el LMP propuestos por las entidades reguladoras Ecuatorianas (TULSMA), podemos determinar que la carga de PM es mayor a la zona de estudio análogas (Andi & Vega, 2019), ya que las condiciones topográficas y climáticas, favorece el incremento de la concentración en las comunidades de Gatazo, sumado a esto las actividades artesanales de transformación de óxido de calcio (cal), en conjunto con la actividad agrícola intensiva.

FIGURA 49. Comparación MPV $2.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Comunidades Gatazo



2.

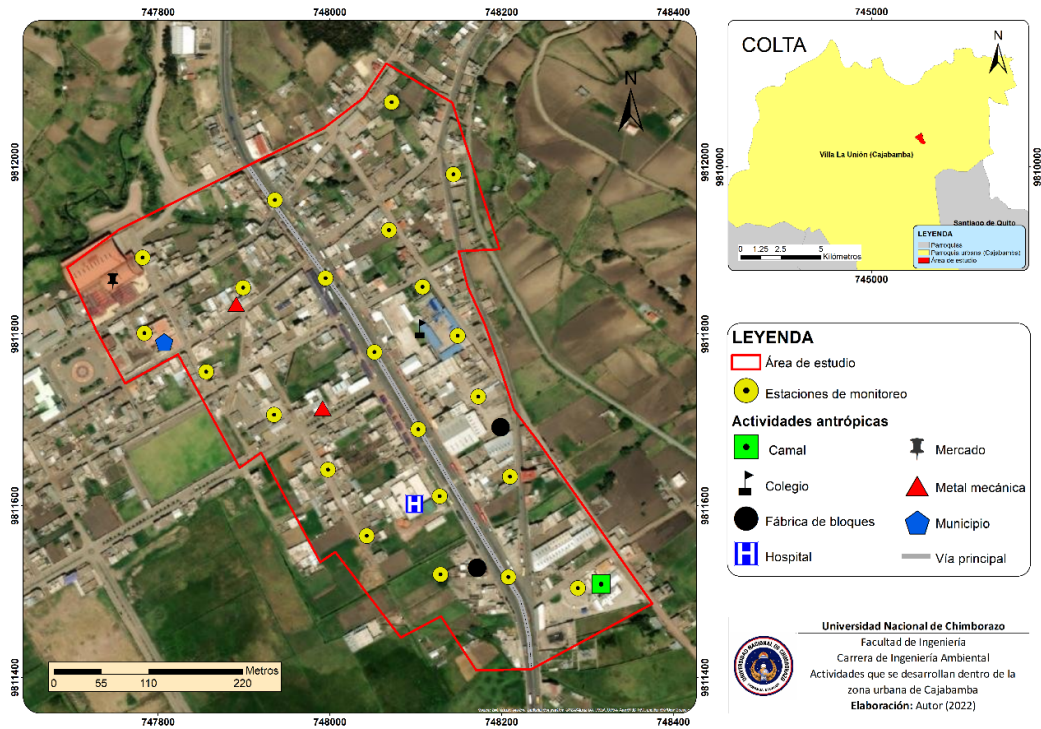
Resultados de la zona urbana de Cajabamba.

Es estudio efectuado permitió obtener la concentración de PMS de la zona urbana de Cajabamba además de poder caracterizar el PM obtenido.

5.20 Ubicación de estaciones de monitoreo e identificación de actividades antrópicas

En la Figura 50, se evidencia que se trabajó con 22 puntos de monitoreo dentro del área urbana de Cajabamba, los cuales fueron colocados en distintos lugares de acceso público como escuela/colegio, GAD municipal, principales avenidas, fábricas de bloques, casas comunales y otros lugares como viviendas de la zona.

FIGURA 50. Estaciones de monitoreo y actividades antrópicas en el área de estudio.



Al realizar el estudio de PMS, en la zona se pudo observar distintas actividades que se llevan a cabo dentro del área de estudio como son fábricas de bloques y algunas metalmecánicas, además de que el tráfico vehicular constituye una importante actividad a lo largo del día.

Hay que tener en cuenta que en el área de estudio se desarrolla actividades agropecuarias en distintos puntos además de estar rodeada por los campos agrícolas, siendo este un factor a tener en consideración como generadores de PM.

5.21 Cuantificación y análisis de PMS

La Tabla 21, reporta los valores correspondientes de las distintas concentraciones obtenidas en cada punto de muestreo y determinado a partir de la “**ecuación 1**” durante un intervalo de tiempo de 30 días (1 mes) desde el 20 de enero hasta el 19 de febrero del 2022.

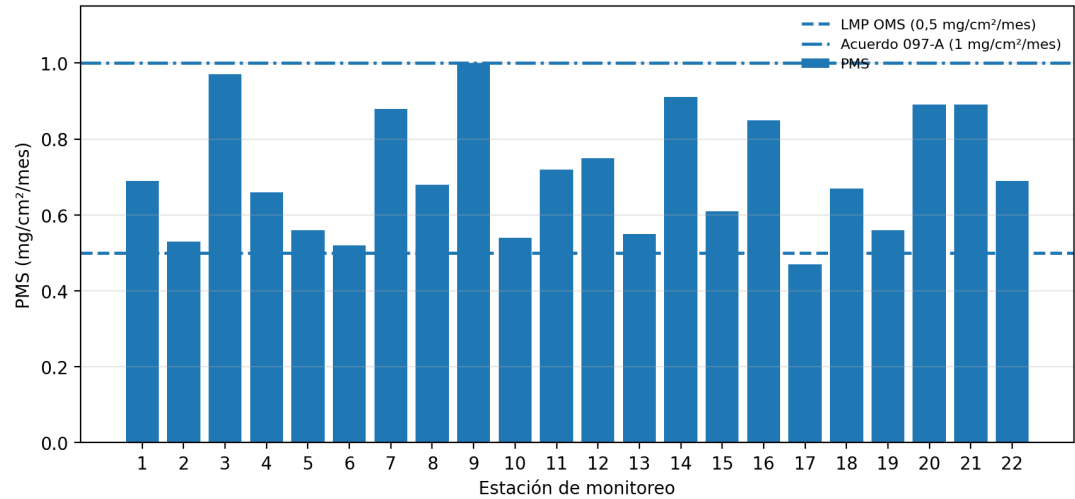
TABLA 21. Concentración de PMS de cada punto de monitoreo.

Estación de monitoreo	Coordenadas geográficas		Peso inicial del papel (mg)	Peso final del papel (mg)	Concentración PMS (mg/cm ² /mes)
1	747782	9811889	463.1	501.4	0.69
2	747784	9811801	473.2	502.4	0.53
3	747936	9811956	470.4	524.0	0.97
4	748072	9812070	484.1	520.8	0.66
5	747856	9811756	474.5	505.7	0.56
6	747899	9811854	476.1	505.1	0.52
7	747995	9811865	472.7	521.7	0.88
8	748069	9811921	482.2	520.0	0.68
9	748144	9811986	479.5	534.9	1.00
10	747935	9811706	464.8	494.9	0.54
11	748052	9811779	461.9	501.6	0.72
12	747998	9811642	469.8	511.5	0.75
13	748103	9811689	468.7	499.0	0.55
14	748108	9811855	469.7	520.3	0.91
15	748043	9811565	464.4	498.1	0.61
16	748210	9811634	464.9	512.2	0.85
17	748149	9811798	475.3	501.2	0.47
18	748128	9811611	476.1	513.5	0.67
19	748173	9811727	470.2	501.5	0.56
20	748129	9811520	473.6	523.0	0.89
21	748208	9811517	470.2	519.7	0.89
22	748289	9811504	476.5	514.8	0.69

Los datos obtenidos luego del pesaje indican que el PMS obtenido en promedio tiene un valor de 0.71 mg/cm² x mes siendo superior al LMP de la OMS (0.5 mg/cm² x mes) pero inferior al LMP del Acuerdo Ministerial 097-A (1 mg/cm² x mes).

Al comparar la concentración de PMS de la Tabla 21 con los LMP establecidos por la OMS y el Acuerdo Ministerial 097-A, se obtuvo la siguiente gráfica comparativa (**Figura 51**):

FIGURA 51. Comparación de valores de PMS con los LMP de la OMS y el Acuerdo 097-A.



Elaboración propia a partir de los datos de concentración de PMS en estaciones de monitoreo.

Observando la comparativa entre las concentraciones obtenidas de PMS de cada estación de monitoreo y los LMP de la OMS y del Acuerdo 097-A evidenciamos que casi todos los valores obtenidos sobrepasan el LMP establecidos por la OMS de ($0.5\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$), excepto un valor de la estación número 17, en cuanto a la comparación con el LMP del Acuerdo 097-A ($1\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$), la concentración obtenida por la estación de monitoreo 9 llega al valor máximo permitido mientras que los otros valores quedan en un rango admisible por debajo del LMP del Acuerdo 097-A.

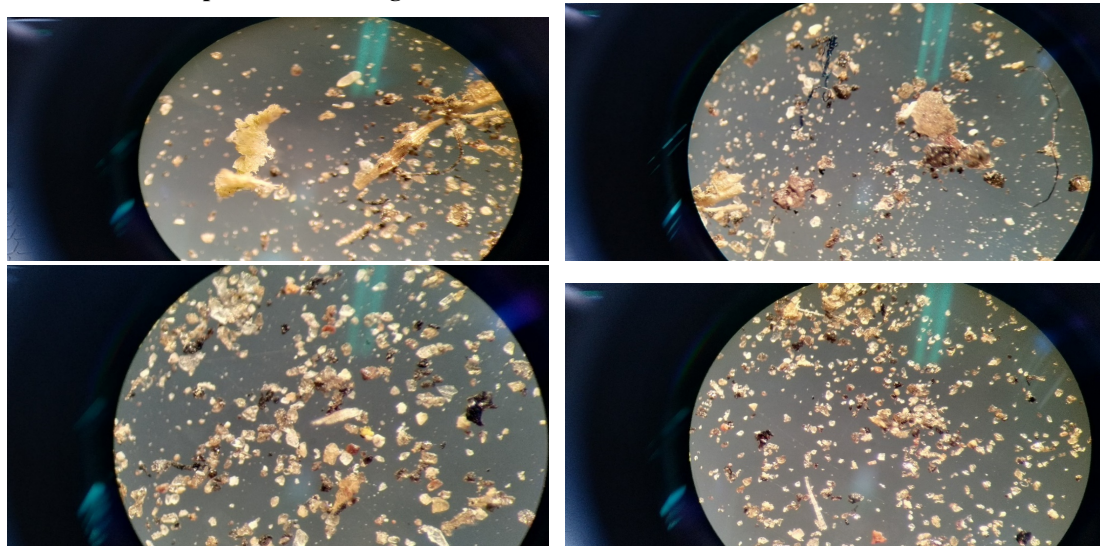
Siendo así, que la calidad del aire puede verse muy comprometida debido a que la concentración de PMS en el área urbana sobrepasa el LMP de la OMS teniendo un promedio de $0.71\text{ mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$ en toda la zona, esto puede deberse a la presencia de la circulación de automotores ya que Cajabamba es atravesada por una importante arteria vial (E35) o Troncal de la Sierra, además de que el área urbana está rodeada de diferentes zonas donde se desarrollan actividades antrópicas como son campos agrícolas, fábricas de bloques, metal mecánicas, etc.

Los datos obtenidos luego de la cuantificación indican que la mayor concentración de PMS se encuentra distribuido en las zonas norte y sur del área de estudio, si dividimos en 2 rangos (mayor y menor) al promedio de concentración de PMS el cual es de **$0.71\text{ mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$** existen 9 estaciones de monitoreo que recolectaron concentraciones superiores al promedio, significando el 41 % del total de las muestras recolectadas , mientras que las 13 estaciones de monitoreo restantes recolectaron concentraciones inferiores a la concentración promedio de PMS.

5.22 Caracterización morfológica del PMS

El análisis morfológico que se obtuvo utilizando el estereomicroscopio dio como resultado la visualización del color, forma y tamaños de las partículas obtenidas de cada punto de muestreo.

FIGURA 52. Comparación morfológica de colores de diferentes muestras de PMS.



Muestras a, b, c y d.

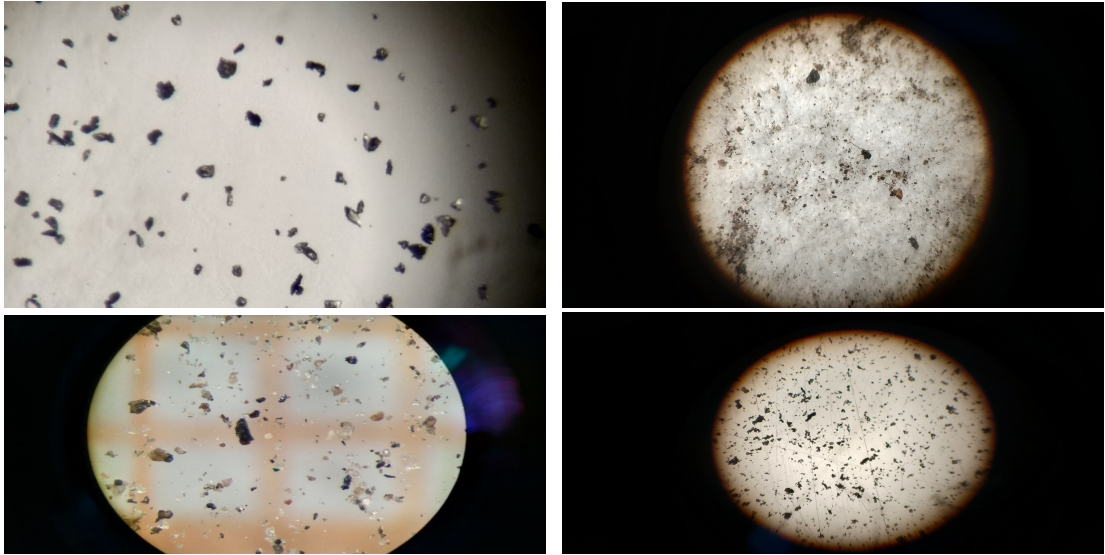
En la Figura 52, se visualizan distintas imágenes obtenidas del PMS que se logró receptar en el área urbana de Cajabamba. Se distingue que el PM posee distintas formas y colores siendo estas fundamentales para poder caracterizar composición y su fuente, pudiendo ser partículas orgánicas de madera y partículas minerales como polvo u otros minerales. De esta forma se caracterizó de la siguiente manera:

- Muestra (a) se observa mayormente la presencia de partículas color café debido a que lo compone material orgánico como lo es la arcilla teniendo formas irregulares (motas) además que existe partículas cristalinas (cuarzos), también se visualiza un filamento deforme de color negro como producto de la combustión de algún material orgánico.
- Muestra (b) figuran partículas de color café (materiales orgánicos) también gran cantidad de partículas cristalinas y en menor presencia partículas de color negro que pueden ser productos de la combustión de hidrocarburos (hollín), carbón vegetal.
- Muestra (c) se visualiza con mayor claridad las partículas de color café (material

orgánico) se puede identificar la presencia de cristales (cuarzos) y las partículas de color negro (productos de combustión).

- Muestra **(d)** destaca la presencia de partículas amorfas de gran tamaño de un color café amarillento las cuales pueden ser de origen vegetal como pequeños trozos de madera o algún origen vegetal, también se visualiza partículas de polvo (arcillas) y partículas negras (por la combustión).

FIGURA 53. Partículas de diferentes formas y tamaños encontrados en el muestreo.



Muestras a, b, c y d.

La Figura 53, muestra diferentes patrones de PM que pueden provenir de emisiones naturales y fuentes artificiales, en el área de estudio, las fuentes de estas emisiones de partículas pueden ser: polvo de caminos no pavimentados, transporte de materias primas (arena y arcilla) para la producción de ladrillos y bloques hechos a mano, y posiblemente restos de la metalurgia.

- Muestra **(a)** se visualizan distintas partículas de material orgánico, cristalino y partículas producto de la combustión que han sido recolectadas y para considerar el tamaño de las partículas se tiene como referencia una cuadrícula de 1x1 mm.
- Muestra **(b & c)** se visualiza a las partículas con su forma y bordes definidos resultando ser la mayor parte partículas cristalinas en las muestras que se ha recolectado dentro del área de estudio.
- Muestra **(d)** es una vista general del material obtenido aún en el papel filtro de los puntos de muestreo.

Las emisiones de partículas sedimentables se producen por la acción del viento sobre la superficie terrestre en forma de emisiones fugitivas, que provocan su agregación y posterior precipitación, donde se pueden encontrar mayormente: calcita, cuarzo, dolomita, caolinita, illita, feldespatos (Durán Lombada y Moscoso Culma, 2018).

Como se analizó anteriormente de las muestras obtenidas, las partículas se consideran primarias porque se emiten directamente a la atmósfera. Aunque la mayoría de las emisiones de PMS son de origen natural, es necesario considerar la existencia de un número limitado de fuentes antropogénicas de material mineral particulado. Entre las principales actividades antropogénicas hemos considerado las siguientes:

- Tráfico automotriz de las principales avenidas (Av. Unidad nacional y Av. García Moreno).
- Presencia de fábricas de bloques y metalmecánicas.
- Presencia de campos donde se desarrolla actividad agropecuaria.
- Construcciones de viviendas.
- Transporte de materia prima para las distintas industrias en la zona.
- Vías no asfaltadas.

En este estudio las partículas provenientes de procesos de combustión son generadas por fuentes móviles y fijas. Las fuentes móviles se consideran la más relevantes en esta investigación, debido a que Cajabamba forma parte de una importante arteria vial (E35) siendo los automóviles los generadores de COVs en el ambiente, las cuales son sustancias tóxicas tanto para el humano y la naturaleza. Las fuentes fijas generadoras de PM que se encuentran en la zona son las fábricas de bloques, metalmecánicas, además de que muchas personas realizan la quema de residuos en el territorio.

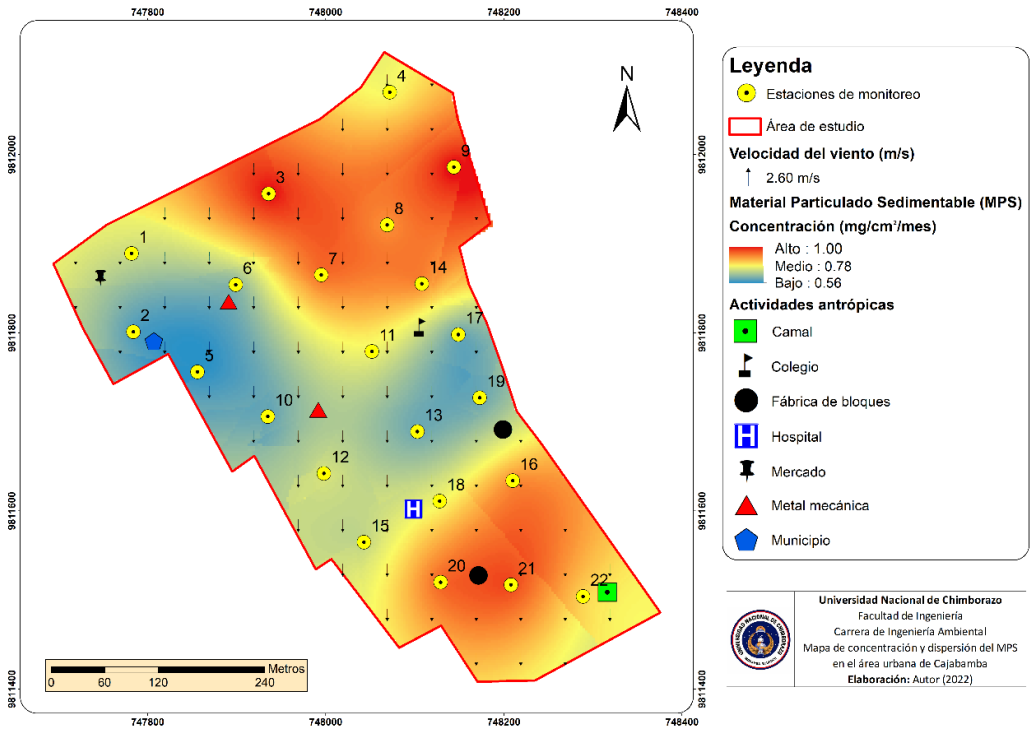
5.23 Análisis geoestadístico de la concentración y dispersión del PMS

En la elaboración del mapa de dispersión y concentración del PMS se emplearon diversas fuentes de datos meteorológicos como es la velocidad y dirección del viento, esto para estimar como se comportó el recurso viento durante la captación del PMS en el área de estudio.

Se utilizaron datos meteorológicos de 3 estaciones en total para poder realizar una triangulación de datos alrededor del área de estudio, 2 de las estaciones meteorológicas son de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (San Juan y ESPOCH) la cuales están ubicadas al norte del área de estudio, también se utilizó los datos de la estación “M5186” del INAHMI ubicada en el cantón Colta al sur del área de estudio.

Mediante el uso de SIG se interpolaron los datos con la herramienta de interpolación **Kriging** para obtener así los valores desconocidos de concentración del PMS alrededor de nuestros puntos de muestreo, estos valores se dividieron en 3 categorías (alto, medio y bajo) y se designaron colores respectivos para identificar las zonas con mayor y menor concentración de PMS como se observa en la Figura 54.

FIGURA 54. Mapa de concentración y dispersión del PMS.



Durante la investigación se obtuvo que en el área de estudio la dirección del viento fue en sentido sur (S) además que la velocidad del viento en promedio fue 2.60 m/s.

El mapa de concentración y dispersión presenta diferentes concentraciones de PMS, siendo así la zona norte y sur las que presentan mayor concentración de PM, esto puede ser debido a la propia dirección del viento, además que en la zona norte está rodeada principalmente de zonas agrícolas, la fábrica de harina y construcciones, mientras que la zona sur existe la presencia de fábricas de bloques pudiendo ser estos una

fuelle de MP en la zona. En el centro del área de estudio se presenta las concentraciones más bajas de PMS debido a que la actividad antrópica se ve disminuida, además que las propias edificaciones pueden actuar como barreras artificiales en la zona.

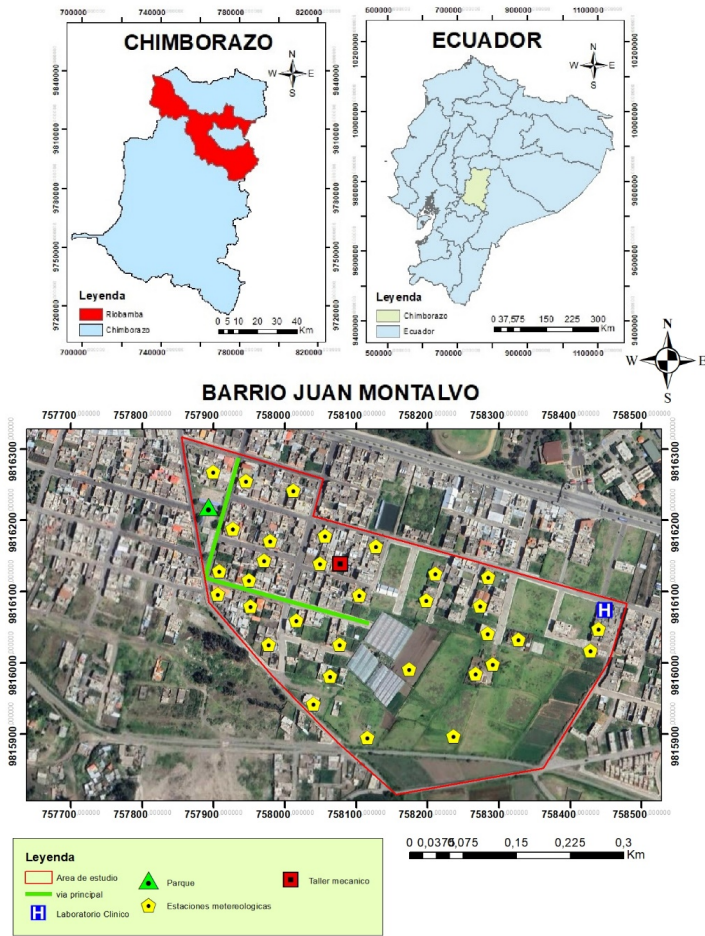
Resultados barrio Juan Montalvo

Este estudio se llevó a cabo en la zona urbana de la provincia de Chimborazo, en el Barrio Juan Montalvo, perteneciente a la parroquia de Riobamba, en donde se pudo efectuar la caracterización de PM obtenido.

1. UBICACIÓN DE ESTACIONES.

En la Figura 55, podemos observar que se necesitó 32 estaciones de monitoreo dentro del barrio Juan Montalvo, perteneciente a la parroquia de Riobamba, las cuales fueron implementadas en distintas zonas residenciales y zonas cercanas a la mina existente en esa área.

FIGURA 55. Ubicación de estaciones para monitoreo y caracterización de actividades antrópicas.



Al realizar el estudio de PMS, se pudo identificar varias actividades que se llevan a cabo dentro del área de estudio como son casas en proceso de construcción, actividad minera, entrada y salida de maquinaria pesada dentro del barrio Juan Montalvo, aserraderos y metalmecánicas, además del tránsito vehicular, el cual constituye una actividad al transcurso del día.

Cabe resaltar que en la zona de estudio se realizan actividades mineras y produciendo tráfico de maquinaria pesada (volquetas, excavadoras, etc.), el cual es un factor muy importante a tener en cuenta como generador de MP.

2. CUANTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE PMS

La Tabla 22 da a conocer los valores correspondientes de las distintas concentra-

ciones obtenidas en cada punto de muestreo, durante un intervalo de tiempo de 30 días. Empezando el 24 de junio hasta el 25 de julio del 2023 (V: 10.8 km/h).

TABLA 22. Concentración de PMS de cada punto de monitoreo.

Estación de monitoreo	Coordenadas geográficas		Peso inicial (mg)	Peso final (mg)	Concentración (mg/cm ² /mes)
E1	757900	9816268	410	400	1.989
E2	757946	9816255	420	410	1.989
E3	757928	9816188	405	395	1.989
E4	757909	9816129	400	398	0.398
E5	757979	9816171	414	411	0.597
E6	758012	9816241	404	400	0.796
E7	758057	9816178	408	404	0.796
E8	758049	9816139	405	400	0.995
E9	757971	9816144	403	400	0.597
E10	757950	9816116	412	410	0.398
E11	757906	9816096	406	404	0.398
E12	757952	9816079	406	405	0.199
E13	757977	9816026	412	406	1.194
E14	758016	9816059	412	409	0.597
E15	758064	9815982	421	417	0.796
E16	758077	9816026	407	406	0.199
E17	758104	9816095	410	408	0.398
E18	758128	9816163	414	409	0.995
E19	758211	9816125	410	408	0.398
E20	758198	9816088	415	413	0.398
E21	758041	9815943	410	408	0.398
E22	758116	9815895	415	411	0.796
E23	758285	9816120	415	414	0.199
E24	758274	9816080	418	412	1.194
E25	758284	9816041	418	412	1.194
E26	758267	9815984	425	421	0.796
E27	758290	9815998	413	412	0.199
E28	758328	9816033	420	417	0.597
E29	758174	9815991	406	405	0.199
E30	758440	9816047	423	418	0.995
E31	758236	9815897	415	409	1.194
E32	758428	9816017	414	412	0.398

Nota: Concentración de PMS de cada punto de monitoreo y sus coordenadas geográficas.

Los datos obtenidos en el pesaje de cada una de las muestras obtenidas indican un promedio de (0.75 mg/cm²) por mes, siendo este superior al LMP de la OMS (0.5 mg/cm²/mes). Pero inferior al LMP del Acuerdo Ministerial 097-A que es de (1 mg/cm²)

por mes.

La Tabla 23 detalla el cumplimiento de cada punto de monitoreo respecto del límite permisible de la OMS.

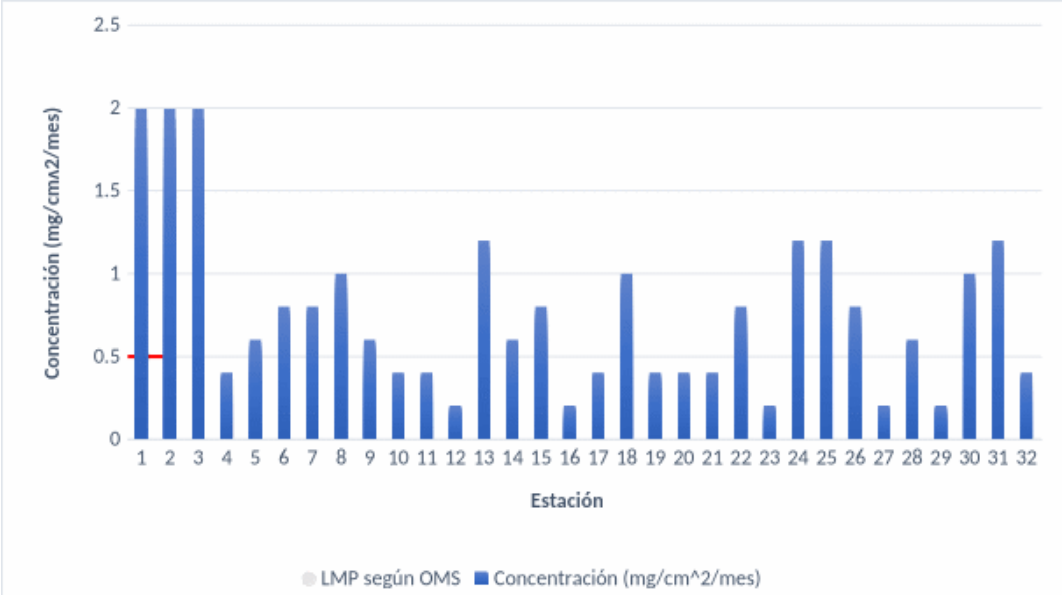
TABLA 23. Comparación de los valores según la OMS.

Estación de monitoreo	Concentración (mg/cm ² /mes)	Límite permisible según la	
		OMS	Condición
E1	1.989	0.5	NO CUMPLE
E2	1.989	0.5	NO CUMPLE
E3	1.989	0.5	NO CUMPLE
E4	0.398	0.5	CUMPLE
E5	0.597	0.5	NO CUMPLE
E6	0.796	0.5	NO CUMPLE
E7	0.796	0.5	NO CUMPLE
E8	0.995	0.5	NO CUMPLE
E9	0.597	0.5	NO CUMPLE
E10	0.398	0.5	CUMPLE
E11	0.398	0.5	CUMPLE
E12	0.199	0.5	CUMPLE
E13	1.194	0.5	NO CUMPLE
E14	0.597	0.5	NO CUMPLE
E15	0.796	0.5	NO CUMPLE
E16	0.199	0.5	CUMPLE
E17	0.398	0.5	CUMPLE
E18	0.995	0.5	NO CUMPLE
E19	0.398	0.5	CUMPLE
E20	0.398	0.5	CUMPLE
E21	0.398	0.5	CUMPLE
E22	0.796	0.5	NO CUMPLE
E23	0.199	0.5	CUMPLE
E24	1.194	0.5	NO CUMPLE
E25	1.194	0.5	NO CUMPLE
E26	0.796	0.5	NO CUMPLE
E27	0.199	0.5	CUMPLE
E28	0.597	0.5	NO CUMPLE
E29	0.199	0.5	CUMPLE
E30	0.995	0.5	NO CUMPLE
E31	1.194	0.5	NO CUMPLE
E32	0.398	0.5	CUMPLE

Revisando los límites permisibles de la OMS que es de 0.5 (mg/cm²/mes) se puede observar que 19 puntos no cumplen, mientras que 13 puntos si cumplen con el LMP.

La Figura 56 representa gráficamente el cumplimiento de los puntos de monitoreo respecto del límite permisible de la OMS.

FIGURA 56. Comparación según el LMP de la OMS.



Elaboración propia a partir de los datos presentados en las tablas del capítulo.

La Tabla 24 presenta la comparación de los valores de PMS con el límite establecido en el Acuerdo Ministerial N.º 97/A.

TABLA 24. Comparación de valores de PMS según el AM N°97/A

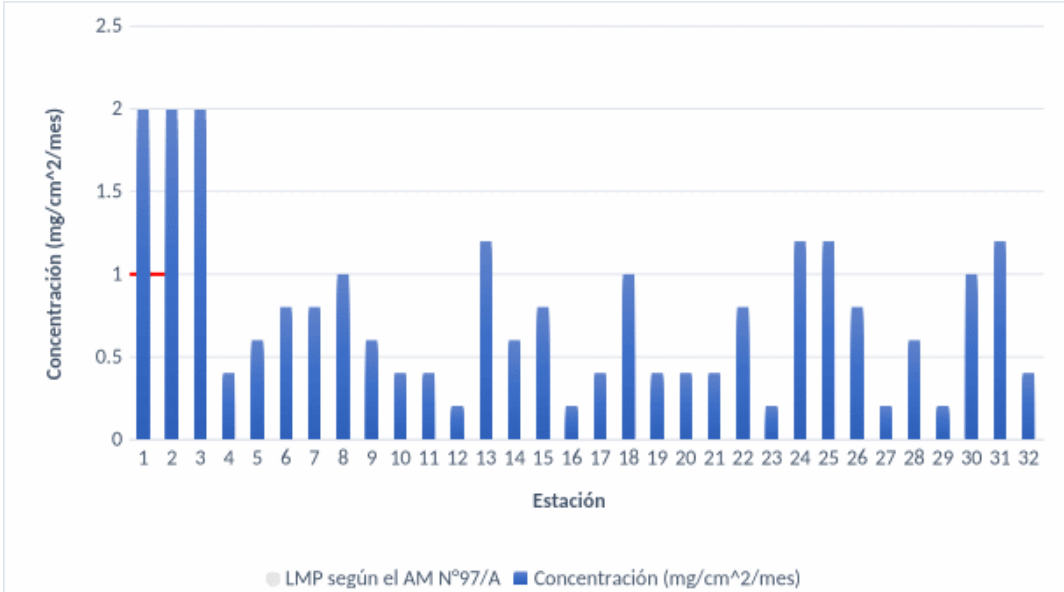
Estación de monitoreo	Concentración (mg/cm²/mes)	Límite permisible según el AM N°97/A	Condición
E1	1.989	1	NO CUMPLE
E2	1.989	1	NO CUMPLE
E3	1.989	1	NO CUMPLE
E4	0.398	1	CUMPLE
E5	0.597	1	CUMPLE
E6	0.796	1	CUMPLE
E7	0.796	1	CUMPLE
E8	0.995	1	CUMPLE
E9	0.597	1	CUMPLE
E10	0.398	1	CUMPLE
E11	0.398	1	CUMPLE
E12	0.199	1	CUMPLE
E13	1.194	1	NO CUMPLE
E14	0.597	1	CUMPLE
E15	0.796	1	CUMPLE
E16	0.199	1	CUMPLE
E17	0.398	1	CUMPLE
E18	0.995	1	CUMPLE
E19	0.398	1	CUMPLE
E20	0.398	1	CUMPLE

Estación de monitoreo	Concentración (mg/cm ² /mes)	Límite permisible según el AM N°97/A	Condición
E21	0.398	1	CUMPLE
E22	0.796	1	CUMPLE
E23	0.199	1	CUMPLE
E24	1.194	1	NO CUMPLE
E25	1.194	1	NO CUMPLE
E26	0.796	1	CUMPLE
E27	0.199	1	CUMPLE
E28	0.597	1	CUMPLE
E29	0.199	1	CUMPLE
E30	0.995	1	CUMPLE
E31	1.194	1	NO CUMPLE
E32	0.398	1	CUMPLE

De igual manera, revisando los límites permisibles del AM N°97/A que es de 1 (mg/cm²/mes) se puede observar que 7 puntos no cumplen, mientras que 25 puntos si cumplen con el LMP.

La Figura 57 muestra la comparación equivalente respecto del límite establecido en el Acuerdo Ministerial N.º 97/A.

FIGURA 57. Comparación según el LMP del AM N°97/A.

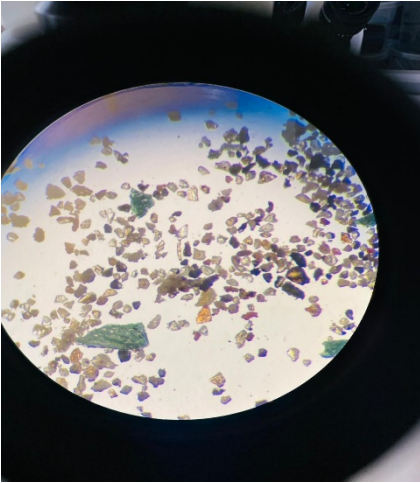


Elaboración propia a partir de los datos presentados en las tablas del capítulo.

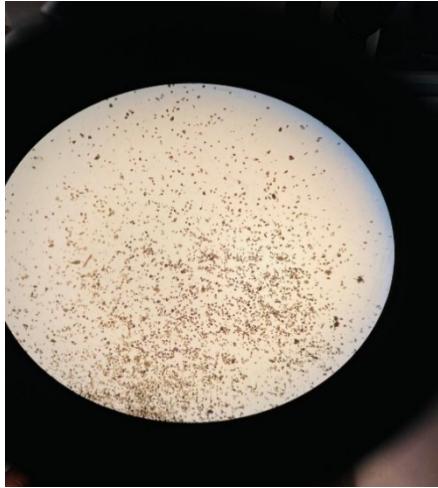
5.24 Determinación morfológica del material particulado

Dentro del análisis morfológico se pudo identificar con ayuda del estereomicroscópio se pudo identificar ciertas propiedades como el color, tamaño y la forma de las partículas obtenidas de los puntos analizados.

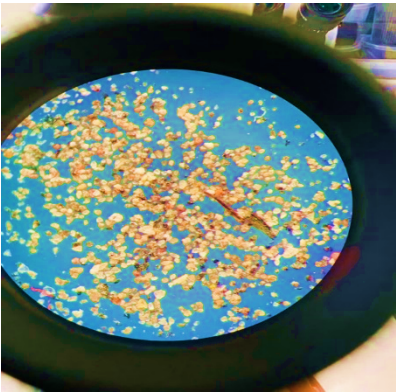
FIGURA 58. Comparación morfológica tomada de diferentes muestras de MP.



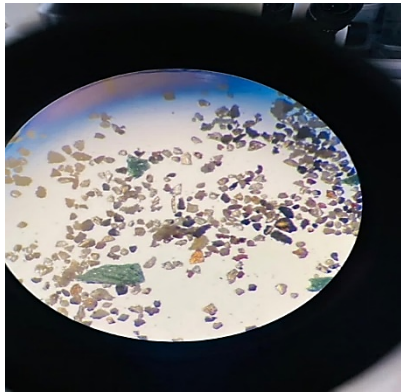
Muestra 1. Estación 4



Muestra 2. Estación 8



Muestra 3. Estación 31



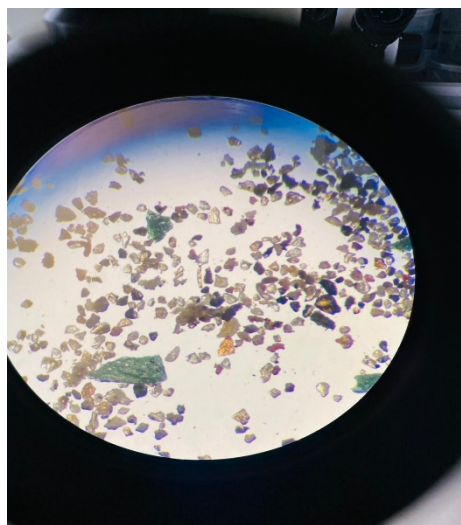
Muestra 4. Estación 11

Mientras que en la Figura 58, se pudo observar distintos gráficos obtenidos de PMS, las cuales fueron recolectadas en el barrio Juan Montalvo, perteneciente a la parroquia de Riobamba, provincia de Chimborazo. Se puede analizar que el MP posee diversas formas y colores en cuanto a su estructura morfológica, la cual es fundamental para poder caracterizar su composición y fuente de origen, diferenciando de materia orgánica, partículas minerales como polvo etc.

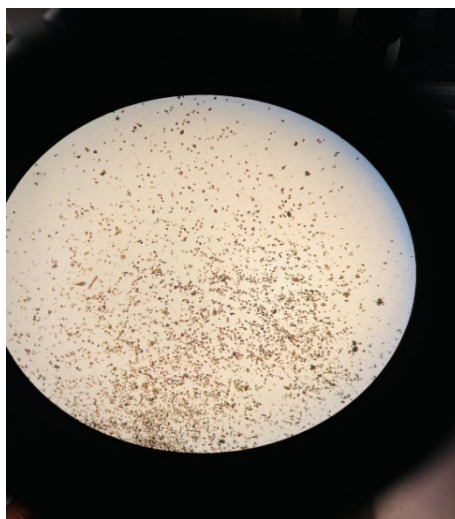
Dentro de la caracterización podemos identificarlas de la siguiente manera:

1. Muestra (1): Se pudo identificar la presencia de partículas madereras como de aserrín, así como también con una tonalidad café debido a la presencia de material orgánico la cual tiene una forma irregular, así como ciertas partículas verdosas cristalinas (cuarzos).
2. Muestra (2): Podemos observar partículas de estructura firme y colores café (materiales orgánicos), agregando a ello se presentan varias partículas cristalinas y en menor cantidad pequeñas partículas de color negro (PM producto de la combustión).
3. Muestra (3): Se puede destacar gran presencia de partículas de color café pertenecientes a (material orgánico) y pequeños trozos de madera o algún origen natural, pequeñas partículas de color negro (productos de la combustión).
4. Muestra (4): Destacamos la presencia de partículas de diversos colores y estructuras de diferentes tamaños, las cuales son de color café amarillento que pueden ser de tipo vegetal y ciertas partículas de color arcilloso que pueden ser también comparadas con las de color negro (combustión).

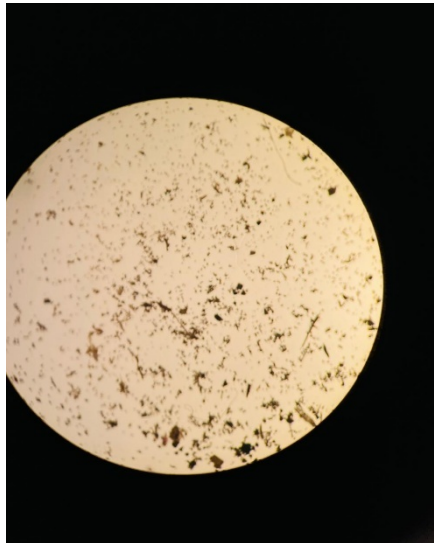
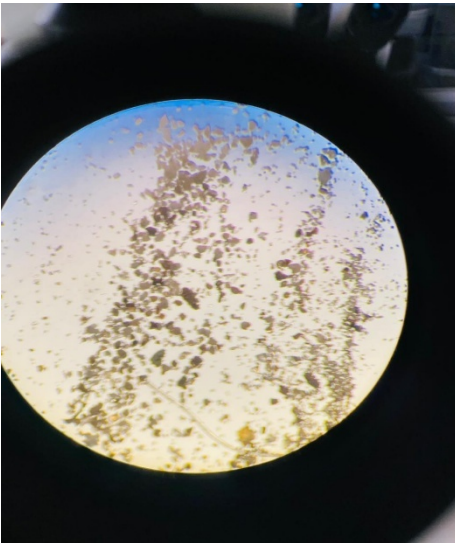
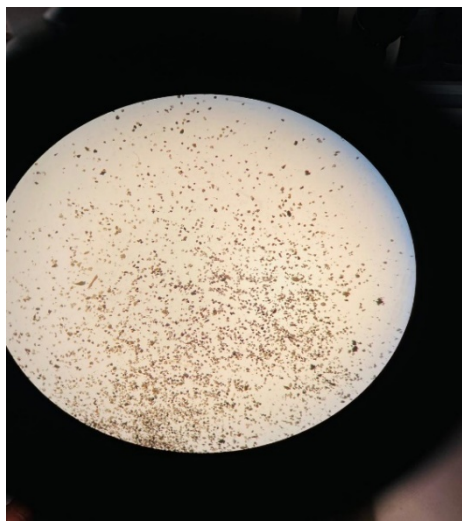
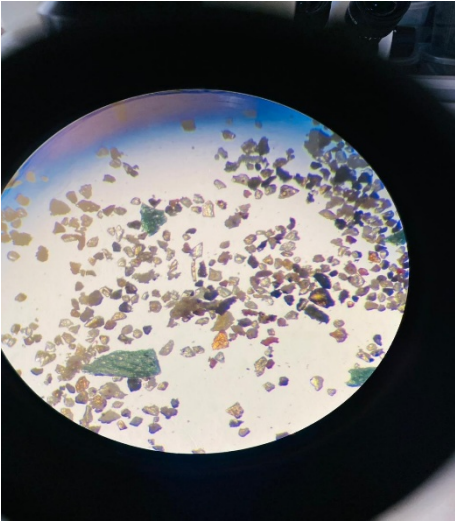
FIGURA 59. Partículas encontradas en el muestreo.



Muestra 1. Estación 4



Muestra 2. Estación 8



Muestra 3. Estación 11

Muestra 4. Estación 31

En la Figura 59, podemos diferenciar algunos patrones de PM que pueden ser provenientes de emisiones naturales y fuentes artificiales, en nuestra zona de estudio, las emisiones de partículas pueden ser ocasionadas por: polvo generado por la actividad minera, el paso de vehículos de maquinaria pesada y de transportes personales, la producción de madera y ciertos otros procesos como restos de la metalurgia y construcción y reparación de casas de la zona de estudio.

Dentro de nuestro estudio podemos destacar que las emisiones de PM se producen por la liberación de partículas minerales, debido a la interacción de los vientos con la superficie terrestre, manifestándose como emisiones que escapan y tienen la capacidad

de agruparse, seguido de su deposición (Durán Lombana & Moscoso Culma, 2018).

Siendo así que se puede encontrar:

5. Cuarzo.
6. Feldespatos.
7. Calcita
8. Dolomita.

Dentro del estudio, las partículas provienen de los procesos de combustión generados por fuentes móviles y fijas. Se considera como fuentes móviles a aquellas de mayor interés debido a que en el barrio Juan Montalvo se presenta la actividad minera y la entrada y salida de vehículos de maquinaria pesada (E4), E (8), siendo así que los COVs en el ambiente, las cuales forman parte de los principales contaminantes en la naturaleza y al ser humano. Las fuentes fijas generadoras de PM que se encuentran son las que están cerca de la zona donde se produce la actividad minera y sitios donde se realizan las construcciones de domicilios en nuestra área de interés.

5.25 Determinación de elementos encontrados en las muestras del PM mediante microscopía de barrido

En la Estación 14 se puede observar presencia de: Si, Al, Ca, Sb, Na, K, Fe. Dónde claramente el Silicio abunda alrededor de la muestra tomada. Así mismo en la Estación 22 se observa elementos como: Si, Fe, Ca, Sb, Mg, Al, Na, Co.

Haciendo una relación en ambas estaciones, el silicio tiene una mayor presencia. Debido a que, este elemento se encuentra generalmente en la corteza terrestre en forma de cuarcita, que es una roca metamórfica dura con alto contenido de cuarzo, con una composición del 90 % de Silicio. Este elemento puede causar enfermedades de las vías respiratorias, tuberculosis pulmonar, enfermedad renal crónica, cáncer de pulmón y silicosis.

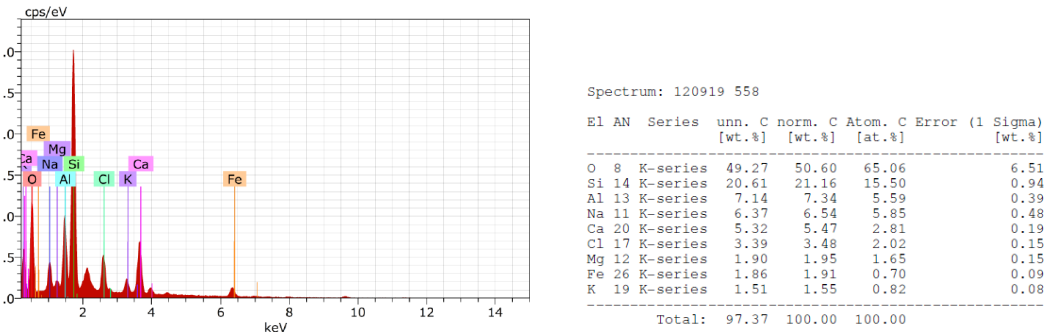
La Figura 60 presenta la morfología y la composición elemental registradas en la estación 14.

FIGURA 60. Análisis molecular estación 14 obtenido por el microscopio de barrido.



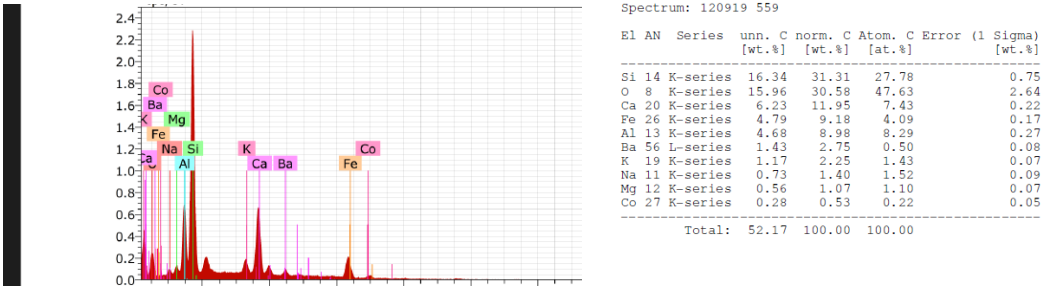
Nota: Morfología: Partículas planas irregulares, Composición: O, Si, Al, Na, Ca, Cl, Fe, K.

FIGURA 61. Reporte molecular estación N° 14, obtenido con el microscopio de barrido.



En la Figura 61, se identificó altas concentraciones de: O con un 49.27 % de Si con un 20.61 % y en menor concentración al Al con 7,14 así como también al Na con un 6.37 %, para así en mínimas cantidades encontramos al Fe,K.

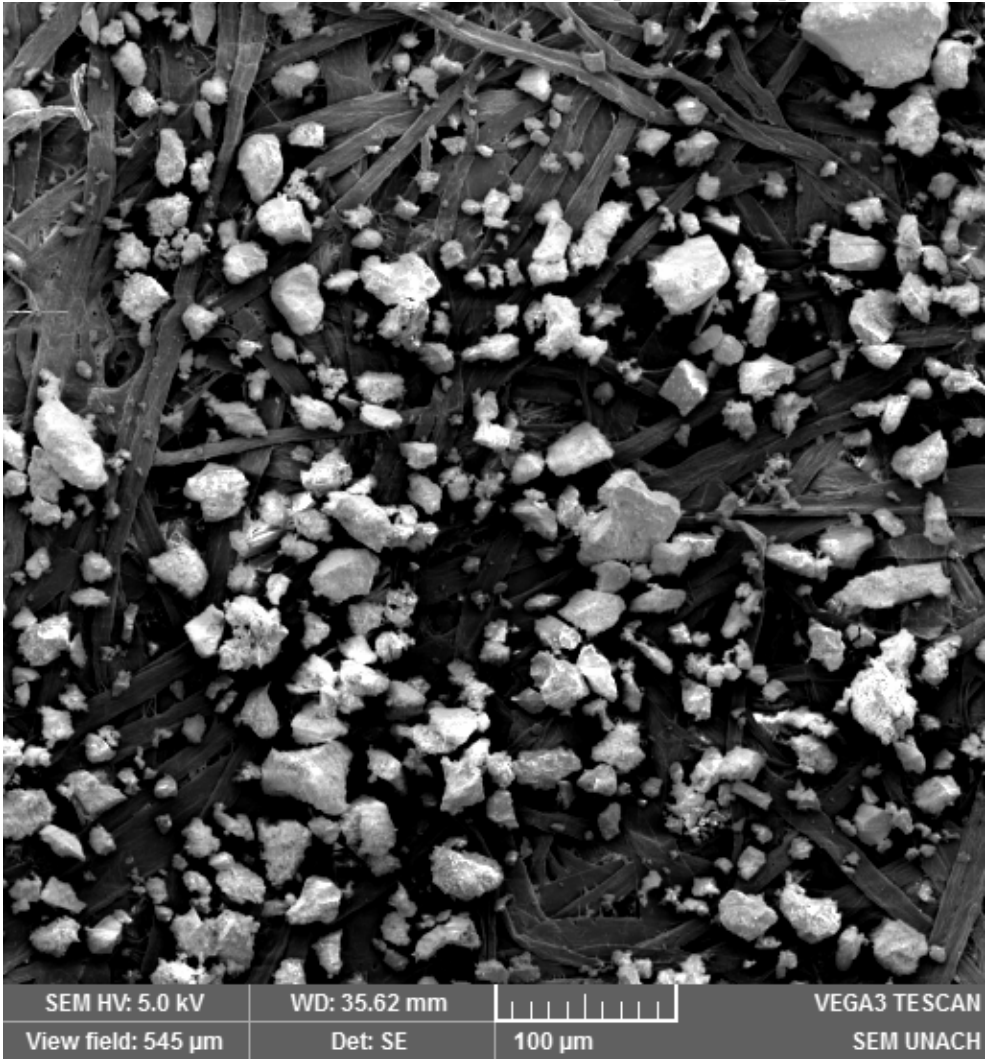
FIGURA 62. Reporte molecular estación N° 14 obtenido por el microscopio de barrido.



Tras el reporte analizado en la Figura 62, se identificó altas concentraciones de: Si con un 16.34 % de O con un 15.96 % y en menor concentración al Fe con 4.79 así como también al Al con 4.68 %, para así en mínimas cantidades encontramos al Mg y Co.

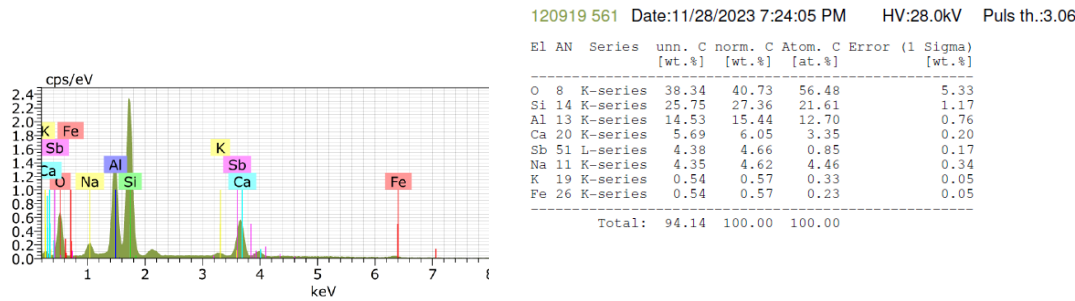
La Figura 63 muestra el análisis molecular correspondiente a la estación 22.

FIGURA 63. Análisis molecular estación N° 22 obtenido por el microscopio de barrido.

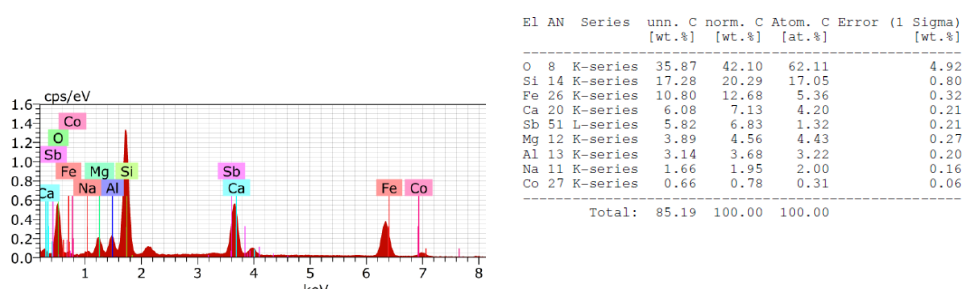


Nota: Morfología: Forma esférica irregular, Composición: O, Si, Al, Ca, Sb, Na, K, Fe.

FIGURA 64. Reporte molecular estación N° 22 obtenido por el microscopio de barrido.



Según el análisis de la Figura 64, pudimos identificar altas concentraciones de: O con un 35.87 % de Si con un 17.28 % y en menor concentración al Mg con 3.89 así como también al Al con 3.14 %, para así en mínimas cantidades encontramos al Na, Co. **FIGURA 65. Reporte molecular estación 22 obtenido por el microscopio de barrido.**



En la Figura 65, Observamos altas concentraciones de: O con un 35.87 % de Si con un 17,28 % y en menor concentración al Mg con 3.89 así como también al Al con 3.14 %, para así en mínimas cantidades encontrar al Na, Co.

5.26 Análisis geoestadístico de concentración y dispersión del PMS

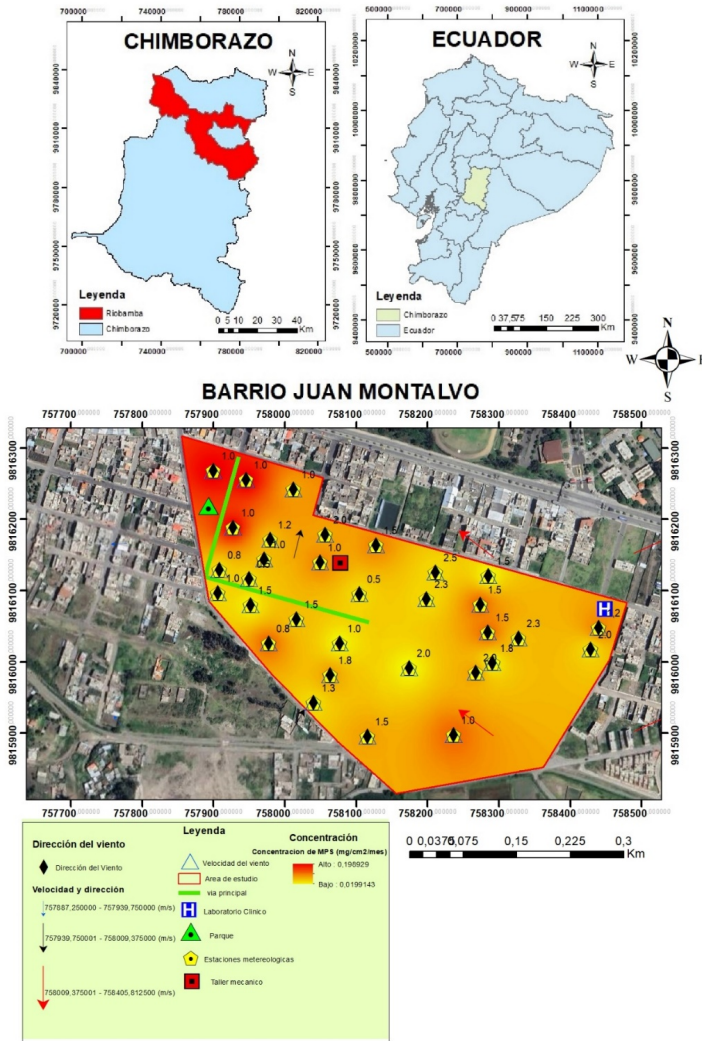
Se tomó varias fuentes de datos meteorológicos para la elaboración del mapa que nos indica la dispersión y concentración de PMS. Estos datos incluyen información sobre la velocidad y dirección del viento, con la finalidad de evaluar el comportamiento del recurso eólico durante la captación del PMS en nuestra zona de interés.

Con ayuda del Sistema de Información Geográfica (SIG), se pudo emplear la técnica de interpolación IDW el cual nos permitió estimar los valores desconocidos de la concentración del PMS en las proximidades de nuestros puntos de muestreo. Estos valores se los clasifico de dos maneras como son (Alta y Baja). El cual tuvo una asignación de colores para visualizar de mejor manera las zonas con mayor y menor presencia de

PMS.

Como se puede identificar en la Figura 66.

FIGURA 66. Mapa de concentración y dispersión del PMS.



Con el Mapa de concentración y dispersión se pudo presentar las diferentes concentraciones de PMS, teniendo en cuenta ello podemos mencionar que, en la zona norte y sur, son las áreas donde se presentan mayor presencia de PMS, esto se debe a la misma dirección del viento, como también por la presencia de vehículos de carga pesada, presencia de actividad minera y maderera y construcciones realizadas en el sector.

Resultados del barrio la libertad

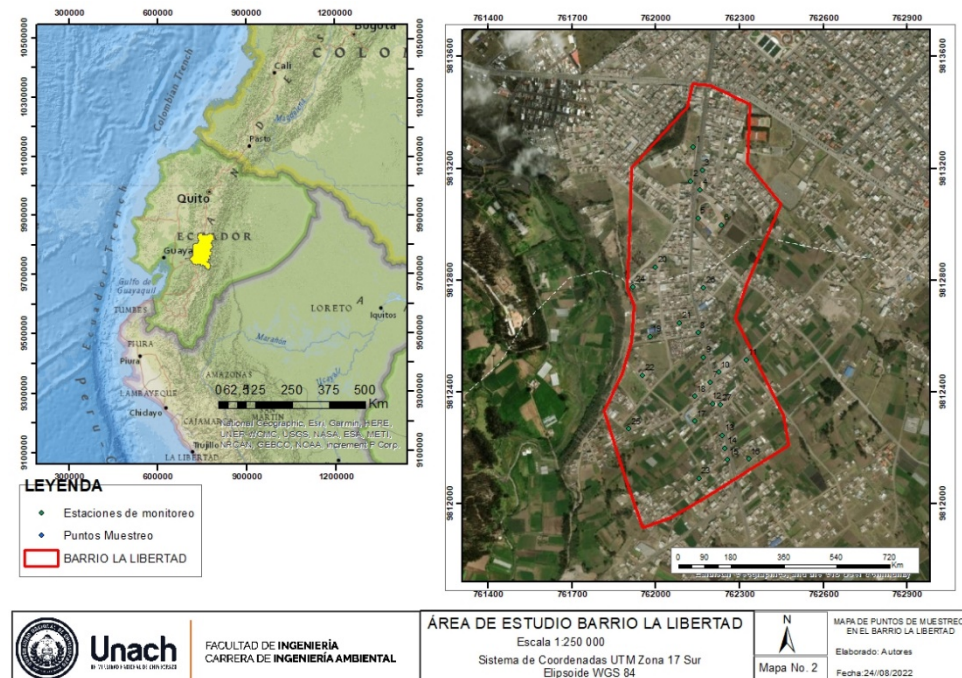
Para poder establecer las estaciones fijas en el área de estudio y el posterior análisis de PMS se realizaron reuniones con el presidente del barrio en el cual realizo el

estudio, para poder conocer más a fondo el estado actual de dicha área. Así se logró constatar algunas de las principales actividades las cuales son: elaboración artesanal de bloques, aserraderos, fertilizantes, mecánicas, entre otras actividades.

Cabe mencionar que la presente investigación forma parte del proyecto: Determinación del PMS generado por actividad antrópica en los cantones Riobamba y Chambo. Esta es una de las razones por las que se seleccionó el Barrio la Libertad cuyas actividades generan PMS que causan afección a la población aledaña.

La Figura 67 localiza los puntos seleccionados para el muestreo en el barrio La Libertad.

FIGURA 67. Puntos de muestreo



Basándose en lo anteriormente mencionado y gracias a los Sistemas de Información Geográfica (ArcGIS), se pudo delimitar el área de estudio, lo cual nos dio un total de (72,20 ha). Obtenida esta información, se procedió a implementar los 27 puntos de muestreo, los cuales fueron distribuidos de forma aleatoria, con el propósito de cubrir toda el área de estudio.

Es de suma importancia tener en cuenta que las estaciones de monitoreo fueron fijas y para su ubicación se tomaron en cuenta algunas consideraciones para obtener resultados confiables; es decir que las estaciones fijas se implementaron en lugares libres de obstáculos como podrían ser: edificaciones, áreas con árboles, tendaderos, u otras

fuentes de contaminación que puedan ocasionar perturbaciones serias en los valores obtenidos.

La Tabla 25 reúne las coordenadas UTM de los puntos seleccionados para el monitoreo.

TABLA 25. Ubicación geográfica UTM.

PUNTOS	DESCRIPCION	X	Y
1	Av. Juan Félix Proaño	762.130,995	9.813.281,310
2	Av. Juan Félix Proaño	762.120,412	9.813.159,602
3	Calles Av Juan Félix Proaño y Ucrania	762.168,037	9.813.193,116
4	Av. Juan Félix Proaño	762.159,218	9.813.120,796
5	Av. Juan Félix Proaño	762.155,690	9.813.023,782
6	Av. Juan Félix Proaño	762.236,829	9.812.995,560
7	Calles Av. Juan Félix Proaño e Islandia	762.196,612	9.812.438,170
8	Calles Av. Juan Félix Proaño y Holanda	762.151,457	9.812.613,148
9	Av. Juan Félix Proaño	762.172,623	9.812.524,248
10	Calles Av. Juan Félix Proaño y Yugoslavia	762.226,246	9.812.472,036
11	Calle Yugoslavia	762.325,024	9.812.514,370
12	Av. Juan Félix Proaño	762.206,490	9.812.357,736
13	Av. Juan Félix Proaño	762.243,179	9.812.247,669
14	Av. Juan Félix Proaño	762.248,823	9.812.198,280
15	Av. Juan Félix Proaño	762.257,290	9.812.157,358
16	Calle sin nombre	762.336,312	9.812.161,591
17	Calle sin nombre	762.141,579	9.812.294,236
18	Calles Av. Juan Félix Proaño e Islandia	762.138,757	9.812.384,547
19	Calles Av. Juan Félix Proaño y Holanda	761.979,301	9.812.599,037
20	Av. Austria	762.001,878	9.812.847,393
21	Calles Av. Austria y Austria	762.083,723	9.812.644,192
22	Av. Austria	761.952,489	9.812.457,925
23	Av. Islandia	762.155,690	9.812.089,624
24	Av. Austria	761.921,445	9.812.775,426
25	Av. Italia	761.905,923	9.812.268,836
26	Av. Juan Félix Proaño	762.172,623	9.812.771,192
27	Av. Juan Félix Proaño	762.233,301	9.812.354,914

5.27 Análisis de la concentración de PMS en el Barrio la Libertad de Rimbamba

Para poder determinar la concentración de PMS se procedió a realizar el cálculo de los valores obtenidos en las 27 estaciones de monitoreo, mediante el valor del área

del papel filtro el cual sirvió de base para los cálculos de todas las estaciones.

La Tabla 26 resume los parámetros utilizados para calcular las concentraciones de PMS.

TABLA 26. Valores utilizados para la obtención de datos.

Área del papel filtro (cm ²)	Radio del papel filtro (cm)
58,088	4,3

En la Tabla 27 se evidencian los valores de PMS registrados durante el mes de monitoreo (4 de abril al 4 de mayo del 2023). La concentración más alta fue 2,6202 mg/cm²/mes, registrado en la estación 4, ubicada en el sector de la vía principal del barrio, mientras que la concentración más baja de PMS fue de 0,1963 mg/cm²/mes, registrado en la estación 8 ubicado en las Calles Av. Juan Félix Proaño y Holanda. Durante todo el mes de monitoreo se pudo obtener un promedio de 0,6256 mg/cm²/mes.

Estos valores altos se deben al alto tráfico vehicular, principalmente la circulación excesiva del transporte de buses urbanos y rurales, lo que sobrepasa los valores permisibles establecidos por la OMS; además según (Bermeo Jimbo & Vega Bastidas, 2018) la gran acumulación de contaminantes en zonas centrales de las ciudades se debe a factores como el aumento de temperatura, insolación y construcciones que impiden la circulación del aire, aspectos que son importantes para conocer la calidad el aire y saber riesgo que corren las personas al estar expuesto a este tipo de contaminante (PMS).

TABLA 27. Concentración de PMS en los puntos de monitoreo.

ESTACIÓN	PESO INICIAL DEL PAPEL		PMS mg/cm ² /mes
	(mg)	PESO FINAL DEL PAPEL (mg)	
E1	481,2	507,5	0,4528
E2	480,5	522	0,7144
E3	481,9	527	0,7764
E4	458,4	610,6	2,6202
E5	475,6	530,3	0,9417
E6	486,2	525,9	0,6834
E7	482,7	509	0,4528
E8	476	487,4	0,1963
E9	487,7	539,2	0,8866
E10	456,4	478,1	0,3736
E11	476,9	490,3	0,2307
E12	463,6	480,4	0,2892
E13	480,7	500,4	0,3391
E14	476,5	516,1	0,6817
E15	484,2	533	0,8401
E16	476,7	575,1	1,6940
E17	454,5	477,3	0,3925

ESTACIÓN	PESO INICIAL DEL PAPEL		PMS mg/cm ² /mes
	(mg)	PESO FINAL DEL PAPEL (mg)	
E18	472,4	496,5	0,4149
E19	460,1	483,7	0,4063
E20	469,2	491,6	0,3856
E21	463	487,5	0,4218
E22	475,2	496,8	0,3718
E23	488,8	507,8	0,3271
E24	459,8	492,1	0,5561
E25	472,5	498,2	0,4424
E26	467,2	498,5	0,5388
E27	488,6	515,3	0,4596

5.28 Comparación de valores según la OMS y el Acuerdo Ministerial N°97/A

La Tabla 28 presenta la comparación de los valores obtenidos con el límite permisible de la OMS.

TABLA 28. Comparación de los valores según la OMS.

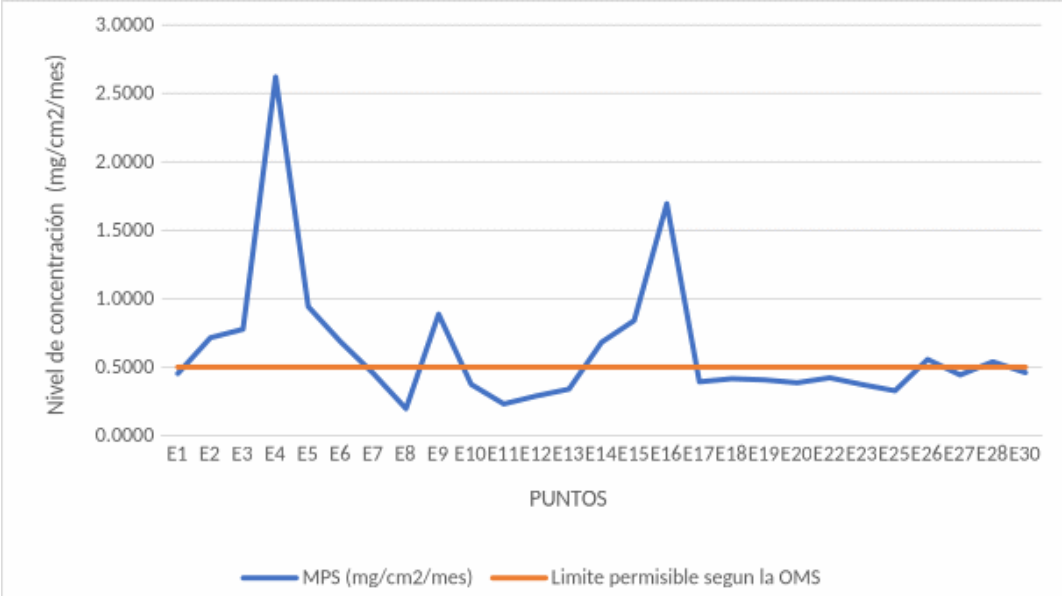
ESTACIÓN	PMS mg/cm ² /mes	Limite permisible según la OMS	CUMPLE
E1	0,4528	0,5 mg/cm ² /mes	SI
E2	0,7144		NO
E3	0,7764		NO
E4	2,6202		NO
E5	0,9417		NO
E6	0,6834		NO
E7	0,4528		SI
E8	0,1963		SI
E9	0,8866		NO
E10	0,3736		SI
E11	0,2307		SI
E12	0,2892		SI
E13	0,3391		SI
E14	0,6817		NO
E15	0,8401		NO
E16	1,6940		NO
E17	0,3925		SI
E18	0,4149		SI
E19	0,4063		SI
E20	0,3856		SI
E21	0,4218		SI
E22	0,3718		SI
E23	0,3271		SI
E24	0,5561		NO
E25	0,4424		SI

ESTACIÓN	PMS mg/cm ² /mes	Limite permisible según la OMS	CUMPLE
E26	0,5388		NO
E27	0,4596		SI

Como se puede observar en la tabla son 16 puntos los que cumplen con los LMP según la OMS de PMS

La Figura 68 sintetiza la comparación de los valores de PMS con el límite permisible de la OMS.

FIGURA 68. Comparación de valores de PMS con LMP según la OMS.



Elaboración propia a partir de los datos presentados en las tablas del capítulo.

A continuación, en la Tabla 29 se muestra la comparación de los valores de la Tabla 27 con los límites permisibles de la normativa de calidad ambiental de Ecuador, establecidos en el Acuerdo Ministerial N.º 97/A.

TABLA 29. Comparación de valores de PMS según el AM N°97/A.

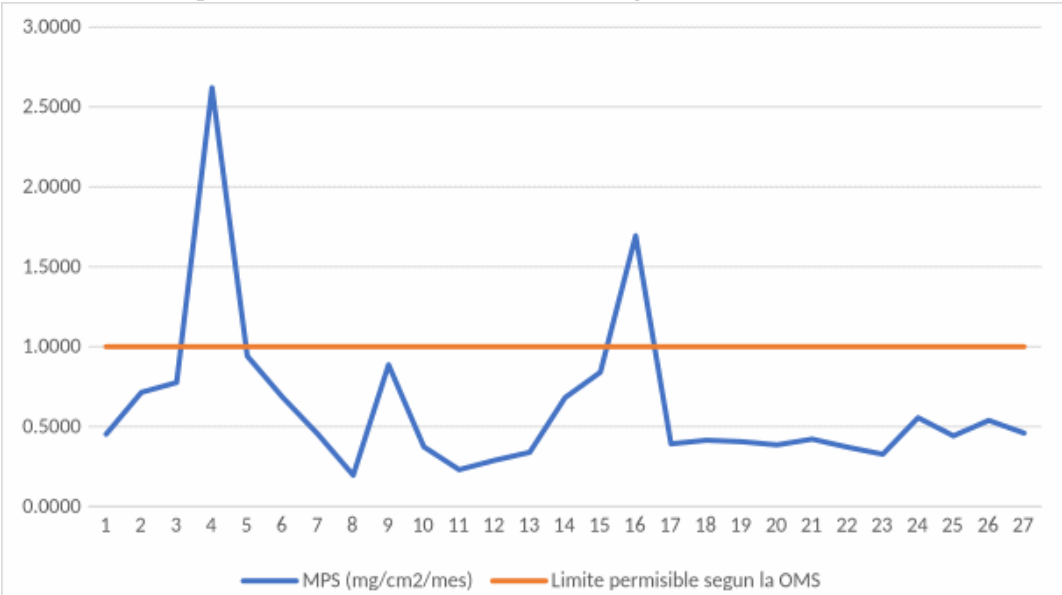
ESTACIÓN	MP	Limite permisible según el AM N°97/A	CUMPLE
E1	0,4528		SI
E2	0,7144		SI
E3	0,7764		SI
E4	2,6202		NO
E5	0,9417		SI
E6	0,6834		SI
E7	0,4528		SI
E8	0,1963		SI
E9	0,8866		SI
E10	0,3736		SI

ESTACIÓN	MP	Limite permisible según el AM N°97/A	CUMPLE
E11	0,2307		SI
E12	0,2892		SI
E13	0,3391		SI
E14	0,6817		SI
E15	0,8401		SI
E16	1,6940		NO
E17	0,3925		SI
E18	0,4149		SI
E19	0,4063		SI
E20	0,3856		SI
E21	0,4218		SI
E22	0,3718		SI
E23	0,3271		SI
E24	0,5561		SI
E25	0,4424		SI
E26	0,5388		SI
E27	0,4596		SI

De igual manera revisando los límites permisibles del ACUERDO MINISTERIA N°97/A que es de 1 ($\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$) se puede observar que únicamente dos puntos se encuentran fuera de los rangos los cuales son: **punto 4** ubicado en la calle Av. Juan Félix Proaño con 2,6202 ($\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$) y el **punto 16** con 1,6940 ($\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$). Mientras que los demás puntos se encuentran dentro de los límites máximos permisibles.

La Figura 69 presenta la comparación de esos valores con el límite del Acuerdo Ministerial N.º 97/A.

FIGURA 69. Comparación de valores de PMS con LMP según AM 97/A.



Elaboración propia a partir de los datos presentados en las tablas del capítulo.

Análisis estadístico de concentración de PMS

Los datos obtenidos de concentración media de PMS registrada en el área de estudio, así como los valores del error, desviación estándar y varianza se muestran en la Tabla 30. El análisis estadístico descriptivo de PMS obtenido en las 27 estaciones de monitoreo mostro una media de 0,6256; con una desviación estándar de 0,500; un valor mínimo de 0,1963 y un valor máximo de 2,6202.

TABLA 30. Estadística descriptiva de PMS en el barrio la Libertad

Área de estudio	N	Media	Error estándar	SD	Varianza	Mínimo	Máximo
Barrio la Libertad	27	0,625	0,492	0,5001	0,250	0,196	2,620

Análisis cualitativo y caracterización morfológica del PMS

Para proceder con la caracterización morfológica de PMS y conocer la forma y tamaño de las partículas sedimentadas en cada uno de los 27 puntos de monitoreo, se utilizó el microscopio óptico, donde se obtuvo imágenes de 100x, 40x y 10x.

FIGURA 70. PMS Punto 4

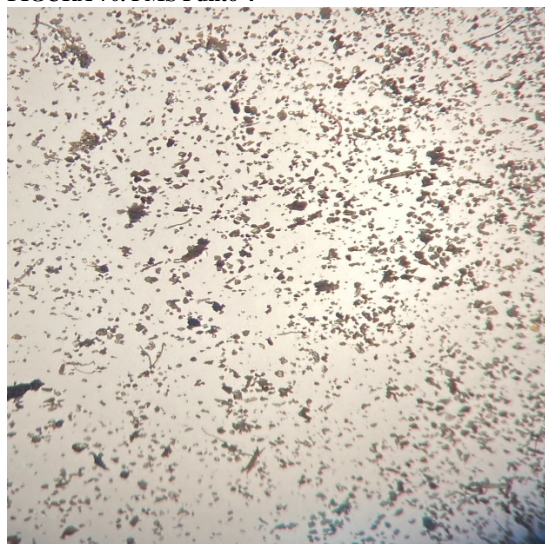
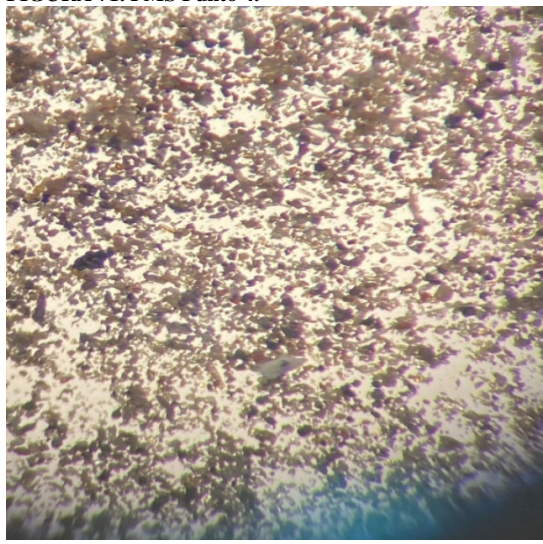


FIGURA 71. PMS Punto 4.



Las Figuras 70 y 71 representan el PMS obtenido en el papel filtro del **punto 4**, donde se puede evidenciar rastros de asfalto que se levanta de los automóviles que llegan con frecuencia al lugar, debido a que en este sitio se encuentra un Colegio y además es una vía muy transcurrida debido a que conecta con otras comunidades. Los valores de concentración son altos, debido a que existe gran flujo de vehículos.

Este material microscópico en grandes cantidades puede ocasionar afecciones a la salud de las personas e incluso estudiantes que viven en esta zona. De acuerdo con los resultados obtenidos en el laboratorio sobrepasa los límites permisibles expuestos por la OMS y a su vez también sobrepasa los límites permisibles expuestos por parte del ACUERDO MINISTERIA N°97/A.

FIGURA 72. PMS Punto 16

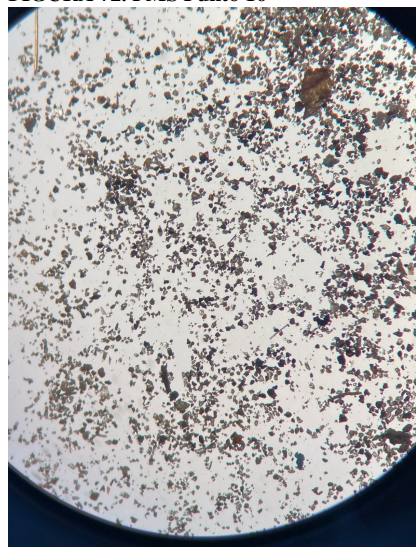
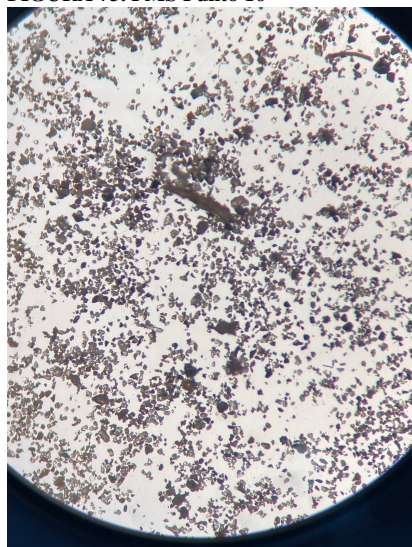


FIGURA 73. PMS Punto 16



Las Figuras 72 y 73 representan el PMS obtenido en el papel filtro del **punto 16**. Los rastros de PMS de este punto pueden provenir del mal estado de la vía y de actividades como la agricultura. En este punto existe una gran afluencia de vehículos debido a que existe una estación de servicio. Los valores de concentración son altos debido a que existe un mayor número de actividades a los alrededores y a esto se suma el mal estado de la vía.

Este material microscópico en grandes cantidades puede ocasionar afecciones a la salud de las personas e incluso estudiantes que viven en esta zona. De acuerdo con los resultados obtenidos en el laboratorio sobrepasa los límites permisibles expuestos por la OMS y a su vez también sobrepasa los límites permisibles expuestos por parte del ACUERDO MINISTERIA N°97/A.

FIGURA 74. PMS Punto 24

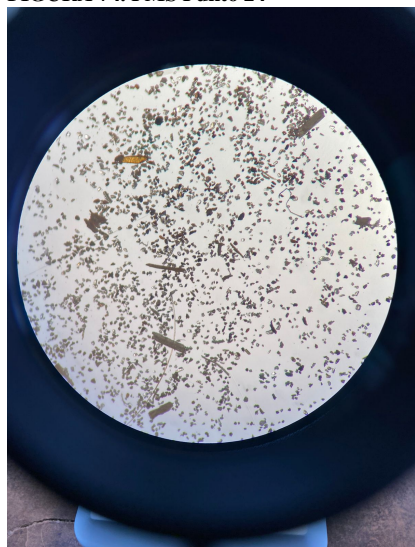
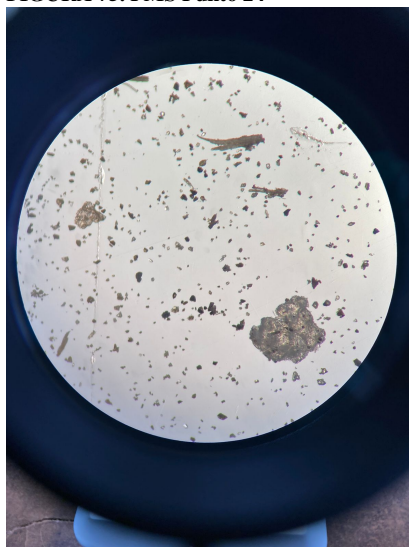


FIGURA 75. PMS Punto 24



Las Figuras 74 y 75 representan el PMS obtenido en el papel filtro del **punto 24**. Estos rastros pueden provenir del mal estado de las vías, las construcciones aledañas. Los valores de concentración son medios debido a que existe un mayor número de actividades antropogénicas en los alrededores.

Este material microscópico en grandes cantidades puede ocasionar afecciones a la salud de las personas e incluso estudiantes que viven en esta zona. De acuerdo con los resultados obtenidos en el laboratorio sobrepasa los límites permisibles expuestos por la OMS y está dentro de los parámetros permisibles expuestos por parte del ACUERDO MINISTERIA N°97/A.

FIGURA 76. PMS Punto 9

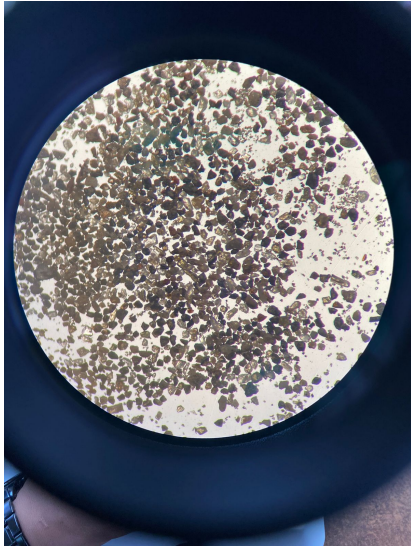
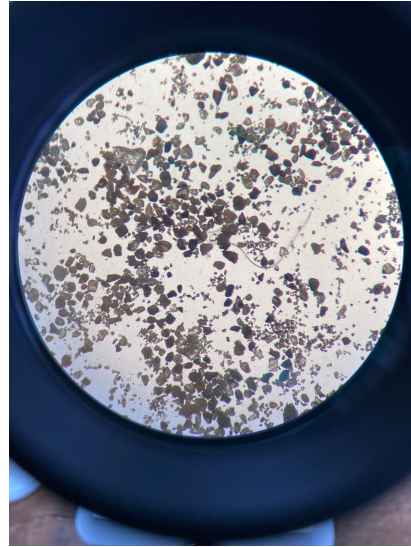


FIGURA 77. PMS Punto 9



Las Figuras 76 y 77 representan el PMS obtenido en el papel filtro del **punto 9**. Estos rastros pueden provenir de las actividades cercanas al área de estudio tales como: aserraderos, mecánicas etc.; en este punto se evidencia una gran afluencia de vehículos al tratarse de una vía principal y encontrarse cercana a dos instituciones educativas. Los valores de concentración son medios debido a que existe un mayor número de empresas en actividad en sus alrededores.

Este material microscópico en grandes cantidades puede ocasionar afecciones a la salud de las personas e incluso estudiantes que viven en esta zona. De acuerdo con los resultados obtenidos en el laboratorio sobrepasa los límites permisibles expuestos por la OMS y está dentro de los parámetros permisibles expuestos por parte del ACUERDO MINISTERIA N°97/A.

FIGURA 78. PMS Punto 20

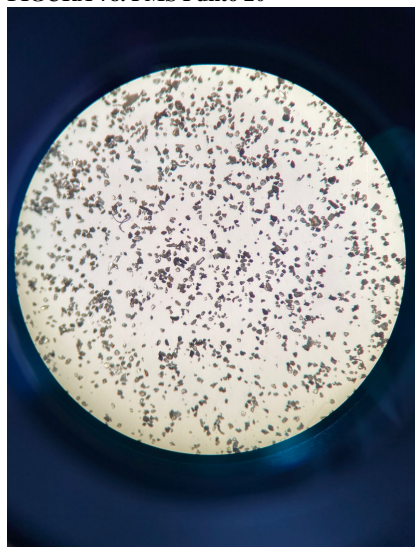
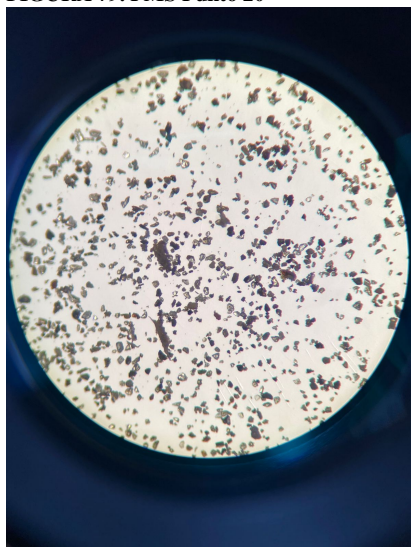


FIGURA 79. PMS Punto 20



Las Figuras 78 y 79 representan el PMS obtenido en el papel filtro del **punto 20**. Los rastros de este punto pueden provenir de la actividad de una bloquera cerca del punto y principalmente del mal estado de las vías, en este sector. Los valores de concentración son medios debido a que existe actividades antropogénicas en sus alrededores.

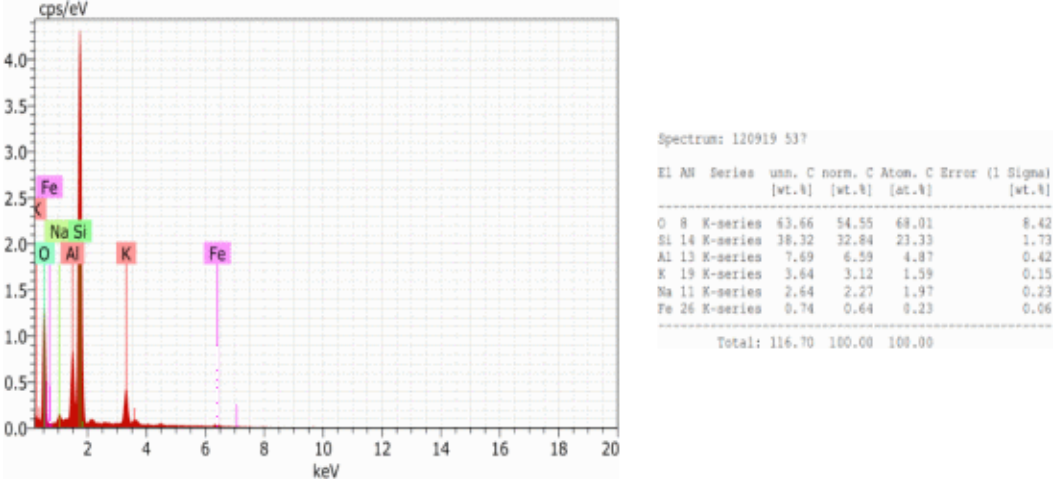
Este material microscópico en grandes cantidades puede ocasionar afecciones a la salud de las personas e incluso estudiantes que viven en esta zona. De acuerdo con los resultados obtenidos en el laboratorio sobrepasa los límites permisibles expuestos por la OMS y está dentro de los parámetros permisibles expuestos por parte del ACUERDO MINISTERIA N°97/A.

Análisis molecular

Caracterización Química

Dentro de la composición química del PMS, se obtuvo mediante la técnica de espectroscopia de fotones rayos X dispersados (EDX), en el laboratorio de microscopia de la UNACH, se pudo examinar dos muestras significativas del área de estudio.

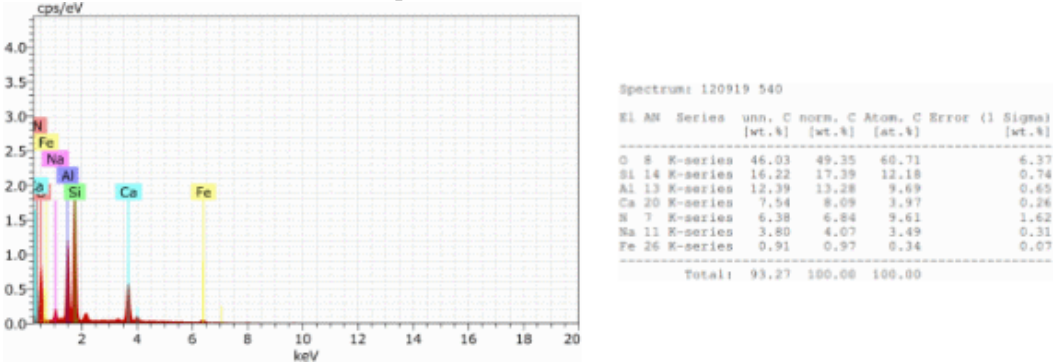
FIGURA 80. Caracterización física química Punto N°4



Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia.

En la Figura 80, se indica el análisis químico de la muestra del punto de monitoreo E4, el cual nos arroja valores que se encuentran en porcentajes de concentración química de Oxígeno (O) y Silicio (Si), con valores de 63,66 % y 38,32 % respectivamente; seguido de Aluminio (Al), Potasio (K) y Sodio (Na) con valores de 7,69 %, 3,64 % y 2,64 % respectivamente; y en cantidades inferiores el Hierro (Fe), con un valor de 0,74 %.

FIGURA 81. Caracterización físico química Punto N°16.



Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia.

En la Figura 81, se indica el análisis químico de la muestra del punto de monitoreo E16, el cual nos arroja valores que se encuentran en porcentajes de concentración química de Oxígeno (O), Silicio (Si) y Aluminio (Al), con valores de 46,03 %, 16,22 % y 12,39 % respectivamente; Calcio (Ca), Nitrógeno (N) y Sodio (Na) con valores de 7,54 %, 6,38 % y 3,80 % respectivamente; y en cantidades inferiores el Hierro (Fe), con un valor de 0,91 %.

Las partículas que contienen Ca, son las dominantes en el PM proveniente de vehículos con motores de combustión interna; éste compuesto se encuentra en todas las muestras y se debe a la cercanía de las muestras a vías donde transitan vehículos; los metales como el Al, Si y Ca son materiales de la composición del suelo, el Fe está relacionados con las emisiones vehiculares, mientras que el K es originado por procesos industriales; el Fe es un elemento mayoritario, que puede provenir de la Re-suspensión del polvo y de la combustión de vehículos a diésel.

Caracterización morfológica

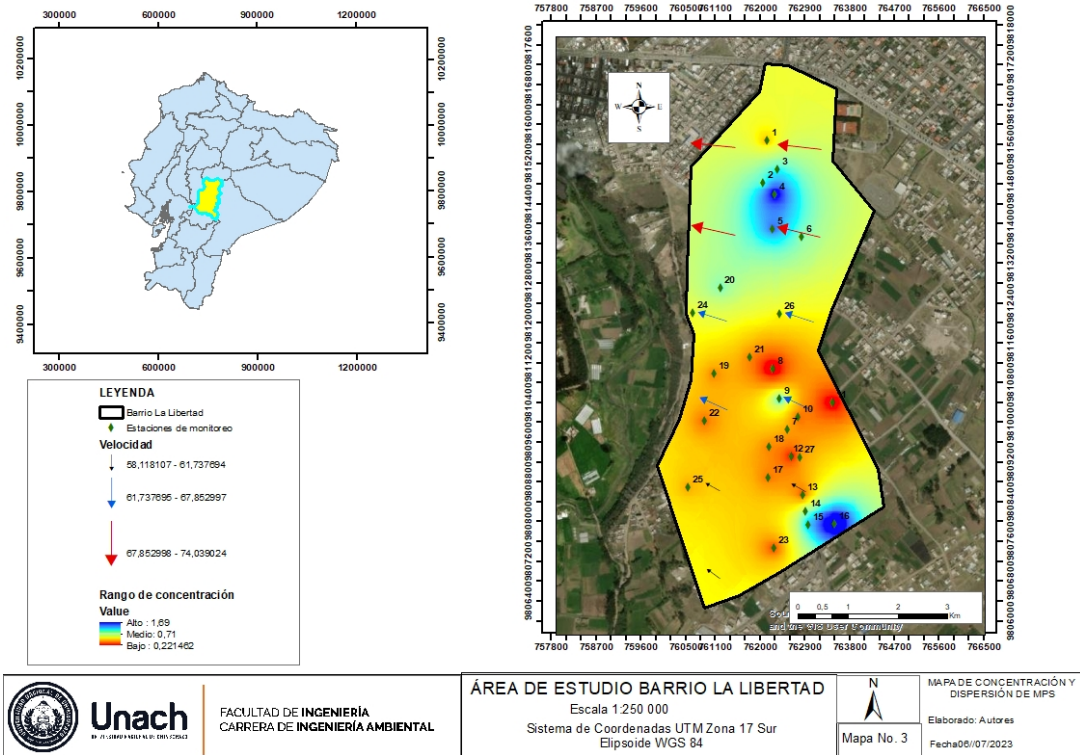
Las partículas sedimentadas en el papel filtro fueron analizadas morfológicamente con el uso del microscopio electrónico de barrido; se realizaron cortes en el papel filtro de 1cm², que fueron metalizados con oro, la observación se realizó en el microscopio electrónico de barrido, donde se tomaron imágenes a 200x, 100x, 50x, 20x y 10x, en donde se puede identificar la forma y el tamaño de las partículas sedimentadas.

Simulación de Dispersión de PMS

El mapa de dispersión de PMS se generó mediante SIG “Sistemas de Información Geográfica” del barrio La Libertad de la ciudad de Riobamba, mediante variables de velocidad y dirección del viento que fueron obtenidas de las tres estaciones meteorológicas cercanas a la zona de estudio:

1. Estación Meteorológica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ES-POCH)
2. Estación meteorológica de Tunshi
3. Estación meteorológica de San Juan

FIGURA 82. Mapa de concentración y dispersión de PMS en el Barrio la Libertad de la ciudad de Riobamba



Como se observa en la Figura 82 en el periodo de abril-mayo la dirección del viento fue en sentido noroeste, y los distintos rangos de concentración se distinguen en intervalos de colores. Los valores bajos se pueden distinguir con el color rojo en los puntos de muestreo 8, 10, 12, 13, 17, 18, 21, esto se debe a que en ese sector no existe ninguna actividad antrópica y solo existe el flujo vehicular. Los valores medios-altos se van a distinguir con los colores amarillo-verde y son los puntos de muestreo 1, 6, 7, 9, 11, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 27, esto se debe a que en estos sectores ya existe una mayor presencia de vehículos y empresas como mecánicas, pocas bloqueras etc. Los valores más altos se pueden distinguir por el color azul y son los puntos de muestreo 2, 3, 4, 5, 14, 15, 16, en estos sectores se encuentran una mayor presencia de vehículos, vías que no se encuentran asfaltadas e industrias que generan PMS en mayor cantidad debido a sus actividades por la fabricación de hormigón, aserraderos, bloqueras, minas, mecánicas, etc. Por lo mencionado anteriormente podemos señalar que el valor más bajo se concentró en el punto de muestreo 8 con $0,196 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ y el valor más alto se encontró en el punto de muestreo 4 con $2,62 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$. Este último valor de concentración nos representa un problema significativo para los habitantes aledaños en la parte norte

del Barrio la Libertad, la misma que encontramos alto tránsito peatonal y presencia de Escuelas y colegios.

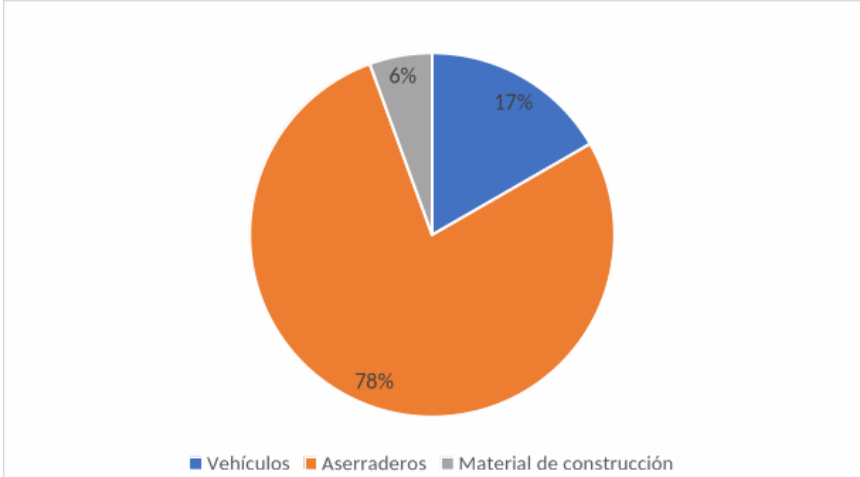
Resultados barrio la esperanza

1. Encuestas

Pregunta 1: ¿A qué se debe la presencia de PM (polvo) en el sector?

Los resultados de esta pregunta se presentan en la Figura 83.

FIGURA 83. Factores para la presencia de PM (polvo) en el sector



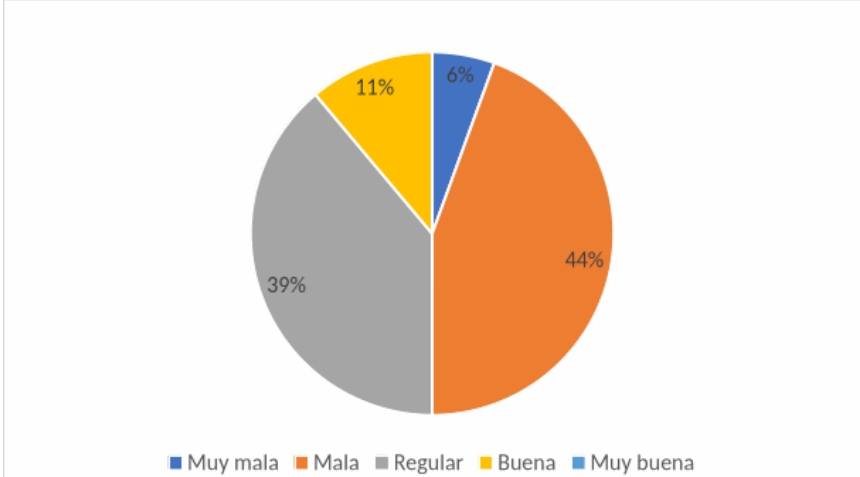
Elaboración propia a partir de los datos presentados en las tablas del capítulo.

De las 18 personas encuestadas, el 78 %, afirma que la presencia de PM (polvo), proviene de los aserraderos existentes en el sector, un 17 %, menciona que procede de los vehículos que transitan en la avenida principal y un 5 %, de un centro de acopio de material de construcción.

Pregunta 2: ¿Cómo calificaría la calidad del aire en el barrio "La Esperanza", debido a la presencia de polvo de madera generado por los aserraderos?

La distribución de las respuestas se muestra en la Figura 84.

FIGURA 84. Calidad del aire en el barrio "La Esperanza" debido al polvo de madera generado por los aserraderos, según moradores



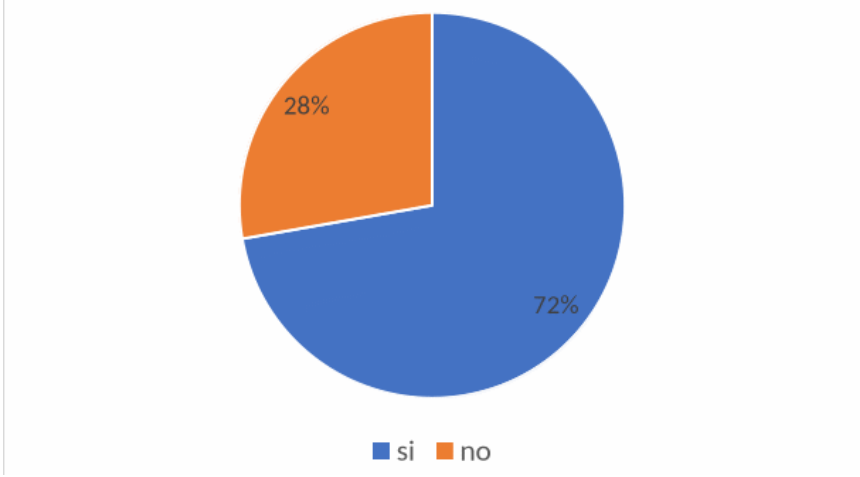
Elaboración propia a partir de los datos presentados en las tablas del capítulo.

El 39 %, 44 % y 6 % de los moradores encuestados han presenciado que la calidad del aire que respiran, es regular, mala y muy mala, respectivamente, de acuerdo al tiempo de residencia en el sector, y tan solo el 11 %, manifiesta que es buena.

Pregunta 3: ¿Cree usted que la calidad del aire por la presencia del polvo de madera puede afectar su salud?

La Figura 85 presenta la percepción de los moradores sobre la afectación a la salud.

FIGURA 85. Afectación a la salud de los moradores por la presencia de polvo de madera



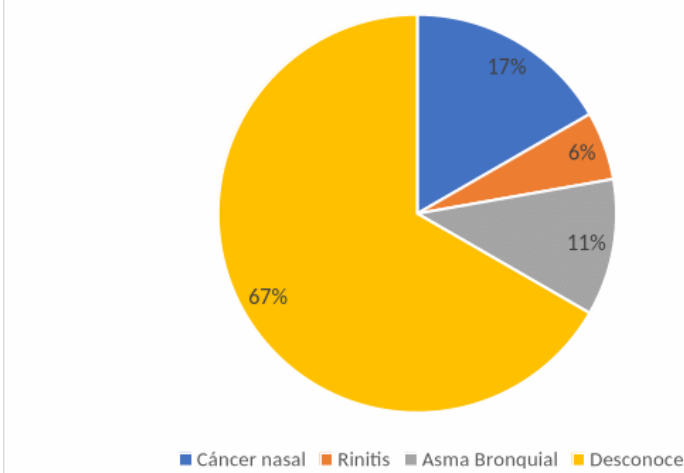
Elaboración propia a partir de los datos presentados en las tablas del capítulo.

Los moradores del Barrio "La Esperanza", en su gran mayoría están conscientes que el inhalar polvo de madera es perjudicial para su salud, a este grupo pertenece el

72 %, sin embargo, existe un pequeño grupo correspondiente al 28 %, que desconoce sobre los efectos que produce este tipo de PM.

Pregunta 4: De acuerdo a su criterio: ¿Cuáles de las siguientes enfermedades puede ser producida por la exposición al polvo de madera?

FIGURA 86. Enfermedades producidas por la exposición al polvo de madera, según moradores



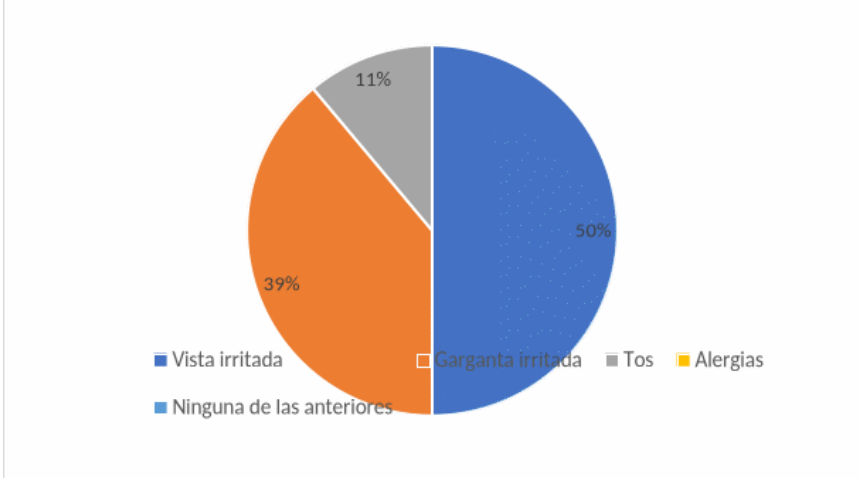
Elaboración propia a partir de los datos presentados en las tablas del capítulo.

A pesar de que la gran mayoría de moradores están conscientes del daño que produce el polvo de madera, así mismo, las personas que desconocen los tipos de enfermedades que produce la exposición a dicho material es elevada, correspondiente al 67 %, y tan solo el 17 %, 11 % y 5 %, mencionaron enfermedades como el cáncer nasal, el asma bronquial y la rinitis, respectivamente.

Pregunta 5: ¿Ha padecido alguno de los siguientes síntomas, por la presencia de polvo de madera en el sector?

La Figura 87 resume los síntomas reportados por los moradores.

FIGURA 87. Síntomas padecidos en los moradores por la presencia de polvo de madera en el sector



Elaboración propia a partir de los datos presentados en las tablas del capítulo.

Del total de personas encuestadas, todas han padecido algún tipo de síntoma por la presencia de polvo de madera durante el tiempo de residencia en el sector, sin embargo, el 50 % de los moradores tuvieron problemas de vista irritada, así como un 39 % de garganta irritada y un 11 %, ha presentado algún tipo de tos, al inhalar casualmente el particulado.

2. Material particulado volátil

Los valores de concentración fueron obtenidos por el equipo DustTrak™ II del PMV de 2,5 μm , 4 μm y 10 μm , en el periodo octubre-noviembre de 2017 (23 de octubre al 10 de noviembre), para lo cual se dividió el área de estudio en 6 zonas (Figura 88), cada zona cuenta con 13 puntos de monitoreo, dándonos un total de 78 (Figura 89), con el objetivo de que el monitoreo sea lo más ordenado posible y poder obtener mejores resultados que reflejen la realidad que vive el sector, los resultados se presentan en las Tablas 31, 32 y 33, respectivamente.

FIGURA 88. Zonificación del área de estudio



FIGURA 89. Puntos de monitoreo de PMV

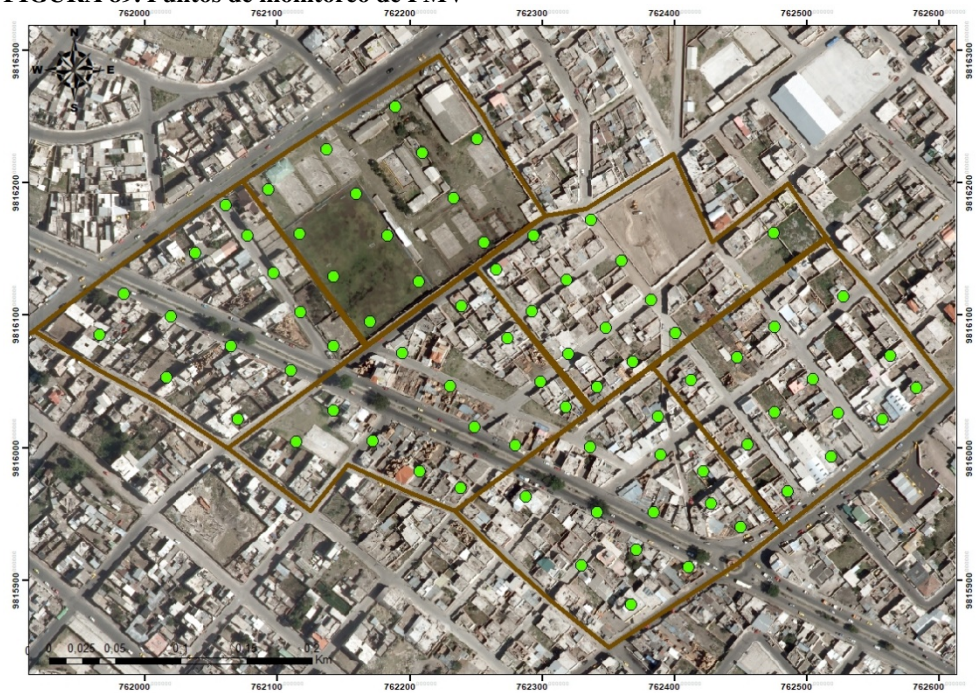


TABLA 31. Datos de PM_{2,5} µm, en cada zona a diferente horario

PM _{2,5} µm (µg/m ³)																		
	Zona 1			Zona 2			Zona 3			Zona 4			Zona 5			Zona 6		
Día	07H00	12H00	15H00	07H00	12H00	15H00	07H00	12H00	15H00	07H00	12H00	15H00	07H00	12H00	15H00	07H00	12H00	15H00
1	29	50	4	4	3	3	9	14	2	28	10	7	23	20	2	27	23	12
2	19	28	27	4	4	5	6	16	8	12	8	6	2	21	2	8	11	8
3	5	16	12	3	5	12	2	49	18	3	13	9	8	23	10	7	2	6
4	7	17	21	3	8	4	10	13	4	2	9	7	5	24	6	9	5	8
5	12	50	18	9	7	9	10	17	5	10	48	14	5	50	12	11	7	6
6	28	42	9	13	19	16	5	19	4	10	32	11	12	22	13	22	8	8
7	5	32	27	12	20	3	6	20	2	2	12	8	9	23	14	9	22	4
8	5	41	12	6	11	7	5	13	10	2	9	9	5	24	5	8	13	4
9	21	50	14	24	14	4	8	16	9	10	20	11	15	20	12	11	11	14
10	20	49	6	10	3	2	4	49	5	8	5	5	13	21	6	7	8	8
11	10	38	17	10	12	12	9	14	2	12	11	5	9	24	5	10	5	4
12	20	50	15	5	26	16	3	12	5	5	6	8	9	19	10	9	5	5
13	9	48	15	8	9	8	8	18	8	6	29	12	5	22	9	10	10	5

TABLA 32. Datos de PM₄ µm, en cada zona a diferente horario

PM ₄ µm (µg/m ³)																		
	Zona 1			Zona 2			Zona 3			Zona 4			Zona 5			Zona 6		
Día	07H00	12H00	15H00	07H00	12H00	15H00	07H00	12H00	15H00	07H00	12H00	15H00	07H00	12H00	15H00	07H00	12H00	15H00
1	35	67	13	5	14	14	5	19	12	12	22	8	13	25	7	14	15	18
2	14	34	18	6	5	4	11	18	8	7	15	7	8	13	8	35	16	7
3	7	41	10	4	36	9	5	55	9	34	11	10	30	60	24	12	10	9
4	9	65	22	4	14	20	15	11	28	8	5	8	9	25	8	11	11	7
5	9	23	9	13	16	12	9	12	10	34	10	9	10	16	19	13	29	14
6	37	67	17	3	14	20	10	65	5	9	12	19	9	12	12	17	19	18
7	9	45	22	7	5	5	10	19	28	9	49	9	30	10	15	12	15	6
8	15	11	11	5	36	10	7	14	8	15	22	10	8	60	6	10	16	15
9	23	19	35	9	25	3	7	24	11	11	19	9	10	20	13	12	13	10
10	37	30	10	9	17	25	15	12	12	11	9	19	10	25	24	12	12	10
11	18	21	15	13	10	5	9	65	9	10	10	9	15	15	5	35	17	15
12	13	27	12	3	7	25	7	10	12	9	11	7	11	17	19	17	29	13
13	12	66	35	9	9	11	6	12	9	10	49	10	7	13	16	12	11	8

TABLA 33. Datos de PM₁₀ µm, en cada zona a diferente horario

PM ₁₀ µm (µg/m ³)																		
	Zona 1			Zona 2			Zona 3			Zona 4			Zona 5			Zona 6		
Día	07H00	12H00	15H00	07H00	12H00	15H00	07H00	12H00	15H00	07H00	12H00	15H00	07H00	12H00	15H00	07H00	12H00	15H00
1	15	79	7	5	12	15	3	2	4	12	7	8	2	8	9	7	17	6
2	11	62	43	19	3	10	5	22	7	7	6	5	36	7	8	9	12	2
3	12	15	15	5	12	32	19	72	17	10	15	25	4	30	29	4	16	22
4	20	16	28	6	42	6	3	8	35	40	16	9	12	21	7	15	9	5

PM ₁₀ µm (µg/m³)																		
5	13	82	20	14	34	7	8	13	8	2	55	10	12	64	19	6	8	8
6	45	55	5	12	32	30	19	42	2	12	12	10	19	9	8	40	35	22
7	10	29	12	8	5	11	7	16	35	12	45	14	3	8	29	9	17	8
8	11	42	15	7	10	9	11	72	11	4	10	25	12	7	5	18	15	7
9	43	39	12	19	17	8	12	20	10	14	55	14	19	18	14	14	35	16
10	45	50	5	7	5	32	6	55	9	30	17	2	36	57	11	8	7	2
11	13	47	43	5	42	12	5	9	17	40	39	10	5	6	12	40	10	7
12	11	82	8	6	15	9	5	17	29	7	14	7	18	64	5	10	5	7
13	10	79	18	11	22	11	10	13	10	3	12	11	12	18	12	12	12	8

Autor: Fuentes.

3. Concentración de PMV en el Barrio “La Esperanza”

Con los datos anteriores, se obtiene un promedio diario de las 6 zonas, de todos los días, de cada hora de monitoreo del periodo octubre-noviembre, para PM_{2,5}, PM₄ y PM₁₀, dándonos los siguientes resultados y comparándolos con los LMP de la OMS y la legislación ecuatoriana, para los 2 minutos de muestreo que se realizó.

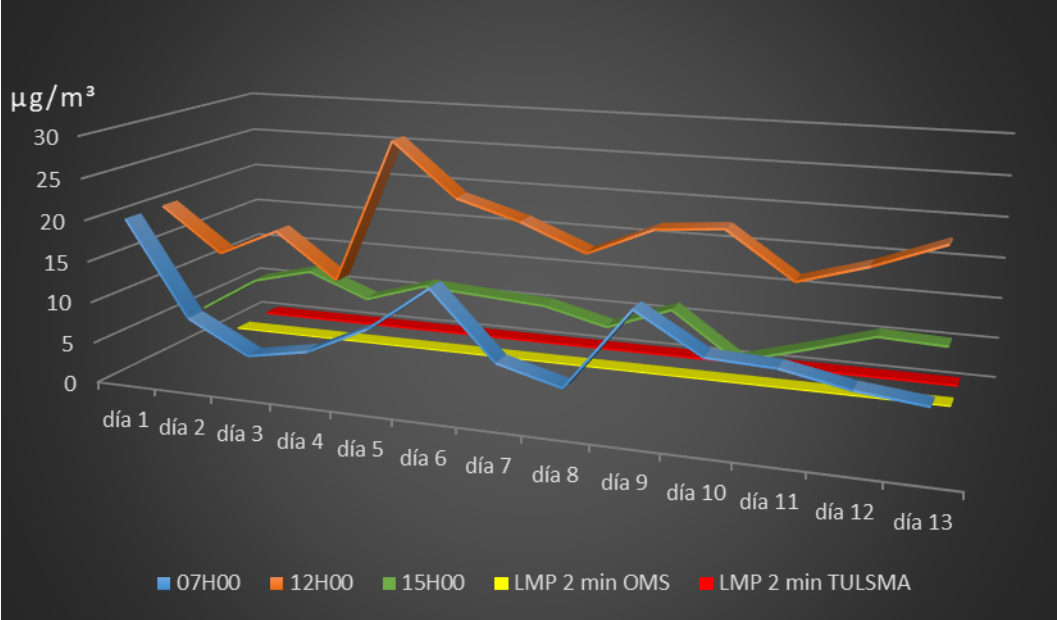
La Tabla 34 presenta las concentraciones de PM extsubscript2,5 registradas en el barrio La Esperanza y su comparación con los límites de referencia.

TABLA 34. Concentraciones de PM_{2,5} (µg/m³), en el barrio “La Esperanza” su comparación con los LMP de la OMS y TULSMA

Día	07H00	Permisible para la OMS (0,03 µg/m ³)	Permisible para el TULSMA (0,09 µg/m ³)	12H00	Permisible para la OMS (0,03 µg/m ³)	Permisible para el TULSMA (0,09 µg/m ³)	15H00	Permisible para la OMS (0,03 µg/m ³)	Permisible para el TULSMA (0,09 µg/m ³)
1	20,00	NO	NO	20,00	NO	NO	5,00	NO	NO
2	8,50	NO	NO	14,67	NO	NO	9,33	NO	NO
3	4,67	NO	NO	18,00	NO	NO	11,17	NO	NO
4	6,00	NO	NO	12,67	NO	NO	8,33	NO	NO
5	9,50	NO	NO	29,83	NO	NO	10,67	NO	NO
6	15,00	NO	NO	23,67	NO	NO	10,17	NO	NO
7	7,17	NO	NO	21,50	NO	NO	9,67	NO	NO
8	5,17	NO	NO	18,50	NO	NO	7,83	NO	NO
9	14,83	NO	NO	21,83	NO	NO	10,67	NO	NO
10	10,33	NO	NO	22,50	NO	NO	5,33	NO	NO
11	10,00	NO	NO	17,33	NO	NO	7,50	NO	NO
12	8,50	NO	NO	19,67	NO	NO	9,83	NO	NO
13	7,67	NO	NO	22,67	NO	NO	9,50	NO	NO

La Figura 90 representa gráficamente los valores de PM extsubscript2,5 y su comparación con los límites de la OMS y del TULSMA.

FIGURA 90. Comparación de valores de PM_{2,5} con los LMP de la OMS y TULSMA



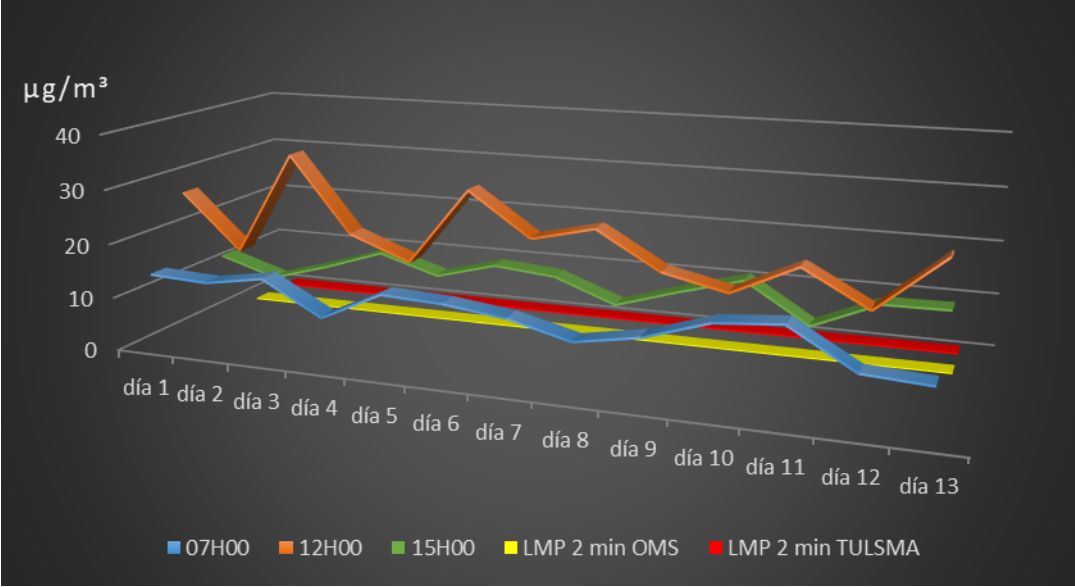
La Tabla 35 presenta las concentraciones de PM extsubscript4 registradas en el barrio La Esperanza y su comparación con los límites de referencia.

TABLA 35. Concentraciones de PM₄ (µg/m³), en el barrio "La Esperanza" su comparación con los LMP de la OMS y TULSMA

Día	07H00	Permisible para la OMS (0,04 µg/m³)	Permisible para el TULSMA (0,11 µg/m³)	12H00	Permisible para la OMS (0,04 µg/m³)	Permisible para el TULSMA (0,11 µg/m³)	15H00	Permisible para la OMS (0,04 µg/m³)	Permisible para el TULSMA (0,11 µg/m³)
1	14,00	NO	NO	27,00	NO	NO	12,00	NO	NO
2	13,50	NO	NO	16,83	NO	NO	8,67	NO	NO
3	15,33	NO	NO	35,50	NO	NO	11,83	NO	NO
4	9,33	NO	NO	21,83	NO	NO	15,50	NO	NO
5	14,67	NO	NO	17,67	NO	NO	12,17	NO	NO
6	14,17	NO	NO	31,50	NO	NO	15,17	NO	NO
7	12,83	NO	NO	23,83	NO	NO	14,17	NO	NO
8	10,00	NO	NO	26,50	NO	NO	10,00	NO	NO
9	12,00	NO	NO	20,00	NO	NO	13,50	NO	NO
10	15,67	NO	NO	17,50	NO	NO	16,67	NO	NO
11	16,67	NO	NO	23,00	NO	NO	9,67	NO	NO
12	10,00	NO	NO	16,83	NO	NO	14,67	NO	NO
13	9,33	NO	NO	26,67	NO	NO	14,83	NO	NO

La Figura 91 representa gráficamente los valores de PM extsubscript4 y su comparación con los límites de la OMS y del TULSMA.

FIGURA 91. Comparación de valores de PM₄, con los LMP de la OMS y TULSMA



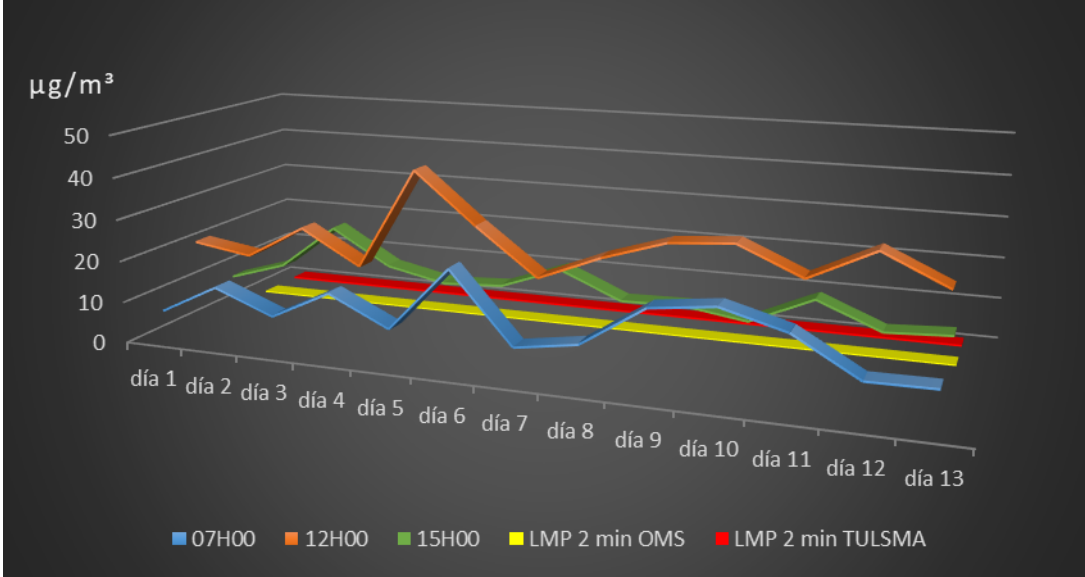
La Tabla 36 presenta las concentraciones de PM extsubscript10 registradas en el barrio La Esperanza y su comparación con los límites de referencia.

TABLA 36. Concentraciones de PM₁₀ (µg/m³), en el barrio "La Esperanza" su comparación con los LMP de la OMS y TULSMA

Día	07H00	Permisible para la OMS (0,07 µg/m³)	Permisible para el TULSMA (0,21 µg/m³)	12H00	Permisible para la OMS (0,07 µg/m³)	Permisible para el TULSMA (0,21 µg/m³)	15H00	Permisible para la OMS (0,07 µg/m³)	Permisible para el TULSMA (0,21 µg/m³)
1	7,33	NO	NO	20,83	NO	NO	8,17	NO	NO
2	14,50	NO	NO	18,67	NO	NO	12,50	NO	NO
3	9,00	NO	NO	26,67	NO	NO	23,33	NO	NO
4	16,00	NO	NO	18,67	NO	NO	15,00	NO	NO
5	9,17	NO	NO	42,67	NO	NO	12,00	NO	NO
6	24,50	NO	NO	30,83	NO	NO	12,83	NO	NO
7	8,17	NO	NO	20,00	NO	NO	18,17	NO	NO
8	10,50	NO	NO	26,00	NO	NO	12,00	NO	NO
9	20,17	NO	NO	30,67	NO	NO	12,33	NO	NO
10	22,00	NO	NO	31,83	NO	NO	10,17	NO	NO
11	18,00	NO	NO	25,50	NO	NO	16,83	NO	NO
12	9,50	NO	NO	32,83	NO	NO	10,83	NO	NO
13	9,67	NO	NO	26,00	NO	NO	11,67	NO	NO

La Figura 92 representa gráficamente los valores de PM extsubscript10 y su comparación con los límites de la OMS y del TULSMA.

FIGURA 92. Comparación de valores de PM_{10} , con los LMP de la OMS y TULSMA



4. Análisis estadístico descriptivo

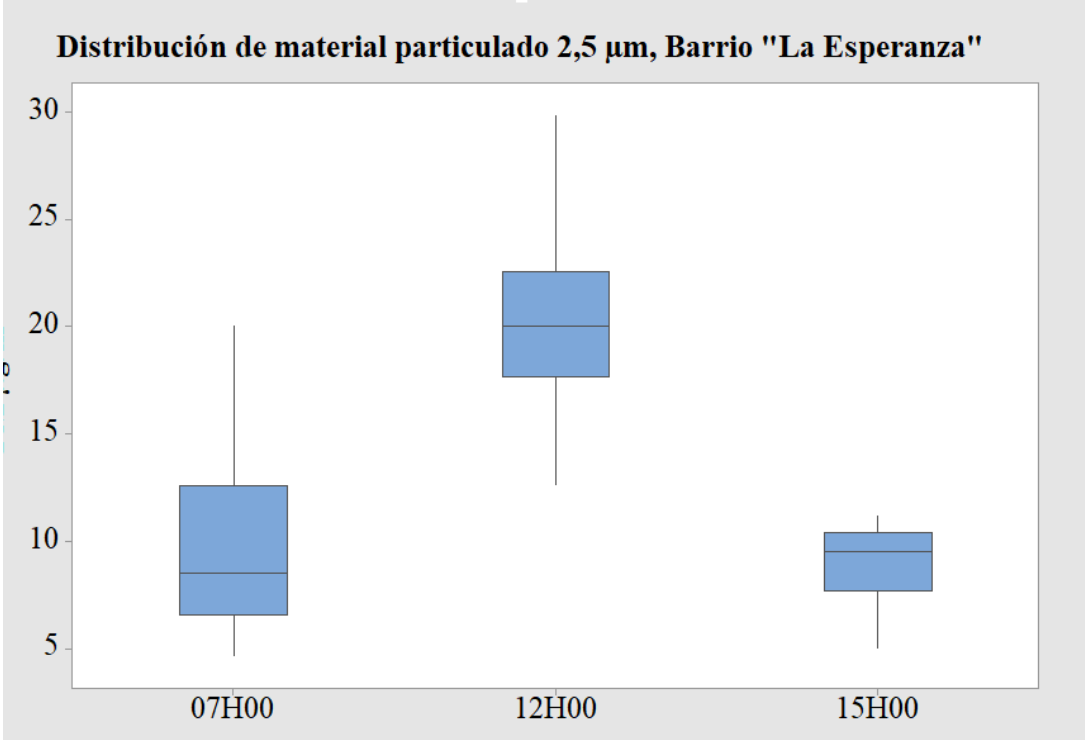
Para el análisis estadístico descriptivo, se trabajó con el Software Minitab 18 Statistical, utilizando las herramientas de estadísticas básicas, como la media, el error estándar de la media, la desviación estándar, la varianza, el mínimo, el primer cuartil, la mediana, el tercer cuartil, el máximo y el rango, y para las gráficas se utilizaron las de caja.

1. Material particulado volátil $2,5 \mu m$

Con los valores obtenidos para $PM_{2,5} \mu m$, en el barrio “La Esperanza”, se determinó un valor medio para las 07h00, 12h00 y 15h00, de $9,8 \mu g/m^3$, $20,22 \mu g/m^3$ y $8,85 \mu g/m^3$, respectivamente; el valor máximo que se registra en el sector es de $29,83 \mu g/m^3$ y un valor mínimo de $4,67 \mu g/m^3$, el rango que estableció el análisis estadístico es de $15,33 \mu g/m^3$, $17,16 \mu g/m^3$ y $6,17 \mu g/m^3$, correspondiente para cada una de las horas.

La Figura 93 presenta la distribución estadística de $PM_{2,5}$ registrada en el barrio La Esperanza.

FIGURA 93. Distribución de $PM_{2,5}$ μm , barrio "La Esperanza"



De acuerdo a (Santillán et al., 2016) en su investigación, al comparar los valores obtenidos de PMV en el barrio “La Esperanza”, con los LMP según la legislación ecuatoriana y la OMS, los resultados obtenidos no se encuentran dentro de los límites permisibles, ya que se establece como media diaria $65 \mu g/m^3$ y $25 \mu g/m^3$ para el $PM_{2,5}$, respectivamente.

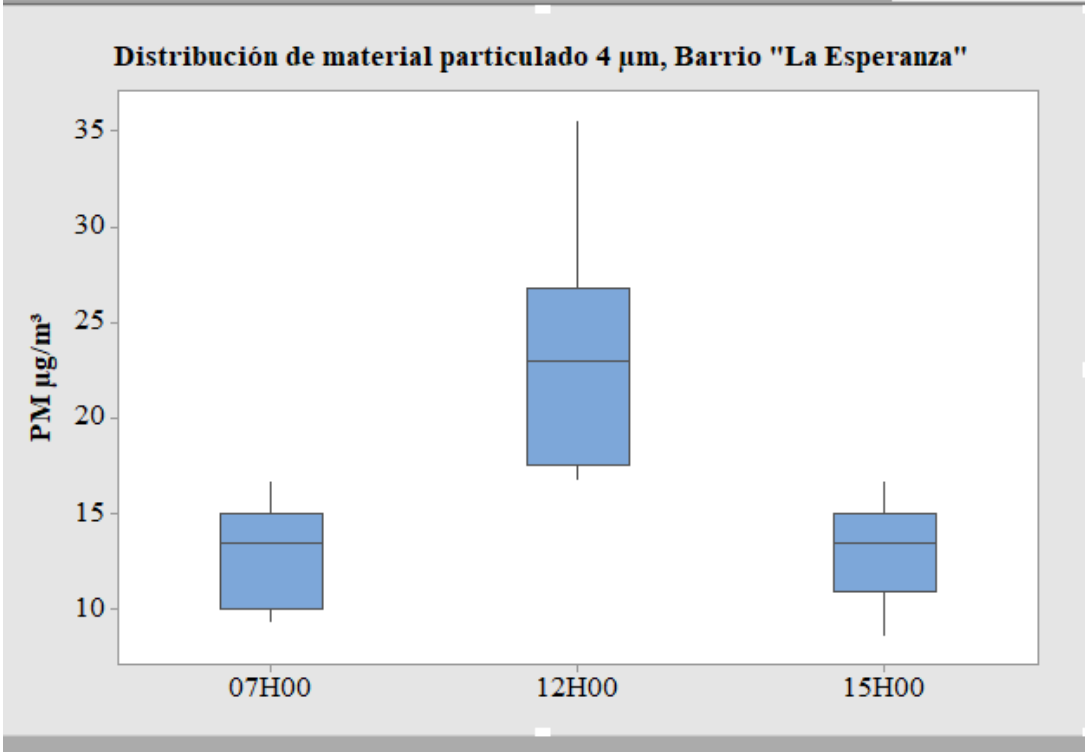
Para el filtro $2,5 \mu m$, en los 2 minutos de muestreo que se realizó, se obtuvo un LMP de $0,09 \mu g/m^3$ con respecto a la legislación ecuatoriana y un LMP de $0,03 \mu g/m^3$ para la OMS; de acuerdo a lo mencionado, los valores registrados exceden las normas permisibles.

2. Material particulado volátil $4 \mu m$

Para PM_4 , se tuvo un valor medio de $12,89 \mu g/m^3$, $23,44 \mu g/m^3$ y $12,99 \mu g/m^3$, para las 07h00, 12h00 y 15h00; el valor máximo registrado fue de $35,5 \mu g/m^3$ y el valor mínimo de $8,67 \mu g/m^3$, el rango establecido es de $7,34 \mu g/m^3$, $18,67 \mu g/m^3$ y $8 \mu g/m^3$, para cada una de las horas.

La Figura 94 muestra la distribución estadística de PM_{ext} registrada en el barrio La Esperanza.

FIGURA 94. Distribución de PM₄ µm, barrio "La Esperanza"



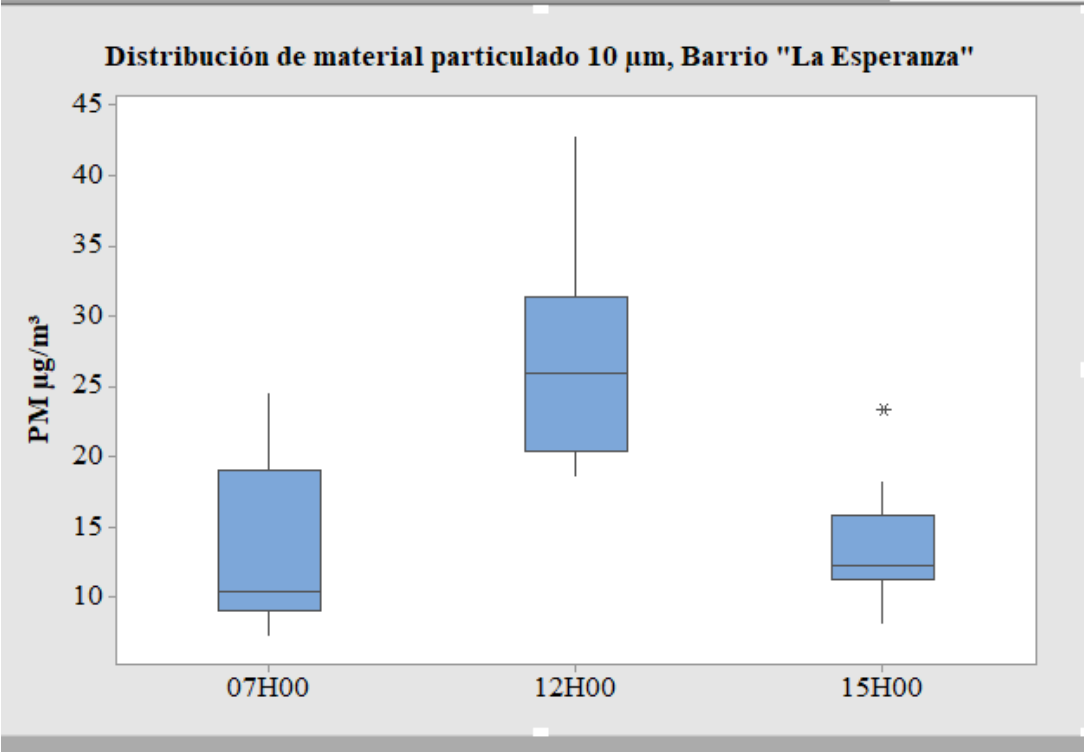
Los resultados para PM₄, superan los límites máximos permisibles, ya que se establece una media diaria de 82 µg/m³ para la norma ecuatoriana y 30 µg/m³ para la OMS; el LMP, determinado para el filtro de 4 µm, en los 2 minutos de muestreo, es de 0,11 µg/m³, con respecto a la legislación del Ecuador y de 0,04 µg/m³ de acuerdo a la OMS, los valores encontrados sobrepasan los LMP.

3. Material particulado volátil 10 µm

Para PM₁₀, se registró un valor medio de 13,73 µg/m³, 27,01 µg/m³ y 13,53 µg/m³ para las 07h00, 12h00 y 15h00, respectivamente; el valor máximo fue de 42,67 µg/m³ y un mínimo de 7,33 µg/m³, con un rango de 17,17 µg/m³, 24 µg/m³ y 15,16 µg/m³ correspondiente para cada hora.

La Figura 95 presenta la distribución estadística de PM extsubscript10 registrada en el barrio La Esperanza.

FIGURA 95. Distribución de PM₁₀ µm, barrio "La Esperanza"



En la legislación ecuatoriana y en la OMS, se establece una media diaria de 150 µg/m³ y 50 µg/m³ para PM₁₀, respectivamente; en los 2 minutos de monitoreo se obtuvo un LMP de 0,21 µg/m³ y 0,07 µg/m³ para cada norma, los valores registrados sobrepasan las concentraciones permitidas.

5. Material particulado sedimentable

La Tabla 37 reúne los resultados de las concentraciones de PMS obtenidas en los puntos de monitoreo.

TABLA 37. Resultados de las concentraciones de PMS

Equipo	Ubicación geográfica	Peso Inicial Papel mg	Peso Final Papel mg	PMS (mg/cm²/mes)
1	762367,271	456	535,1	1,36
	9815951,529			
2	762495,950	455,5	503,7	0,83
	9816045,758			
3	762227,447	455,8	517,2	1,06
	9816029,547			
4	762361,192	458,4	501,9	0,75
	9816126,816			
5	762062,292	458,9	521,5	1,08
	9816109,591			

Equipo	Ubicación geográfica	Peso Inicial Papel mg	Peso Final Papel mg	PMS (mg/cm ² /mes)
6	762196,037 9816195,715	453,5	499,1	0,79

Comparación de los valores obtenidos con los límites establecidos por la OMS y la legislación ecuatoriana TULSMA

La Tabla 38 compara dichos resultados con los límites establecidos por la OMS y el TULSMA.

TABLA 38. Comparación de valores de PMS, con límites establecidos por la OMS y TULSMA

Muestra	PMS	Normativa OMS mes de muestreo	Permisible	Legislación ecuatoriana TULSMA	Permisible
Filtro 1	1,36	0,5 mg/cm ²	NO	1 mg/cm ²	NO
Filtro 2	0,83		NO		SI
Filtro 3	1,06		NO		NO
Filtro 4	0,75		NO		SI
Filtro 5	1,08		NO		NO
Filtro 6	0,79		NO		SI

Las concentraciones encontradas en cada papel filtro, exceden los LMP de la OMS, mientras que, para la legislación ecuatoriana, solo el papel filtro 1, 3 y 5, sobrepasan los LMP, cada papel filtro representa una zona de muestreo, comprobando que las zonas donde se encuentran ubicados los aserraderos, es donde se genera mayor cantidad de PM hacia la atmósfera.

6. Análisis cualitativo PMS

1. Caracterización morfológica

Las partículas sedimentadas en el papel filtro, fueron analizadas morfológicamente con el uso del microscopio óptico; donde se tomaron imágenes a 100x, 40x, 10x y 4x, se pudo identificar la forma y el tamaño de las partículas sedimentadas de madera.

Imágenes obtenidas del Microscopio Óptico (MO)

Papel filtro 1

FIGURA 96. Filtro 1, PM observado a 4X

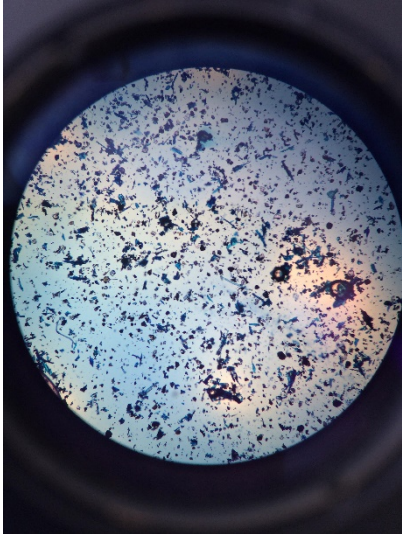


FIGURA 97. Filtro 1, PM observado a 10X

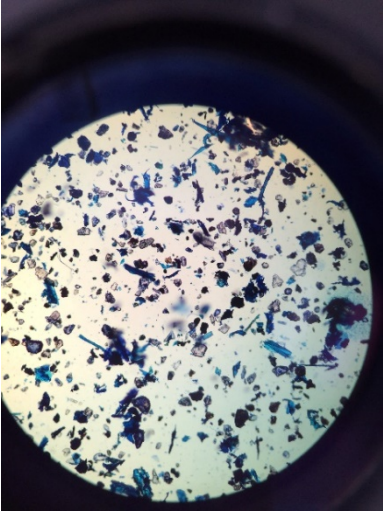


FIGURA 98. Filtro 1, PM observado a 40X

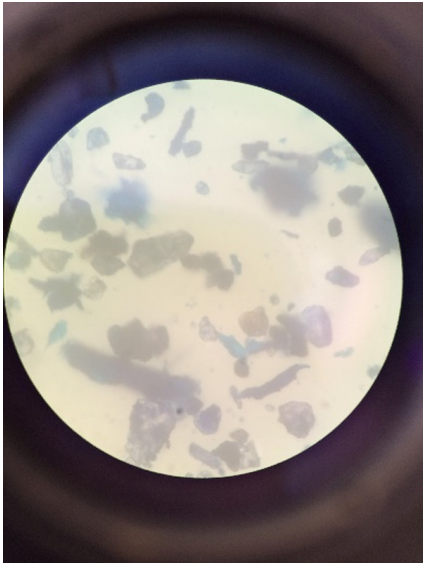


FIGURA 99. Filtro 1, PM observado a 100X



Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopía.

Papel filtro 2

FIGURA 100. Filtro 2, PM observado a 4X

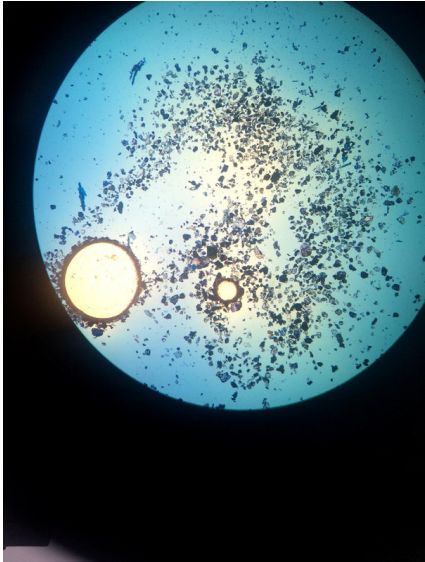


FIGURA 101. Filtro 2, PM observado a 10X

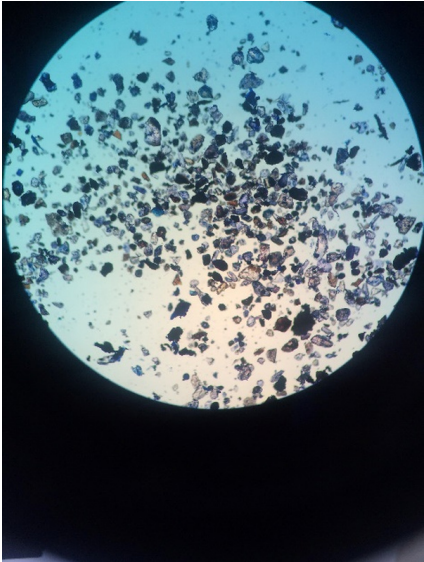


FIGURA 102. Filtro 2, PM observado a 40X

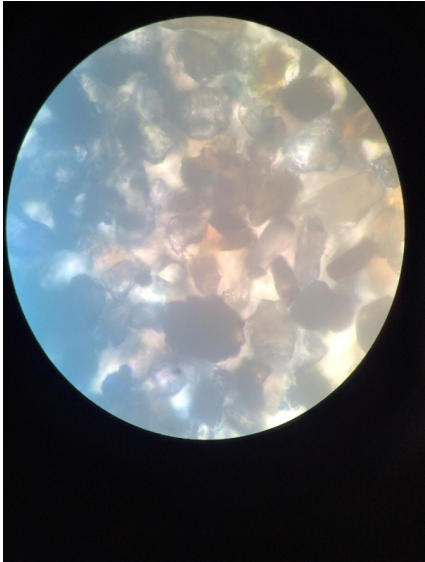
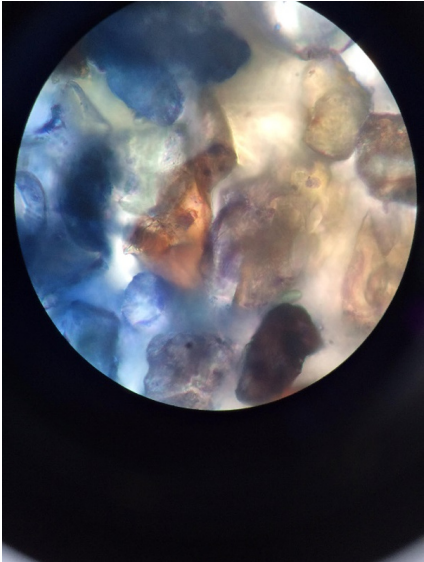


FIGURA 103. Filtro 2, PM observado a 100X



Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia.

Papel filtro 3

FIGURA 104. Filtro 3, PM observado a 4X

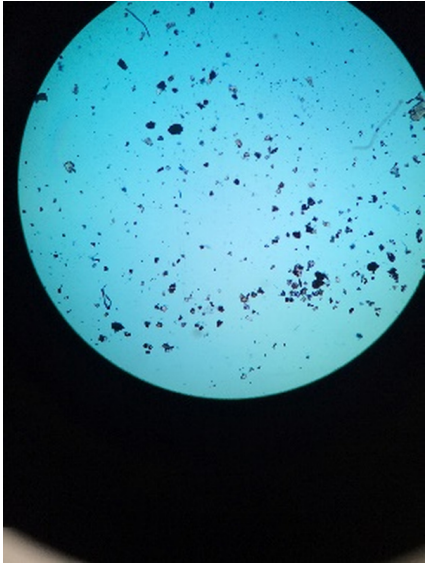


FIGURA 105. Filtro 3, PM observado a 10X

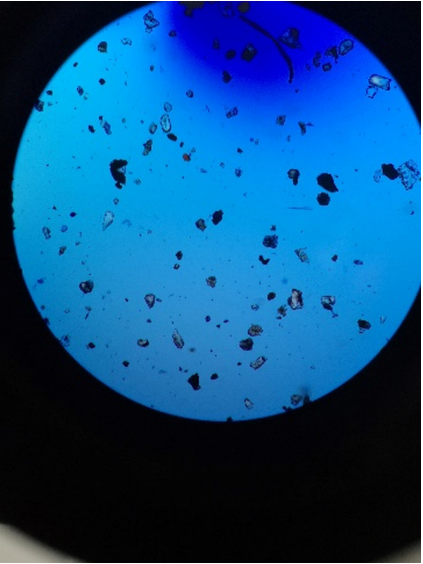


FIGURA 106. Filtro 3, PM observado a 40X

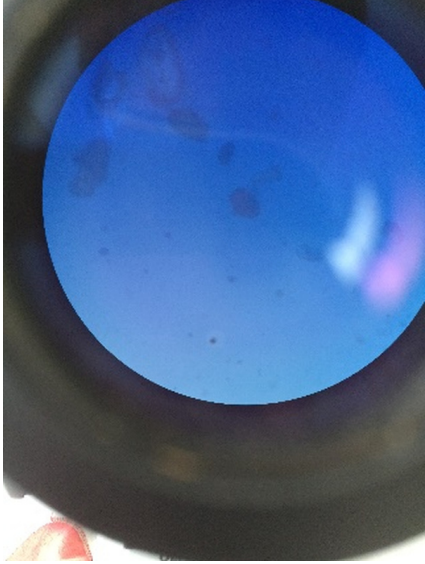


FIGURA 107. Filtro 3, PM observado a 100X



Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia.

Papel filtro 4

FIGURA 108. Filtro 4, PM observado a 4X

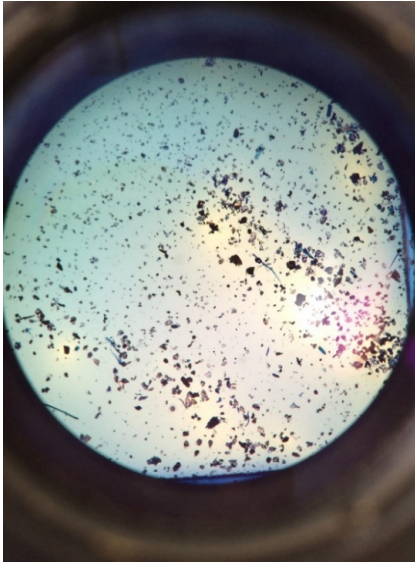


FIGURA 109. Filtro 4, PM observado a 10X

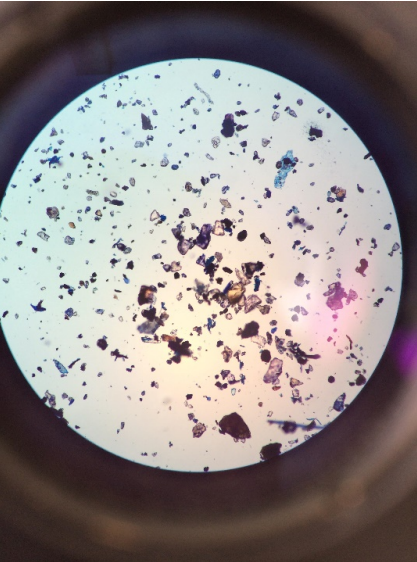


FIGURA 110. Filtro 4, PM observado a 40X

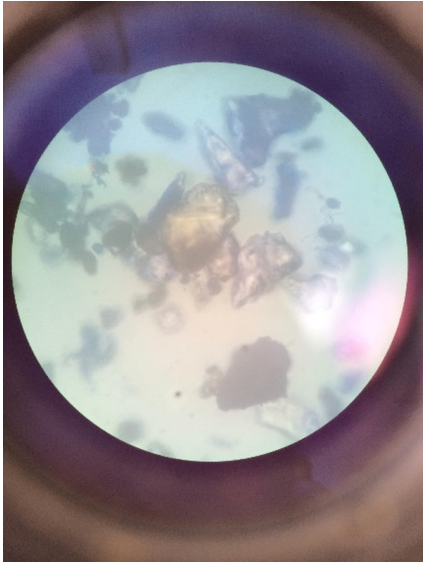


FIGURA 111. Filtro 4, PM observado a 100X



Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia.

Papel filtro 5

FIGURA 112. Filtro 5, PM observado a 4X

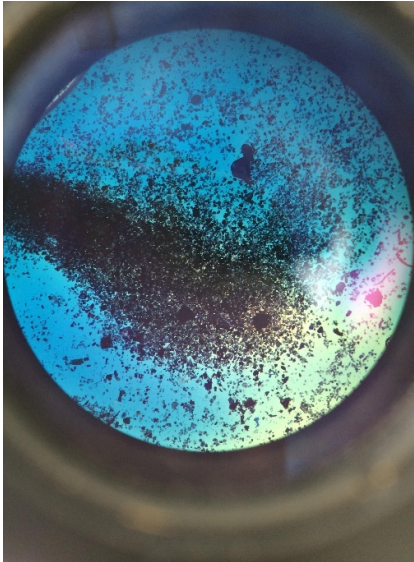


FIGURA 113. Filtro 5, PM observado a 10X

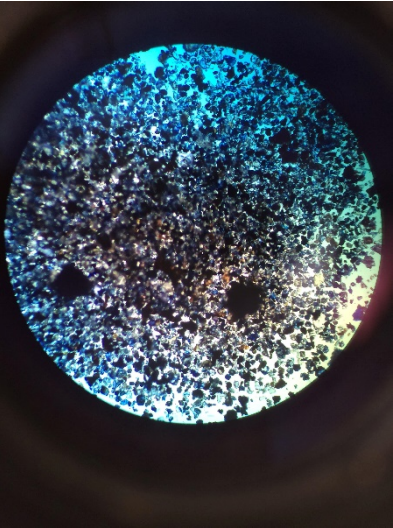


FIGURA 114. Filtro 5, PM observado a 40X

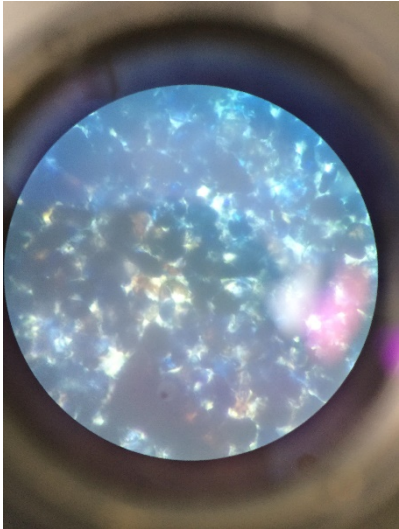
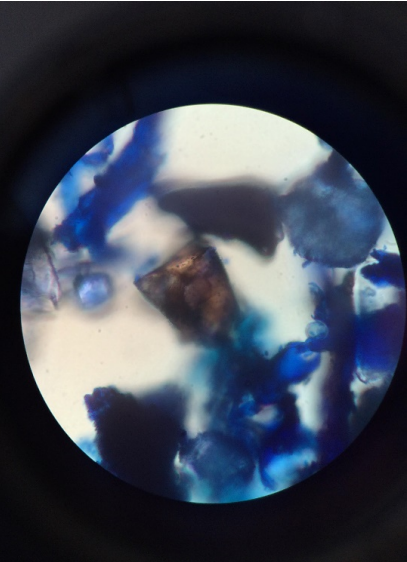


FIGURA 115. Filtro 5, PM observado a 100X



Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia.

Papel filtro 6

FIGURA 116. Filtro 6, PM observado a 4X

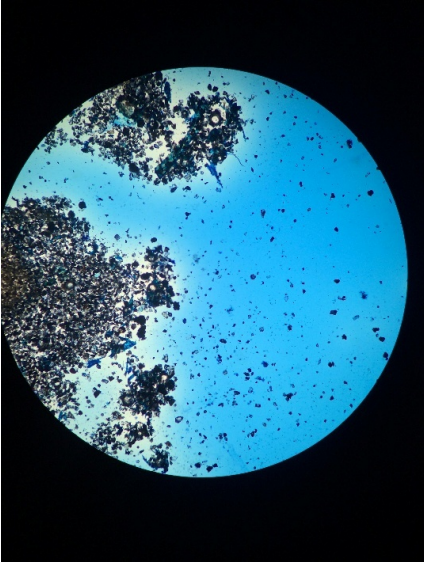


FIGURA 117. Filtro 6, PM observado a 10X

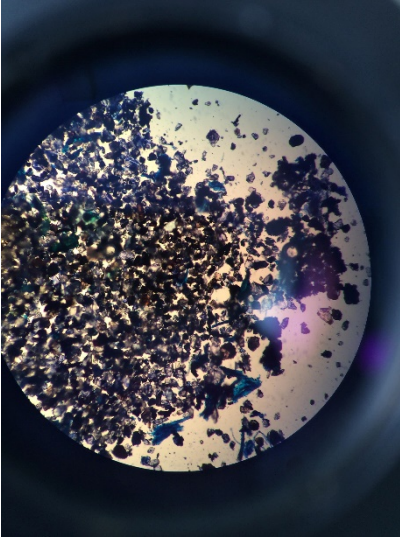
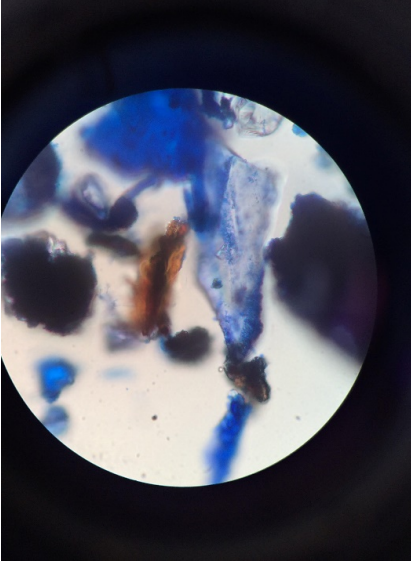


FIGURA 118. Filtro 6, PM observado a 40X



FIGURA 119. Filtro 6, PM observado a 100X



Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopía.

En cada imagen obtenida del MO, podemos observar claramente tres grupos de partículas en los que se puede clasificar el PM, estos grupos son: Partículas orgánicas (madera), partículas de residuos de combustión y partículas minerales; las partículas de madera se identifican con más claridad en las imágenes de 100x, donde nos permite apreciar una gran variedad de partículas irregulares en la muestra: Fibras cortas, fibras con desgarros en gajos o individuales, fibras largas e irregulares, encintadas y con desgarr, lo que es característico de las coníferas (maderas blandas); además, en menor

proporción, se observan fibras cortas, planas y compactas, lo que es característico de las fibras latifoliadas (maderas duras).

Los propietarios de cada aserradero ubicado dentro del área de estudio, manifestaron que las especies de madera más utilizadas en sus actividades, son el Pino (*Pinus Radiata D.Don*) y el Eucalipto (*Eucalyptus Grandis*), y en muy pocas veces el Nogal (*Juglans neotropica Diels*), las dos primeras especies se consideran maderas blandas, mientras que la última pertenece al grupo de las maderas duras.

La composición química orgánica del *Pinus Radiata D.Don* según lo que menciona (Ariete, 2010) en su tema de investigación, se compone en su gran mayoría de un 53,7 % de Celulosa, 27,1 % de Lignina, 16,4 % de Hemicelulosa y un 1,3 % de componentes extraíbles; en cuanto al *Eucalyptus Grandis* (Urrelo, Leal, & Bozo, 2016), indican que su composición varía entre 49,59 % - 53,76 % de Celulosa, 27,42 % - 28,56 % de Lignina, 18,82 % - 21,75 % de Hemicelulosa, 0,41 % - 0,48 % de Ceniza y un 0,95 % - 1,23 % de extractos, y finalmente el Nogal (*Juglans neotropica Diels*), por ser un tipo de madera dura, se establecen contenidos de celulosa que varían entre 38 % - 49 %, de lignina 22 % - 34 %, hemicelulosa de 23 % - 31 % y un bajo porcentaje de componentes extraíbles de entre 1 % - 2 % (González, Rey, Caballero, & Chadae, 2016), valores que varían según la edad del árbol, la localización geográfica, las condiciones de crecimiento, de clima y del sitio de crecimiento de cada especie (Urrelo et al, 2016).

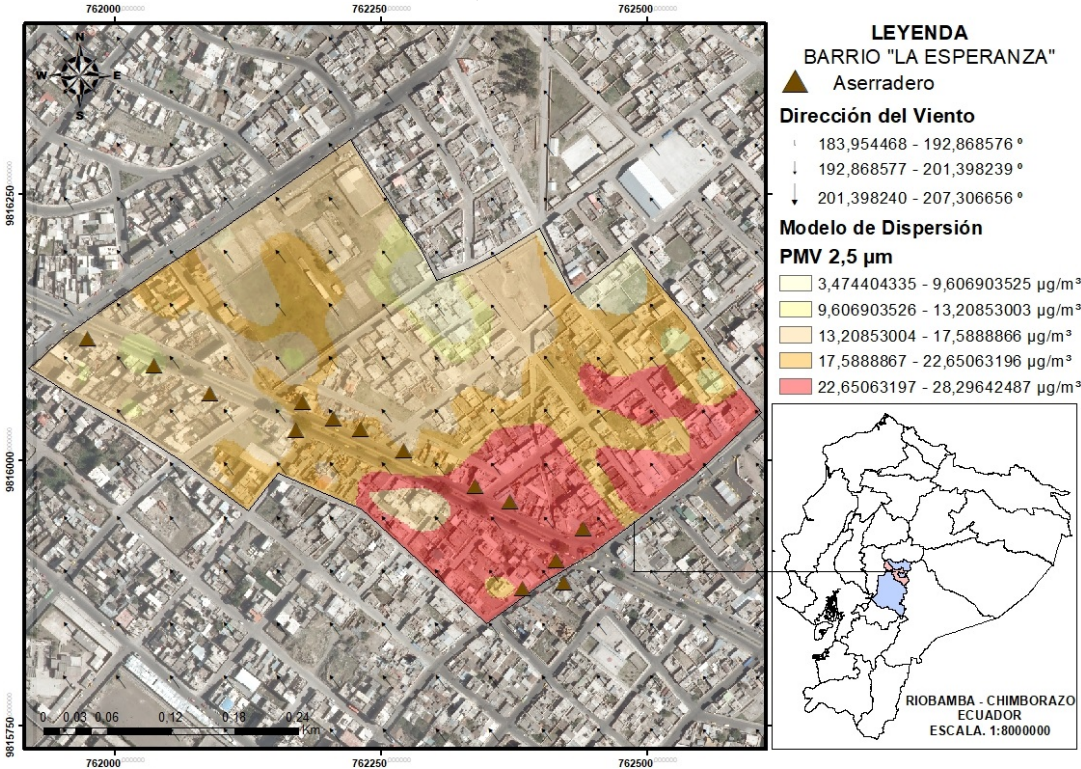
7. Análisis geoestadístico

Finalmente se elaboró un mapa correspondiente para visualizar la variación espacial del PM_{2,5}, (particulado con mayor exposición a las diferentes variaciones de las masas de aire, por ser más pequeño, ligero y dañino para la salud) en el periodo octubre-noviembre de 2017; para una mejor predicción del modelo de dispersión se lo realizó con los 78 puntos de monitoreo en toda el área de estudio (Figura 120). Dentro del análisis estadístico, se obtuvo una predicción de 94,83 % y un error de 5,17 %; además, se generó un mapa de dirección de vientos, trabajando con tres variables, coordenadas en X y Y, y los datos de dirección de viento, que se obtuvieron de las estaciones meteorológicas de la ESPOCH, Matus, Químiag, San Juan y Tunshi; las unidades de la dirección están dadas en grados, la dirección para el área de estudio es 207°, indicando que el PM se mueve en esta dirección; los resultados obtenidos son directamente proporcionales en función a los lugares de emisión de PM (aserraderos).

En un estudio realizado por (Sánchez, Orozco, Pacheco, & Valdez, 2015) indican que los contaminantes se dispersan por acción de los vientos, el PM es arrastrado en función de los movimientos de las masas de aire.

Según lo que menciona (Opazo, 2011), en su investigación, la distribución de la contaminación por PM, está relacionada con la temperatura, los lugares que presentan altas temperaturas, tienen a su vez los niveles de contaminación por PM mayores, además a medida que la temperatura aumenta los gases, se vuelven volátiles, permitiendo fácilmente su dispersión por el ambiente.

FIGURA 120. Modelo de dispersión de PM_{2,5}, en el barrio "La Esperanza"



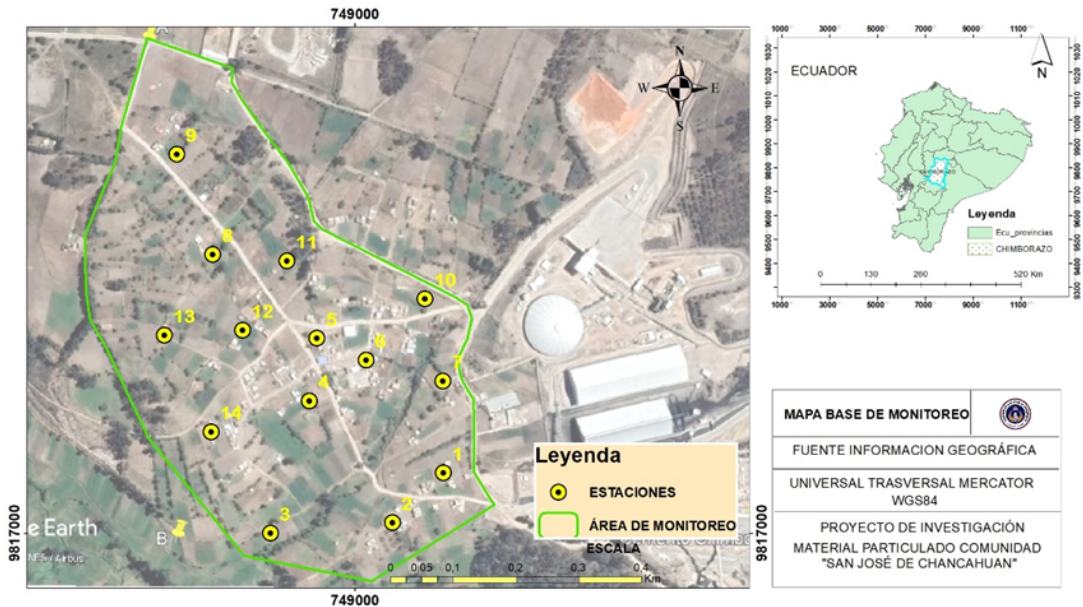
Autor: Cristian Lara B.

Dentro del área de estudio, se realizó el modelo de dispersión para el PM_{2,5}; este análisis se llevó a cabo con el promedio diario obtenido del periodo de estudio, de cada punto, incluyendo las horas de monitoreo, los puntos mayores de concentración se encuentran en la zona 1, alcanzando valores que van desde los 3,47 µg/m³, hasta los 28,33 µg/m³; el particulado tiende a dirigirse en dirección NO, de acuerdo al mapa de dirección del viento, y con una velocidad promedio de 1,3 m/s, una máxima de 1,9 m/s, y una mínima de 0,05 m/s, en el periodo de estudio (INAMHI, 2017).

RESULTADOS DE SAN JOSE DE CHANCAHUAN

En el área de estudio dividida en 14 puntos en las que se ubicaron las estaciones fijas de monitoreo como se observa en la Figura 121. Los resultados nos permiten observar la concentración del PMS y volátil, a su vez el mapeo de la concentración, dispersión del PM y la discusión de los mismo en relación a la presencia industrial.

FIGURA 121. Ubicación de los puntos para el monitoreo de PMS y PMV



5.29 Concentración y Análisis descriptivo del material particulado sedimentable

En la Tabla 39 tenemos valores utilizados para lograr obtener los datos de PAS.
TABLA 39. Valores utilizados para la obtención de datos de PAS.

Radio del Papel	Área del Papel
Filtro	Filtro (cm ²)
4,2	55,39

Completado el monitoreo de PMS en el periodo de un mes en los catorce puntos (estaciones fijas), los datos obtenidos que corresponden al peso de cada estación en la Tabla 40, donde se tiene un promedio de 4,24 (mg/ cm² /mes) en todo el mes de monitoreo del “17 de febrero al 13 de marzo del 2020”. Comparando los valores con los límites permisibles establecidos por la OMS y el TULSMA, este valor sobrepasa los mismos.

TABLA 40. Concentración de PMS en cada estación de monitoreo

Estaciones	Ubicación Geográfica		PESO INICIAL	PESO FINAL	PAS
	Latitud	Longitud	Miligramos		mg/cm ² /mes
1	749140	9817096	448,2	463,8	8,45
2	749059	9817017	448,7	461	6,66
3	748865	9817000	457,6	462	2,38
4	748927	9817211	459,4	464	2,49
5	748939	9817311	452,8	463,1	5,58
6	749017	9817276	452,8	460,2	4,01
7	749139	9817243	447,5	461,7	7,69
8	748773	9817444	456,6	460,2	1,95
9	748716	9817603	459,1	462,6	1,9
10	749111	9817374	446,6	459,2	6,82
11	748891	9817433	448,2	458,1	5,36
12	748821	9817323	449,3	456,1	3,68
13	748696	9817316	451,4	454,2	1,52
14	748770	9817162	455,7	457,3	0,87

Los datos obtenidos en la Tabla 40 de las diferentes estaciones fijas de monitoreo de la concentración de PMS, se comparan con los límites permisibles (LMP) de la OMS y el TULSMA, como se muestra en la Tabla 41, donde todas las muestras presentan valores que sobrepasan los LMP establecidos por la OMS que es de 0,5 mg/cm²/mes, algo afín de lo que sucede para el LMP establecido por el TULSMA de 1 mg/cm²/mes, en donde solo en la muestra de la estación 14 no sobre pasa estos valores y cumple con lo establecido, así comprobamos que debido a la cercanía a la industria de la mayoría de los puntos de monitoreo, tienen mayor concentración de PM, tomando en cuenta la influencia de la velocidad y dirección del viento.

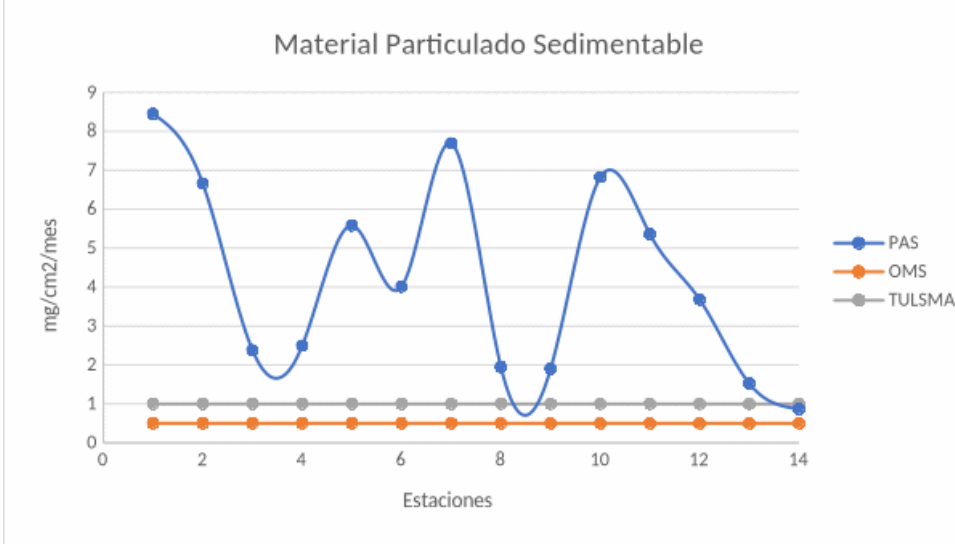
TABLA 41. Comparación de los valores de PAS con el LMP establecidos por la OMS y el TULSMA

Estaciones	PAS mg/cm ² /mes	OMS 0,5 mg/cm ² /mes	TULSMA 1 mg/cm ² /mes
1	8,45	NO	NO
2	6,66	NO	NO
3	2,38	NO	NO
4	2,49	NO	NO
5	5,58	NO	NO
6	4,01	NO	NO
7	7,69	NO	NO
8	1,95	NO	NO
9	1,9	NO	NO
10	6,82	NO	NO
11	5,36	NO	NO
12	3,68	NO	NO

Estaciones	PAS mg/cm ² /mes	OMS 0,5 mg/cm ² /mes	TULSMA 1 mg/cm ² /mes
13	1,52	NO	NO
14	0,87	NO	SI
NO		No Cumple	
SI		Si Cumple	

En la Figura 122, mediante una gráfica lineal se puede verificar los valores del PMS en comparación con los LMP que se encuentran establecidas por la OMS y el TULSMA, donde se comprueba que en la estación de monitoreo 14 presenta un valor de 0,87 (mg/cm²/mes), el cual para la OMS sobre pasa su límite establecido ya que su LMP es de 0,5 (mg/cm²/mes), a diferencia del valor establecido por la normativa del TULSMA que su LMP es de 1 (mg/cm²/mes), indicando que se encuentra dentro de su rango. Para las demás muestras los valores sobrepasan los límites permisibles tanto para la OMS como para el TULSMA, las muestras que presentan mayor concentración PMS son en los puntos 1, 2, 5, 10, que tienen valores de 8.45, 6.66, 5.58, 6.82 (mg/cm²/mes) respectivamente, estos valores elevados son debido a diferentes circunstancias como por ejemplo la cercanía a la industria que emite gran cantidad de PMS, también que se encuentran cercana a las vías de transporte pesado que provocan que estas partículas se levanten y se depositen en los mismos. Las demás muestras también presentan gran cantidad de PMS debido a que es una zona dedicada a la agricultura y ganadería del área de estudio.

FIGURA 122. Comparación de valores de PMS con los LMP establecidos por la OMS y el TULSMA



5.30 Concentración y análisis descriptivo del material particulado volátil

En el periodo del 17 de febrero al 13 de marzo del 2020 se obtuvieron los valores de la concentración del PMV para los filtros de 2,5 μm , 4 μm y 10 μm , con el uso del equipo Dust TrakTM II en catorce puntos de muestreo en la comunidad de San José de Chanchahuan.

5.30.1 Análisis diario de la concentración de material particulado volátil 2.5 en la comunidad de San José de Chanchahuan en comparación con los LMP de la OMS y el TULSMA

Para la concentración de MPV_{2.5} se realizó un análisis para los diferentes días de monitoreo establecidos en 2 horarios como se visualiza en la Tabla 42, para lo cual se realizó el promedio de cada uno de los días de monitoreo con el fin de comparar los valores con respecto a lo que establece la OMS y el TULSMA, en donde los valores obtenidos para el MPV_{2.5} en todos los días se encuentran por encima de los límites permisibles que establece la norma de la OMS, ya que dicho valor se encuentra en 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, esto se debe a que en los dos horarios y durante todo el día existe alta concentración de PM ya sea emitida por la industria o a su vez por la constante presencia de transportes de carga pesada que provocan el levantamiento de partículas, sin embargo estos valores si cumplen y se encuentran dentro de los límites establecidos por el TULSMA donde su valor se encuentra en 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, cumpliendo así con esta normativa, dichos valores se encuentran en un rango de 33 a 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

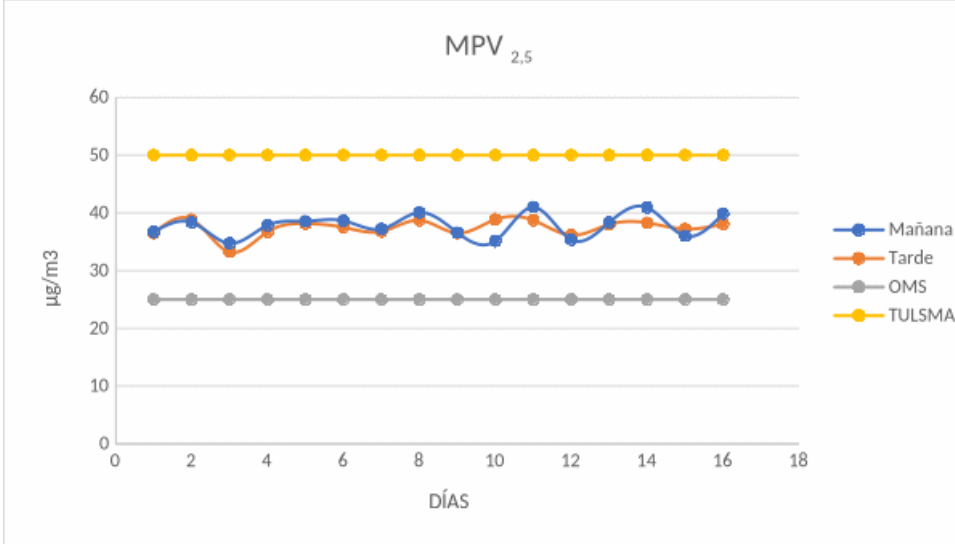
TABLA 42. Concentración de MPV_{2.5} y su comparación con los valores de los LMP de la OMS y el TULSMA

Días	8:30-10:30	12:00-14:00	Promedio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LMP OMS (25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LMP TULSMA (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	36,71	36,50	36,61	NO	SI
2	38,36	38,86	38,61	NO	SI
3	34,71	33,21	33,96	NO	SI
4	37,86	36,71	37,29	NO	SI
5	38,57	38,14	38,36	NO	SI
6	38,64	37,50	38,07	NO	SI
7	37,21	36,79	37,00	NO	SI
8	40,07	38,71	39,39	NO	SI
9	36,57	36,50	36,54	NO	SI
10	35,14	38,86	37,00	NO	SI
11	41,00	38,71	39,86	NO	SI
12	35,36	36,14	35,75	NO	SI

Días	8:30-10:30	12:00-14:00	Promedio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LMP OMS ($25\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LMP TULSMA ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$)
13	38,36	38,00	38,18	NO	SI
14	40,93	38,29	39,61	NO	SI
15	36,00	37,21	36,61	NO	SI
16	39,86	38,07	38,96	NO	SI

Mediante un gráfica lineal en la Figura 123 se puede observar la concentracion del $\text{MPV}_{2,5}$ con los valores obtenidos en los monitoreos donde evidentemente sobrepasan los limites permisibles establecidos por la OMS, donde los valores más altos se evidencian en la mañana esto es debido a que en horarios de la mañana existe mayor actividad de la empresa, sin embargo si cumplen con la norma establecida por el TULSMA.

FIGURA 123. Comparación de la concentración de $\text{MPV}_{2,5}$ con los LMP de la OMS y el TULSMA.



5.30.2 Análisis diario de la concentración de MPV_4 en la comunidad de San José de Chanchahuan en comparación con los LMP de la OMS y el TULSMA

Para la concentración de MPV_4 se realizó un muestreo para los diferentes días de monitoreo establecidos en 2 horarios como se visualiza en la Tabla 43, para lo cual se realizó el promedio de cada uno de los días de monitoreo con el fin de comparar los valores con respecto a lo que establece la OMS y el TULSMA, en donde los valores obtenidos para el MPV_4 en todos los días se encuentran por encima de los límites permisibles que establece la norma de la OMS, ya que dicho valor se encuentra en $30\mu\text{g}/\text{m}^3$, esto se debe a que en los dos horarios y durante el día existe alta concentración

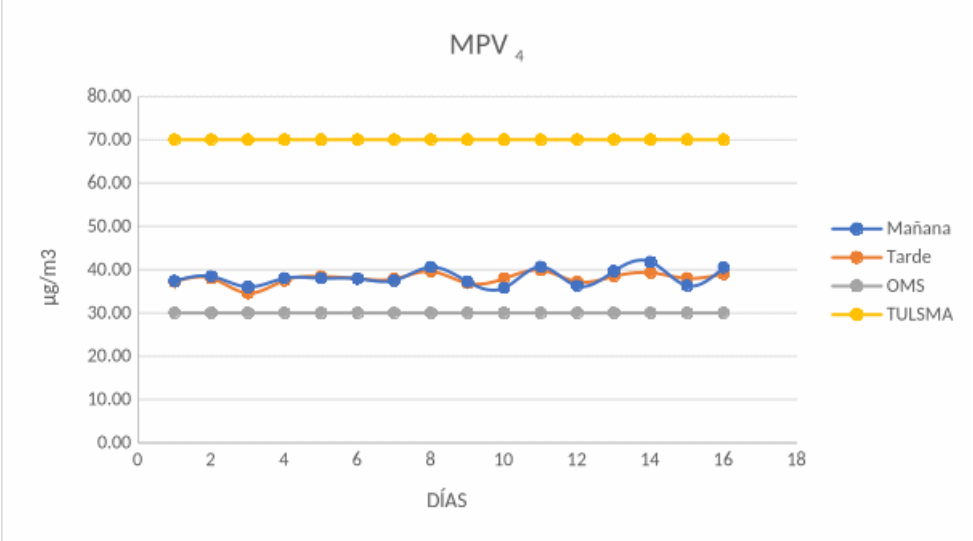
de PM ya sea emitida por la industria, por la constante presencia de transportes de carga pesada o incluso la ganadería y agricultura que posee el área de estudio que ocasiona el levantamiento de partículas finas y gruesas, sin embargo estos valores si cumplen y se encuentran dentro de los límites establecidos por el TULSMA donde su valor se encuentra en $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$, cumpliendo así con esta normativa, dichos valores se encuentran en un rango de $35,29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $40,54 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

TABLA 43. Concentración de MPV₄ y su comparación con los valores de los LMP de la OMS y el TULSMA

Días	8:30-10:30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	12:00-14:00	promedio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LMP OMS ($30\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LMP TULSMA ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	37,36	37,21	37,29	NO	SI
2	38,43	38,00	38,21	NO	SI
3	36,00	34,57	35,29	NO	SI
4	38,00	37,50	37,75	NO	SI
5	38,00GG	38,43	38,21	NO	SI
6	37,93	37,93	37,93	NO	SI
7	37,50	37,86	37,68	NO	SI
8	40,57	39,57	40,07	NO	SI
9	37,21	36,86	37,04	NO	SI
10	35,79	37,93	36,86	NO	SI
11	40,64	39,86	40,25	NO	SI
12	36,21	37,21	36,71	NO	SI
13	39,64	38,43	39,04	NO	SI
14	41,79	39,29	40,54	NO	SI
15	36,29	38,00	37,14	NO	SI
16	40,50	39,00	39,75	NO	SI

Mediante un gráfica lineal en la Figura 124 se puede observar la concentracion del MPV₄ con los valores obtenidos en el monitoreo, donde sobrepasan los limites permisibles establecidos por la OMS, donde los valores mas altos se evidencian en la mañana esto es debido a que en horarios de la mañana existe mayor actividad de las zonas de influencia al area de estudio, sin embargo cumplen con la norma establecida por el TULSMA.

FIGURA 124. Comparación de la concentración de MPV₄ con los LMP de la OMS y el TULSMA.



5.30.3 Análisis diario de la concentración de Material MPV₁₀ en la comunidad de San José de Chanchahuan en comparación con los LMP de la OMS y el TULSMA

El análisis de la concentración de MPV₁₀ como se muestra en la Tabla 44, donde se visualiza la comparación con respecto a los LMP que se establece por la OMS (50 ug/m³) y el TULSMA (100 ug/m³), en donde los valores registrados en el monitoreo en un periodo de 16 días no sobrepasan los LMP por las normativas en mención. Sin embargo, la mayor parte de los días presenta un promedio cercano a los LMP por la OMS.

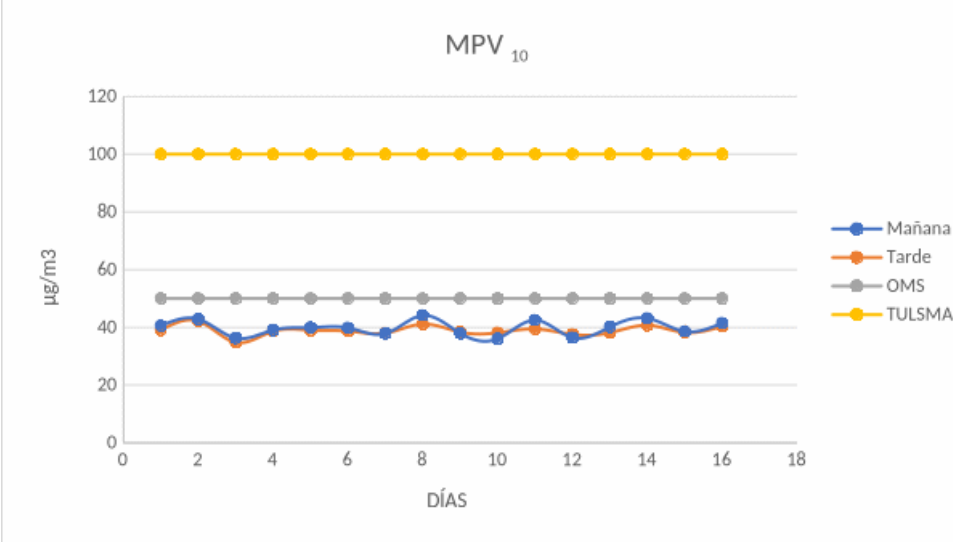
TABLA 44. Concentración de PM₁₀ y su comparación con los valores de los LMP de la OMS y el TULSMA

DIA	HORA		PROMEDIO	LMP OMS	LMP TULSMA
Nº	8:30-10:30	12:00-14:00	(ug/m ³)	50 ug/m ³	100 ug/m ³
1	40,57	39,07	39,82	SI	SI
2	42,86	42,14	42,50	SI	SI
3	36,29	34,79	35,54	SI	SI
4	39,07	38,64	38,86	SI	SI
5	39,93	39,00	39,46	SI	SI
6	39,86	38,71	39,29	SI	SI
7	37,86	38,00	37,93	SI	SI
8	44,14	41,14	42,64	SI	SI
9	37,93	38,36	38,14	SI	SI
10	36,07	38,14	37,11	SI	SI
11	42,50	39,43	40,96	SI	SI

DIA	HORA		PROMEDIO	LMP OMS	LMP TULSMA
12	40,14	37,57	38,86	SI	SI
13	40,14	38,14	39,14	SI	SI
14	43,14	40,71	41,93	SI	SI
15	38,57	38,21	38,39	SI	SI
16	41,50	40,36	40,93	SI	SI

Mediante una gráfica lineal conseguimos observar de mejor manera la comparación de las concentraciones dentro de las horas y días establecidos como lo muestra la Figura 125, donde los LMP (gris, amarillo) se encuentran dentro del rango establecido tanto para la OMS y el TULSMA, visualizamos también dentro de los horarios establecidos de manera diaria tanto en la mañana como en la tarde (azul, naranja), que la mayor cantidad de concentración de MPV_{10} se encuentran en horarios de la mañana y cercanos a los LMP establecidos por la OMS, esto debido a que existe mayor actividad en el sector tanto de la industria como del tráfico vehicular que en su mayoría son de transporte pesado.

FIGURA 125. Comparación de la concentración de MPV_{10} con los LMP de la OMS y el TULSMA.



5.31 Simulación de la dispersión de material particulado

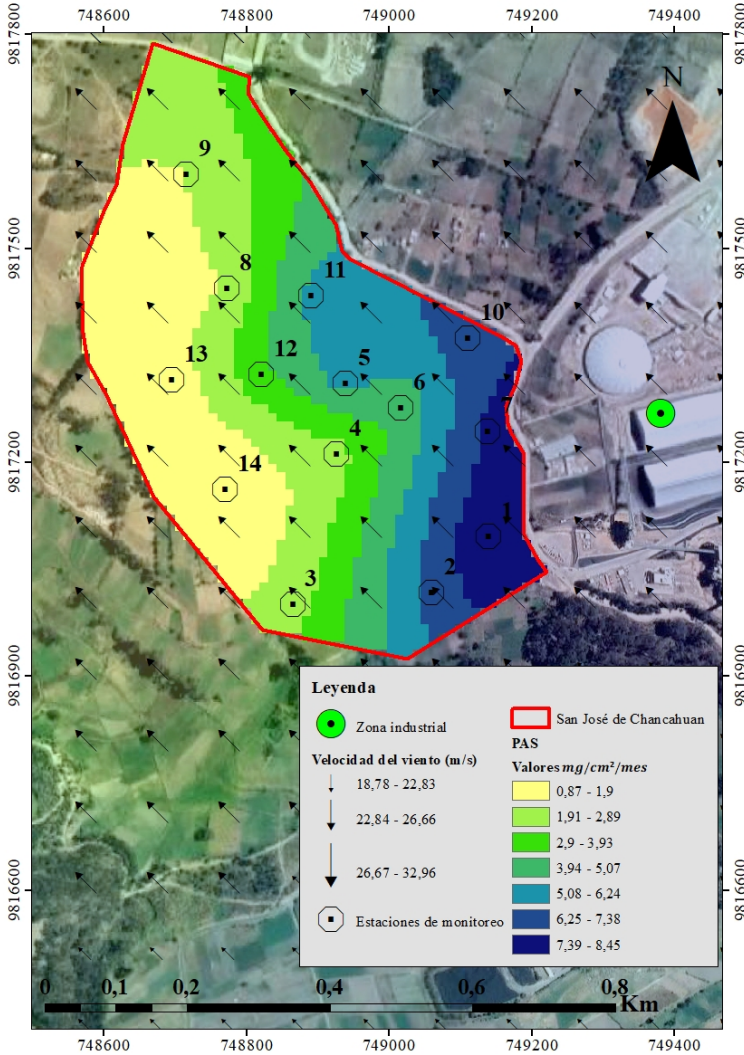
Para la representación se realizaron cuatro mapas para la dispersión de PMS y PMV, con los valores promedio mensual de cada estación incluyendo los dos horarios de muestreo con los datos de las diferentes estaciones meteorológicas cercanas de la zona de estudio (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ESPOCH, Dirección de Aviación Civil DAC, Universidad Nacional de Chimborazo, Estación Meteorológica de

Cajabamba) con datos de dirección y velocidad del viento.

5.31.1 Simulación de la concentración de Polvo Atmosférico Sedimentable

En la Figura 126 se observa la dispersión del PMS de acuerdo a los valores reflejados en la Tabla 41, donde se puede identificar los puntos más relevantes de cada una de las estaciones fijas en la comunidad de San José de Chanchahuan viéndose afectada por la dirección y velocidad del viento, siendo los puntos con mayor concentración en la estación 1, 7 y 10 con un valor de 8,45; 7,69; 6,82 mg/cm²/mes respectivamente debido a la cercanía que existe entre la estación y la zona industrial y los valores con menor concentración las estaciones: 14,13 y 9 con un valor de 0,87; 1,52; 1,9 mg/cm²/mes respectivamente, incumpliendo con la normativa de la OMS y el TULSMA en casi todos los valores a excepción de la estación 14 cumpliendo con la normativa del TULSMA únicamente.

FIGURA 126. Dispersión de la concentración de polvo atmosférico sedimentable.



5.31.2 Simulación de dispersión de material particulado volátil 2,5 μm

Para la representación de PMV 2,5 μm se realizó un análisis geo estadístico con la ayuda de sistemas de información geográfica mediante un promedio mensual en cada estación como lo podemos observar en la Tabla 45.

TABLA 45. Datos mensuales de dispersión de material particulado volátil 2,5 μm

ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	FILTRO 2,5 μm ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	749140,1	9817096,09	38,47
2	749059,48	9817016,63	37,50
3	748865	9817000	37,31
4	748926,5	9817210,55	37,88

ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	FILTRO 2,5 μm ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
5	748939,1	9817310,81	37,16
6	749017,17	9817275,82	37,75
7	749139,19	9817242,59	38,00
8	748773,22	9817443,75	37,28
9	748715,7	9817603,35	36,84
10	749111,32	9817373,63	37,91
11	748890,94	9817433,41	37,75
12	748820,69	9817323,07	37,84
13	748695,84	9817315,79	37,53
14	748770,24	9817161,68	37,34

En la Figura 127 se observa la dispersión del PMV $2,5 \mu\text{m}$ de acuerdo a los valores reflejados en la Tabla 45, donde se pueden identificar los puntos más relevantes de cada una de las estaciones en la comunidad de San José de Chanchahuan viéndose afectada por la dirección y velocidad del viento, siendo los puntos con mayor concentración en la estación 1, 7 y 10 con un valor de 38,47; 38; 37,91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente debido a la cercanía que existe entre la estación y la zona industrial y los valores con menor concentración las estaciones: 9, 5 y 8 con un valor de 36,84; 37,16; 37,28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, incumpliendo con la normativa de la OMS que establece 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como límite máximo permisible y cumpliendo con la normativa ecuatoriana del TULSMA que establece 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como límite máximo permisible.

Mapa de dispersión de contaminantes en San José de Chanchahuan

Legenda

- Zona industrial
- San José de Chanchahuan
- Velocidad del viento (m/s)**
 - ↓ 18,78 - 22,83
 - ↓ 22,84 - 26,66
 - ↓ 26,67 - 32,96
- Estaciones de monitoreo
- PM_{2,5} $\mu\text{g}/\text{m}^3$**
 - 36,84 - 37,08
 - 37,09 - 37,29
 - 37,3 - 37,48
 - 37,49 - 37,66
 - 37,67 - 37,84
 - 37,85 - 38,07
 - 38,08 - 38,47

Valores $\mu\text{g}/\text{m}^3$

0 0,1 0,2 0,4 0,6 0,8 Km

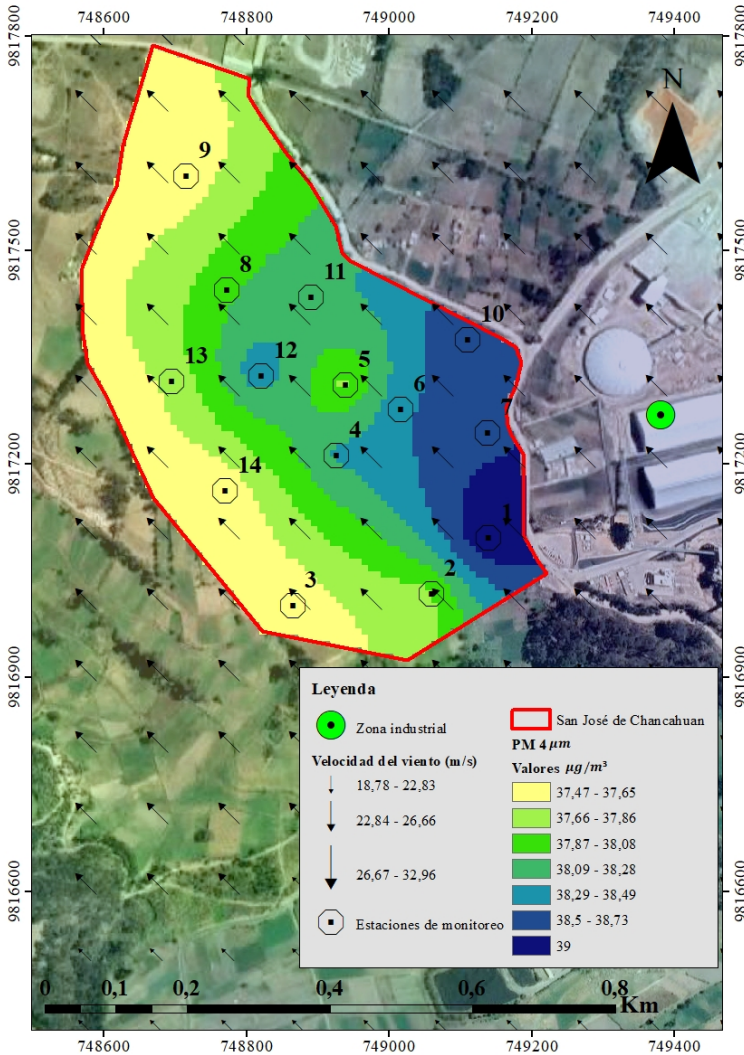
Para la representación de PMV 4 μm se realizó un análisis geo estadístico con la ayuda de sistemas de información geográfica mediante un promedio mensual en cada estación como lo podemos observar en la Tabla 46.

ESTACIONES	LATITUD	LONGITUD	FILTRO ₄ μm ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	749140,1	9817096,09	39,00
2	749059,48	9817016,63	37,81
3	748865	9817000	37,53
4	748926,5	9817210,55	38,31

ESTACIONES	LATITUD	LONGITUD	FILTRO $4 \mu\text{m}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
5	748939,1	9817310,81	37,81
6	749017,17	9817275,82	38,44
7	749139,19	9817242,59	38,59
8	748773,22	9817443,75	38,00
9	748715,7	9817603,35	37,50
10	749111,32	9817373,63	38,69
11	748890,94	9817433,41	38,28
12	748820,69	9817323,07	38,41
13	748695,84	9817315,79	37,69
14	748770,24	9817161,68	37,47

En la Figura 128 se observa la dispersión del PMV $4 \mu\text{m}$ de acuerdo a los valores reflejados en la Tabla 46, donde se pueden identificar los puntos más relevantes de cada una de las estaciones en la comunidad de San José de Chanchahuan viéndose afectada por la dirección y velocidad del viento, siendo los puntos con mayor concentración en la estación 1, 10 y 7 con un valor de 39; 38,69; 38,59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente y los valores con menor concentración las estaciones: 14, 9 y 3 con un valor de 37,47; 37,5; 37,53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, incumpliendo con la normativa de la OMS que establece 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como límite máximo permisible y cumpliendo con la normativa ecuatoriana del TULSMA que establece 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como límite máximo.

FIGURA 128. Dispersión de material particulado de 4 μm



5.31.4 Simulación de la distribución de material particulado 10 μm

Para la representación de PM_{10} se realizó un análisis geo estadístico con la ayuda de sistemas de información geográfica mediante un promedio mensual en cada estación como lo podemos observar en la Tabla 47.

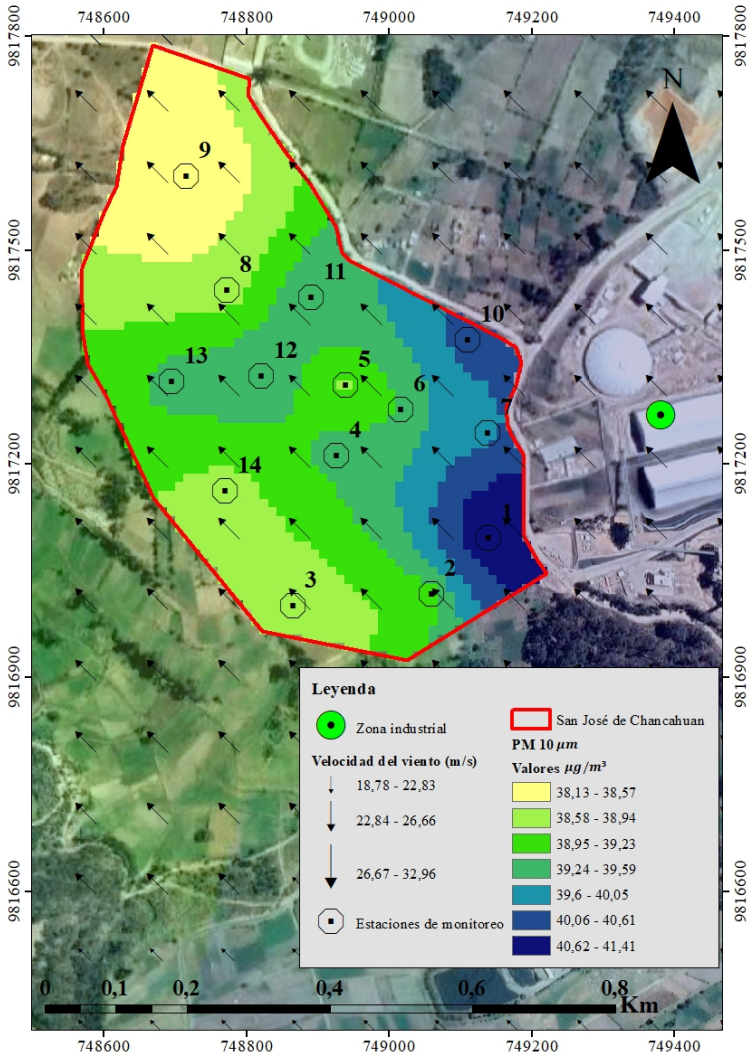
TABLA 47. Datos Mensuales de dispersión de material particulado volátil 10 μm

ESTACIONES	LATITUD	LONGITUD	FILTRO 10 μm ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	749140,1	9817096,09	41,41
2	749059,48	9817016,63	39,09
3	748865	9817000	38,78
4	748926,5	9817210,55	39,34
5	748939,1	9817310,81	38,88

ESTACIONES	LATITUD	LONGITUD	FILTRO $_{10 \mu m}$ ($\mu g/m^3$)
6	749017,17	9817275,82	39,25
7	749139,19	9817242,59	39,88
8	748773,22	9817443,75	38,72
9	748715,7	9817603,35	38,13
10	749111,32	9817373,63	40,31
11	748890,94	9817433,41	39,53
12	748820,69	9817323,07	39,47
13	748695,84	9817315,79	39,34
14	748770,24	9817161,68	38,81

En la Figura 129 se observa la dispersión del $PMV_{10 \mu m}$ de acuerdo a los valores reflejados en la Tabla 47, donde se pueden identificar los puntos más relevantes de cada una de las estaciones en la comunidad viéndose afectada por la dirección y velocidad del viento, siendo los puntos con mayor concentración en la estación 1, 10 y 7 con un valor de 41,41; 40,31; 39,88 $\mu g/m^3$ respectivamente y los valores con menor concentración en las estaciones: 9, 8 y 3 con un valor de 38,13; 38,72; 38,78 $\mu g/m^3$ respectivamente, cumpliendo con la normativa de la OMS que establece 50 $\mu g/m^3$ como límite máximo permisible y cumpliendo con la normativa ecuatoriana del TULSMA que establece 100 $\mu g/m^3$ como límite máximo.

FIGURA 129. Dispersión de material particulado de 10 μm



CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La presente investigación se ha dedicado a determinar la concentración del PMS y PMV para identificar la calidad del aire de la zona de estudio para beneficiar con los resultados diferentes zonas de la provincia de Chimborazo.

Calpi

- Con respecto al $PM_{2,5}$ y PM_{10} se registró concentraciones que sobrepasan los LMP de la OMS y TULSMA en el punto de monitoreo 2, debido a que se encuentra ubicado cerca de las industrias, sin embargo, los demás puntos de monitoreo, al estar ubicados alejados de la mayoría de industrias, registraron concentraciones por debajo del valor permisible propuesto por las instituciones antes mencionados.
- Se encontró concentraciones de $PM_{2,5}$ similares al PM_{10} demostrando que en el dominio de estudio prevalece la quema de combustibles fósiles, actividades industriales y tráfico vehicular, así como la emisión de polvo atmosférico.
- Correspondiendo al análisis de PMS, se constató que las muestras 1 y 2 de concentraciones $0,535 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ y $1,128 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ respectivamente sobrepasan los LMP propuestos por la OMS, mientras que para el TULSMA solamente la muestra 2 sobrepasa el LMP, sin embargo, las cinco muestras restantes no sobrepasan los LMP propuestos por las instituciones antes ya mencionadas debido a que estos puntos de muestreo están alejados de las industrias que generan PM.
- Con relación a la morfología del PM, se caracterizó por tener forma irregular, rectangular-laminar, alargada, amorfa, además que los tamaños de las partículas están comprendidos entre $13,23 \mu\text{m}$ y $47,79 \mu\text{m}$, debido a la aglomeración de las partículas por humedad.
- Mediante la técnica de microscopía electrónica se han obtenido elementos químicos representativos tanto de combustión incompleta de combustibles fósiles como

el Sb (Antimonio), C (Carbono) y O (oxígeno), así como elementos representativos de industrias dedicados a la elaboración de cemento o cal, como el Ca (Calcio) y el Si (Silicio).

- De acuerdo al modelo de simulación, la mayor concentración tanto de PMS y PMV se da en el punto de monitoreo 2, debido a la mayor cantidad de industrias presentes, mientras que en los demás puntos las concentraciones son menores, debido a la dirección del viento que estaba en sentido S270E a S329E con velocidades del viento que varía de entre media y alta con valores de 2,70 m/s a 6,26 m/s respectivamente.
- Se encontraron elementos como el Fe, Sb, C, O representativos de la quema de combustibles fósiles, así también elementos como, Ca y Si, que representan a suelos con de carbonatos de calcio y a actividades de fabricación de bloques y Cal. - La mayor concentración de PMV y PMS se da en el punto de monitoreo 2, sobrepasando los límites máximos permisibles establecidos por la OMS y el TULSMA.
- La concentración tanto para el PMV como para PMS en los puntos de monitoreo 1, 3, 4, 5, 6, y 5 no sobrepasan los LMP propuestos por la OMS y el TULSMA.
- La dirección del viento para este período de monitoreo fue en sentido S270E a S329E con velocidades de entre media y alta de 2.70 m/s a 6.26 m/s respectivamente, que permiten una buena dispersión del PM en el poblado parroquial de Calpi (puntos:1,3,4,5,6,7).
- Se encontró mayor concentración de $PM_{2,5}$ respecto al PM_{10} demostrando que en el dominio de estudio prevalece la quema de combustibles fósiles, actividades industriales y tráfico vehicular
- Con respecto al $PM_{2,5}$ y PM_{10} se registró concentraciones que sobrepasan los LMP de la OMS y TULSMA en el punto de monitoreo 2, debido a que se encuentra ubicado cerca de las industrias, sin embargo, los demás puntos de monitoreo, al estar ubicados alejados de la mayoría de industrias, registraron concentraciones por debajo del valor permisible propuesto por las instituciones antes mencionados.

CHAMBO

- Se hace más evidente la presencia de emisiones de gases de combustión de los diferentes hornos en la matriz durante las primeras horas de la mañana, debido a su presencia en el ambiente.
- Dentro de la comparación con las normativas para el PMS, la mayoría de datos superan el LMP únicamente de la OMS, es decir que si existe acumulación.
- La estación 4 supera ambas normativas OMS y TULSMA, instalada en el GAD municipal de Chambo, sector céntrico de la matriz, en este lugar aglomera el mayor índice de tránsito y tráfico vehicular, pues están presentes buses cantonales y urbanos, vehículos livianos, camiones, etc., considerado como sector de uso comercial, institucional y residencial.
- La concentración y dispersión para el MPV en la zona de estudio es en dirección NE y se acumulan en mayor porcentaje en las estaciones 4 y 3 además hay que mencionar que en esta última existe un elevado número de hornos como lo refleja la gráfica de dispersión de 2,5 y 10 μm .
- Las técnicas de microscopía electrónica (MEB), en su morfología se caracterizó por presentar formas irregulares y esféricas, además el diámetro de las partículas oscila entre un rango de 5,2 a 22,00 μm .
- En el microanálisis de rayos X (EDX), en las muestras se encontraron 9 elementos químicos como: Oxígeno, Rubidio, Silicio, Carbono, Aluminio, Antimonio, Calcio, Sodio, Potasio, mismas que son relacionadas con la producción de ladrillos y el tránsito vehicular.

COLTA

- Se logró establecer en los puntos de monitoreo un análisis de correlación de MP 2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ comprendido en las horas de la mañana (07:30-10:00), tienen una correlación fuerte en los puntos MP01, MP4, MP7, MP10, MP12; los puntos MP8, MP5, MP9 y MP14, tienen una baja correlación, debido a que las construcciones o la lejanía de las fuentes limita la movilidad de las partículas. En la tarde (13:00 – 15:30) tiene una correlación fuerte en los puntos MP6, MP9, MP14, mientras que

los puntos MP5, MP6, MP7, MP8 y MP13, tienen una baja correlación, debido a que las construcciones o la movilidad causada por automóviles.

- La correlación de los datos MPV $10 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ comprendidos en la tarde (13:00-15:30), tienen una correlación fuerte en los puntos MP03, MP4, MP7, MP10; mientras que los puntos MP12 y MP13, existe una correlación inversa, debido a la lejanía de las fuentes de emisión.
- La concentración de PMS del punto de monitoreo MP7, espacialmente cercano a la fuente de emisión, con un valor de $0.5072 \text{ mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$, sobrepasan el LP, pero no supera el LP propuesto por el TULSMA de $1 \text{ mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$; la comparación de la concentración del $\text{PM}_{2.5}$ y PM_{10} con respecto a la OMS y el TUSLMA, concluye que todos los valores obtenidos superan el LMP de la OMS $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pero no sobrepasan el LPM del TULSMA, sin embargo lo que demuestra que los niveles de concentración del MP son elevados debido a las grandes cantidades de material que emana por las actividades industriales, los cuales transporta los contaminantes atmosféricos a larga distancia.
- El modelo de dispersión geoespacial, determinó un valor de precisión adecuado para poder elaborar los mapas de PMS y MPV, estableciendo una estrecha relación de la concentración con los factores climáticos y topográficos, de esta manera se puede realizar una aproximación a los efectos que tienen sobre la salud la constante emisión por parte de la actividad industrial, para tomar medidas adecuadas frente a la elaboración de planes de contingencia en las comunidades pertenecientes a Gatazo.

CAJABAMBA

- Los valores obtenidos de PMS sobrepasa la norma de la OMS, pero quedando por debajo de la norma dada en el Acuerdo 097-A, pues en el análisis de PMS que se efectuó en el área de estudio arrojó datos de concentraciones elevadas, casi todas las muestras (20 muestras) excedían el LMP dictado por la OMS ($0.5 \text{ mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$), una muestra obtuvo el LMP del Acuerdo 097-A ($1 \text{ mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$), quedando en evidencia que la calidad del aire puede verse afectada y por ende afectar a largo plazo la salud de los habitantes.

- La caracterización del PMS obtuvo resultados que dictan que existe gran presencia de partículas purvulentas (de polvo) y en menor medida partículas negras generadas por la combustión, siendo así que las emisiones por fuentes fijas son principalmente causadas por la presencia de fábricas de bloques, campos agropecuarios y la fábrica de harina que se encuentra cercana al área de estudio, mientras que las emisiones por fuentes móviles son causadas por los automotores que circulan por la zona.
- El mapa de concentración y dispersión demostró los niveles de PMS que existen en la zona, dividiéndose en 3 categorías: alto ($1 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$), medio ($0.78 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$) y bajo ($0.56 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$), visualmente podemos verificar que la zona norte y sur son las zonas con mayor concentración de PMS de la investigación.
- Las emisiones de MP de origen natural juegan un rol importante, estas son generadas por el arrastre del viento y dentro del área de estudio se evidenció muchas superficies sin cobertura vegetal, calles/carreteras sin pavimentar siendo una fuente generadora de MP relevante en el estudio.

Barrio Juan Montalvo

Con los datos obtenidos, observamos que en la zona norte del barrio Juan Montalvo existe una mayor concentración de PMS, superando los LMP.

En la caracterización del PMS se obtuvo como resultados la presencia de grandes partículas pertenecientes al smoke vehicular, polvo y ciertos metales que se pueden deber a las diversas actividades que se generan en la zona.

Con el mapa de concentración y dispersión se pudo identificar los niveles de PMS que se encontraron en la zona, las cuales fueron divididas de 2 maneras: Alta ($0.1142 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$) y la Baja que fue de ($0.019 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$), siendo así que donde existe una mayor presencia de PMS fue respectivamente a la zona norte y sur dentro de nuestra investigación.

Barrio la libertad

- Los valores de PMS encontrados en el presente estudio, pueden ser considerados como indicadores de las condiciones alarmantes de la calidad del aire en el barrio La Libertad, ya que se pudo evidenciar concentraciones superiores de las estaciones: 2, 3, 4, 5, 6, 9, 14, 15, 16, 24, 26 a los valores recomendados por la OMS y las establecidas por el ACUERDO MINISTERIA N°97/A. Por lo cual se determina la necesidad de seguir con los monitoreos; así mismo difundir la información obtenida con la población.
- El análisis morfológico del MP nos mostró figuras de tipo irregular, alargadas y amorfas. Este tipo de formas son propias de procesos como la elaboración de bloques, aserraderos, y del mal estado de las vías que provocan que existan estas partículas, lo cual representa un riesgo para la salud de la población del área de estudio.
- Mediante el uso de la herramienta SIG tanto el mapa de concentración y dispersión mostraron los niveles de PMS que existen en la zona de estudio, los cuales se dividen en 3 categorías: alto ($1,69 \text{ mg/cm}^2 / \text{mes}$), medio ($0,78 \text{ mg/cm}^2 / \text{mes}$) y bajo ($0,22 \text{ mg/cm}^2 / \text{mes}$), lo que podemos verificar visualmente que la zona norte y sur del barrio la Libertad son las zonas con mayor concentración de PMS de la investigación con un radio de exposición al norte de 150 metros y al sur de 100 metros.
- Las emisiones de MP de origen natural en el área de estudio tienen un papel importante, son generadas por el arrastre del viento, mismo que se evidencia por calles/carreteras sin pavimentar y zonas sin cobertura vegetal siendo una fuente generadora de MP relevante por el alto tránsito vehicular de la zona.

Barrio la ESPERANZA

De acuerdo a los resultados obtenidos en el barrio “La Esperanza”, nos revelan que las concentraciones de PMV durante los 2 minutos de muestreo, superan los LMP, tanto de la legislación ecuatoriana, como de la OMS, llegando a alcanzar valores máximos de hasta $29,83 \text{ } \mu\text{g/m}^3$, $35,5 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ y $42,67 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ para $\text{PM}_{2,5}$, PM_4 y PM_{10} , respectivamente, siendo las 12h00, la hora pico para dichos niveles.

Para el análisis de PMS, los datos obtenidos excedieron en su totalidad los LMP de la OMS, llegando a alcanzar una concentración máxima de $1,36 \text{ mg/cm}^2 / \text{mes}$ en la

muestra 1, no siendo el mismo caso para la legislación ecuatoriana, donde solo la muestra 1,3 y 5, superaron la norma nacional.

Con respecto a las elevadas concentraciones alcanzadas de PMV y PMS, durante el periodo de monitoreo, podemos señalar varios motivos, como el escaso control a la industria maderera en el sector; todos los aserraderos carecen de una infraestructura apropiada para su funcionamiento, la mayoría son a cielo abierto, sumado a esto, la inexistencia de equipos de trabajo adecuados, hacen que este sector de la ciudad de Riobamba, realmente posea una contaminación atmosférica preocupante, presentándose varios problemas de salud en los moradores, como vista y garganta irritada.

- El MO, nos proporcionó imágenes de la forma irregular de las partículas, identificando fibras largas, cortas y con desgarros, característico de las maderas blandas (coníferas); además, en menor proporción, se observaron, fibras planas y compactas, lo que es característico de las maderas duras (latifoliadas), resultados relevantes, debido a que estas partículas se alojan en varias partes del aparato respiratorio, causando daños en la salud de los moradores del sector.
- Mediante el análisis geoestadístico, se pudo determinar el comportamiento del PMV dentro del barrio “La Esperanza”, durante el periodo de monitoreo de 2,5 micrómetros; los resultados obtenidos son directamente proporcionales en función a los lugares de emisión de PM (aserraderos), mostrándonos que la zona 1 del área de estudio, se presentó una mayor concentración de PMV, esto debido a la presencia de 6 aserraderos cercanos, que aportan con PM a la atmósfera; el PMV tuvo una dirección NO, con una velocidad del viento promedio de 1,3 m/s; además, es muy importante mencionar que el constante flujo vehicular y la existencia en el lugar de un centro de acopio para material de construcción, son factores que también contribuyen con gran cantidad de particulado al sector.

San José de CHANCAHUAN

- Mediante el análisis de PMS se verificó que en los puntos correspondientes a las estaciones 1 y 7 con 8,45 y 7,69 mg/cm²/mes respectivamente sobrepasan los límites máximos permisibles por la OMS y el TULSMA a excepción de la estación catorce que se encuentre dentro de los límites permisibles de la legislación ecuatoriana la afectación se ve reflejada con mayor magnitud debido a la actividad industrial cercana.

- Como consecuencia de lo expuesto en el estudio, podemos evidenciar que el PMV 2,5 μm y 4 μm cumple con la normativa ecuatoriana TULSMA e incumple con la OMS, mientras que en el PMV 10 μm refleja valores dentro de los límites máximos permisibles tanto de la OMS como el TULSMA.
- De acuerdo a los niveles de concentración de PMV y PMS coincide que las estaciones 1, 7 y 10 como fuentes de mayor concentración siendo las más representativas del área de estudio debido a la cercanía de la zona industrial como también de calles transitadas por maquinaria de transporte pesado sin un control de dispersión de áridos. Dentro de la simulación expuesta se pudo evidenciar que la dispersión del PM tiene una dirección de viento Noreste 135° con una velocidad entre 18,78 m/s y 32,96 m/s, afectando directamente el área de estudio.

6.1 Recomendaciones

Es imprescindible fortalecer las relaciones entre la comunidad y las industrias aledañas, promoviendo espacios permanentes de diálogo, cooperación y responsabilidad ambiental. Una interacción transparente y constante permitirá establecer acuerdos que generen beneficios mutuos, como la reducción de impactos ambientales, el desarrollo de programas sociales y la implementación de tecnologías más limpias. La articulación entre actores industriales, autoridades locales y habitantes del sector contribuye significativamente a la construcción de confianza y a la prevención de conflictos socioambientales.

- **La población debe mantenerse informada respecto a los riesgos asociados al MP** y a sus efectos sobre la salud humana, la agricultura y la ganadería. Para ello, resulta necesario implementar campañas de sensibilización comunitaria basadas en un lenguaje accesible y con información científica validada. Estas actividades pueden incluir charlas barriales, talleres participativos y material divulgativo que permita comprender la gravedad de la exposición prolongada al MP, así como la importancia de adoptar medidas preventivas tanto a nivel individual como colectivo.
- **Se recomienda realizar estudios complementarios relacionados con ruido y vibraciones en el área de estudio**, dado que parte de la comunidad ha manifestado inconformidad respecto a las actividades desarrolladas en la zona industrial. Monitoreos periódicos permitirán identificar los niveles reales de afectación, verificar su cumplimiento con la normativa vigente y establecer medidas correctivas. Este tipo de análisis

integrales son fundamentales para evaluar la calidad ambiental en su conjunto y para garantizar un entorno seguro y saludable para los habitantes.

- **Es necesario efectuar mediciones continuas en las zonas analizadas y en sectores circundantes**, tanto para PMV (PM_{10} y $PM_{2.5}$) como para PMS. El seguimiento a largo plazo facilita la generación de series de datos históricos que permiten identificar tendencias de incremento o disminución en las concentraciones de contaminantes. Esta información resulta crucial para evaluar la calidad del aire, medir la efectividad de las acciones implementadas, sustentar la toma de decisiones y, en general, mejorar la calidad de vida de la población asentada cerca de zonas industriales.
- **La instalación de estaciones fijas de monitoreo debe realizarse a nivel del suelo y en áreas completamente libres de obstáculos**, evitando la interferencia de edificios, árboles u otras estructuras que puedan alterar la deposición natural del PMS. De igual forma, se recomienda verificar que las cajas Petri y los papeles filtro se coloquen adecuadamente, asegurándose de que no sean desplazados por factores meteorológicos como el viento o la lluvia. Un montaje correcto garantiza la obtención de datos confiables y la representatividad de cada punto de muestreo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (10 de mayo de 2023). Obtenido de <https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-del-material-particulado-pm-sobre-la-salud-y-el-edioambiente#:~:text=Efectos%20sobre%20la%20salud&text=s%20C3%ADntomas%20respiratorios%20aumentados%2C%20como%20irritaci%20C3%B3n,pulmonares%2C%20ni%20C3%B1os%20y%20adultos>

Alvarez , I., Mendez, J., Bello, B., Benitez, B., Escobar, L., & Zamora , R. (2017). Influencia de los contaminantes atmosféricos sobre la salud. *Scielo*, 1165.

Andi, J., Vega, R., & Santillán, G. (2019). Determinación y caracterización de concentraciones de material particulado sedimentable y volátil en el sector Calpi, cantón Riobamba, por incidencia industrial. *Trabajo de Titulación*. Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba.

apportionment research of fine particulate matter and its challenges in China. *Science of The Total Environment*, 917-929.

Arciniégas Suárez , C. A. (12 de junio de 2012). Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM₁₀. *Luna Azul ISSN 1909-2474*, 1-2.

Borrás, E. (2013). Caracterización de Material Particulado Atmosférico Generado en Reactores Fotoquímicos y Procedente de Muestras Ambientales.

Bravo Vásquez , L. L. (2017). Determinación y caracterización de material particulado sedimentable en el casco urbano del cantón Portovelo. *Determinación y caracterización de material particulado sedimentable en el casco urbano del cantón Portovelo*. Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.

Burnett, R. T., Pope, C. A., Ezzati, M., & others. (2018). *Global estimates of mortality associated with long-term exposure to outdoor fine particulate matter*. The New England Journal of Medicine, 379(26), 2595–2605.

Cáceres Lillo, D. D. (2015). *Evaluación de los efectos agudos en la función pulmonar por exposición a material particulado fino (MP 2.5) en niños que viven próximos a una playa contaminada con relaciones mineros, Chañaral, Chile*. Universitat Autònoma de Barcelona. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10803/333059>

Carranza, J. (2021). La incorporación del Material Particulado. *Curso de Exten-*

sión Universitario, 10.

Cohen, A. J., Brauer, M., Burnett, R., et al. (2017). *Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: An analysis of data from the Global Burden of Disease Study 2015*. *The Lancet*, 389(10082), 1907–1918.

Díaz, V. (2018). *Informe anual de la calidad de aire*. Quito: Secretaría de Ambiente.

EPA. (2022, 23 mayo). *Efectos del material particulado (PM) sobre la salud y el medioambiente*. US EPA. Recuperado 20 de junio de 2022, de <https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-del-material-particulado-pm-sobre-la-salud-y-el-medioambiente#:~:text=Efectos%20sobre%20la%20salud&text=s%3%ADntomas%20respiratorios%20aumentados%2C%20como%20irritaci%C3%B3n,pulmonares%2C%20ni%C3%B1os%20y%20adultos%20mayores>.

Escudero, P. (2017). “*Material particulado y su incidencia en alteraciones respiratorias en los trabajadores de la construcción en viviendas rurales tipo MIDUVI*. UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO, Ambato.

ESTRUCPLAN. (2015). Transporte y dispersión de contaminantes en el aire ambiental. Retrieved from <https://estrucplan.com.ar/producciones/contenido-tecnico/p-efluentes-liquidos-y-gaseosos/transporte-y-dispersion-de-contaminantes-en-el-aire-ambiental/>

Flores, J., Manoj, S., Junming, W., & Denise, H. (2011). Particulate matter dispersed by vehicles running on agricultural unpaved roads. *Terra Latinoamericana*, 29, 23–24.

Galvis, S., Leon, I., Padilla, K., Pombo, M., Rada, M., Vera, J., & Rebolledo, R. (2021). Material particulado y trastornos de los sistemas cardiovascular y respiratorio en trabajadores de diferentes áreas: una revisión narrativa. *Scielo*, 367.

Gamboa, S., & Mora, C. (2022). *Análisis de la exposición personal a material particulado, cromo y cadmio en la ciclovía dominical en el tramo de la avenida Boyacá desde la calle 170 hasta la calle 66*. Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/44417/2022sof%c3%adagamboacarolinamora.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

García, P. (2010). *Avances en aglomeración y compactación de partículas*. *Servicio de Publicaciones e Intercambio Científico*. Universidad de Santiago de Compostela. Retrieved from <https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/2822/978849887>

4266_content.pdf;jsessionid=808D37B254046D51C5E04DAAA458CBF9?sequence=1

Gaviria, C. F., Muñoz, J. C., & González, G. J. (2012). Contaminación del aire y vulnerabilidad de individuos expuestos: un caso de estudio para el centro de Medellín. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 30(3), 316–327. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnsp/v30n3/v30n3a08.pdf>

González Espinoza, L. H., & Sánchez Carrión, A. C. (2021). Determinación de material particulado sedimentable proveniente del parque industrial del cantón Cuenca y su influencia en las zonas aledañas. (*Tesis de Ingeniería*). Universidad de Cuenca, Cuenca.

Gutiérrez, A., & Nava, A. (2020). *Air pollution in Latin America: Current challenges and policy recommendations*. Environmental Research, 188, 109–222.

Hoek, G., Krishnan, R. M., Beelen, R., et al. (2013). *Long-term air pollution exposure and cardio-respiratory mortality: A review*. Environmental Health, 12(43), 1–15.

Huatuco, M. (2018). Influencia del material particulado sedimentable en el secuestro de carbono en la vegetación de Lima. *Para Optar el Grado de Maestría en Gestión Ambiental*. Universidad Nacional Federico Villareal, Lima.

IGM. (2014). *Cartografía Base Ecuador 50000*. Quito: IGM.

INAMHI. (2020). *Boletín Climatológico*. Quito: INAMHI.

ISTAS. (2012). ISTAS: Chemicals harmful to the atmosphere.

Lata, D. (2022). *Determinación de material particulado sedimentable en la parroquia Cajabamba, zona urbana, Ecuador*. Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador. Obtenido de <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/10171/1/Lata%20A.%2c%20Dennys%20F.%20%282022%29%20Determinación%20de%20material%20particulado%20sedimentable%20de%20la%20parroquia%20Cajabamba%2c%20zona%20urbana%2c%20Ecuador..pdf>

Loaiza, Y. (16 de septiembre de 2019). Obtenido de <https://gk.city/2019/09/16/aire-contaminado-ecuador-ciudades/>

Marcos, R. (2008). Estudio comparativo para la determinación del polvo atmosférico sedimentable empleando las metodologías de tubo pasivo y de placas receptoras en la Ciudad Universitaria de San Marcos, Lima. *CEDIT*, 51.

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (27 de febrero

de 2022). Obtenido de [https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/prob-amb/particulas.aspx#:~:text=La%20contaminaci%C3%B3n%20atmosf%C3%A9rica%20por%20material,del%20hombre%20\(causas%20antropog%C3%A9nicas\)](https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/prob-amb/particulas.aspx#:~:text=La%20contaminaci%C3%B3n%20atmosf%C3%A9rica%20por%20material,del%20hombre%20(causas%20antropog%C3%A9nicas))

Nuñez, Y. (2019). Estimación de fuentes de material particulado atmosférico (PM₁₀ y PM_{2.5}) en la ciudad de Barranquilla, Colombia. (*Magíster en Desarrollo Sostenible*). Universidad de la Costa - CUC, Barranquilla.

OMS. (2018). Calidad del aire ambiente (exterior) y salud. Retrieved from [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

Perez, V., & Gía, J. (2013). *Diagnostico y monitoreo de la calidad del aire en los predios de la Universidad Central del Ecuador* (Universidad Central del Ecuador). Retrieved from file:///C:/Users/USER/Desktop/TESIS/T-UCE-0008-P004.pdf

Pui, D. Y. H., Chen, S.-C., & Zuo, Z. (2014). PM_{2.5} in China: Measurements, sources, visibility and health effects, and mitigation. *Particuology*, 13, 1–26. <https://doi.org/10.1016/j.partic.2013.11.001>

Saldarriaga, J. (2019). Niveles y características del material particulado sedimentable en la ciudad de Lurigancho-Huachipa, 2015. *Titulo Profesional*. Escuela Académico profesional de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente, Tumbes.

Salinas, P. (2012). Contaminación atmosférica por material particulado y consultas de urgencia por morbilidad respiratoria en menores de 5 años en la ciudad de Valdivia, período mayo-julio, año 2010. 2012. Universidad Austral de Chile, Chile.

Salini Calderón, G. A., & Medina Mitma, E. J. (2017). Estudio sobre la dinámica temporal de material particulado Pm₁₀ emitido en Cochabamba, Bolivia. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 33(3), 437-448.

Santamaría, J. M. (2008). Obtenido de <https://zonahospitalaria.com/efectos-del-material-particulado-en-la-salud/>

Santillán Lima, G. P., Damián Carrión, D. A., Rodríguez Llerena, M. V., Torres Rodríguez, S. H., Cargua Catagña, F. E., & Torres Barahona, S. M. (2016). Estimación del grado de contaminación de material particulado atmosférico y sedimentable en el Laboratorio de Servicios Ambientales de la UNACH. *Perfiles*, 2(16), 32-39.

Schwarz, J., Pokorná, P., Rychlík, Š., Škáchová, H., Vlček, O., Smolík, J., ... Hůnová, I. (2019). Assessment of air pollution origin based on year-long parallel measure-

ment of $PM_{2.5}$ and PM_{10} at two suburban sites in Prague, Czech Republic. *Science of The Total Environment*, 664, 1107–1116. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.426>

Vivar, E., & Wilches, I. (2014). Cuantificación de material particulado PM_{10} y su efecto toxicológico-ambiental en la ciudad de Azogues. *Tesis previa a la obtención del título de magíster*. Universidad de Cuenca, Cuenca.

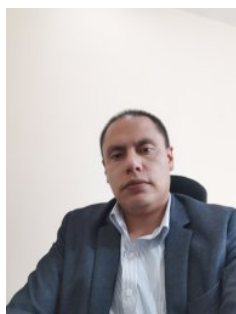
WordClim. (04 de 29 de 2020). *worldclim.org*. Obtenido de <https://www.worldclim.org>

World Health Organization. (2006). *Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide: Global update 2005*. WHO Press.

World Health Organization. (2021). *WHO global air quality guidelines: Particulate matter ($PM_{2.5}$ and PM_{10}), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. WHO.

Zeng, S., & Zhang, Y. (2017). The effect of meteorological elements on continuing heavy air pollution: A case study in the chengdu area during the 2014 spring festival. *Atmosphere*, 8(4), 7–19. <https://doi.org/10.3390/atmos8040071>

DE LOS AUTORES



Guido Patricio Santillán Lima

Nacionalidad: Ecuatoriano

Títulos académicos: Magister en Ingeniería Ambiental Mención En Recursos Hídricos. Magister en Seguridad Industrial Mención Prevención de Riesgos y Salud Ocupacional. Ingeniero Ambiental. De la Universidad Nacional de Chimborazo.

Filiación institucional: Grupo de Investigación Estudios Interdisciplinarios, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo, Av. Antonio José de Sucre km 1½ vía Guano, Riobamba 060103, Ecuador.

Grupo/red/proyecto de investigación: Grupo de Investigación Estudios Interdisciplinarios.

Correo electrónico: psantillan@unach.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0743-9107>

El Ing. Patricio Santillán Lima es Magister en Ingeniería Ambiental, Magister en Seguridad Industrial, Ingeniero Ambiental y Tecnólogo en Informática y Multimedia ha trabajado vinculado en proyectos de investigación en suelo, agua y aire desde hace 17 años en la Universidad Nacional de Chimborazo como docente investigador, director y codirector de proyectos de investigación en el área ambiental en la actualidad es director del proyecto "Determinación de Microplásticos en Material Particulado Sedimentable Generado por Actividad Antrópica en el cantón Riobamba., Ha publicado un libro, capítulos de libro, artículos científicos regionales y de alto impacto, posters, tutorado tesis de pregrado y posgrado.

Líneas de investigación o áreas de especialidad: Modelación atmosférica, Calidad del aire, Contaminación atmosférica, Calidad de agua, Calidad de suelos, Seguridad industrial.



María Rafaela Viteri Uzcátegui

Nacionalidad: Ecuatoriana

Títulos académicos: PhD(c) en Ingeniería Ambiental Química y de los Materiales y Máster en Ingeniería Ambiental de la Universidad Politécnica de Madrid. Ingeniera Ambiental de la Universidad San Francisco de Quito

Filiación institucional: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Grupo/red/proyecto de investigación: Grupo de Energías Alternativas y Ambiente

Correo electrónico: rafaela.viteri@espoch.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6479-4343>

María Rafaela Viteri Uzcátegui es una profesional ecuatoriana especializada en ingeniería ambiental, con amplia experiencia en investigación aplicada a la calidad del aire, inventarios de emisiones atmosféricas, modelación ambiental y gestión ambiental. Su trabajo se ha enfocado en el desarrollo de inventarios de emisiones para Ecuador mediante el uso de herramientas computacionales. Es Ingeniera Ambiental de la Universidad San Francisco de Quito, Máster en Ingeniería Ambiental y PhD(c) en Ingeniería Ambiental Química y de los Materiales de la Universidad Politécnica de Madrid. En el ámbito académico y científico, se desempeña como docente titular en el área de Ingeniería ambiental en grado y posgrado de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), institución en la que participa activamente en proyectos de investigación y vinculación. Además, ha ocupado responsabilidades de gestión científica y académica, incluyendo la presidencia del Comité Institucional de Bioética y la Coordinación Académica de la Carrera de Química. Su producción científica incluye publicaciones relacionadas con riesgos ambientales y salud ocupacional, así como investigaciones orientadas a la gestión ambiental y la sostenibilidad. Becaria de la Unión Europea dentro de programas Erasmus+ y de Movilidad en Investigación. Nominada al premio “Science She Says” del Ministerio de Asuntos Exteriores y Cooperación Internacional de Italia. Consultora y auditora ambiental.

Líneas de investigación o áreas de especialidad: Modelación atmosférica, Calidad del aire, Contaminación atmosférica



Benito Guillermo Mendoza Trujillo

Nacionalidad: Ecuatoriano

Títulos académicos: Doctor en Ingeniería Hidráulica para el ambiente y territorio de la Università Della Calabria (Italia). Ingeniero Ambiental. de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Filiación institucional: Grupo de Investigación Estudios Interdisciplinarios, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo, Av. Antonio José de Sucre km 1½ vía Guano, Riobamba 060103, Ecuador.

Grupo/red/proyecto de investigación: Grupo de Investigación Estudios Interdisciplinarios.

Correo electrónico: benitomendoza@unach.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8555-8350>

El PhD. Benito Guillermo Mendoza Trujillo es Ingeniero Ambiental por la Universidad Nacional de Chimborazo y Doctor en Ingeniería Hidráulica para el Ambiente y Territorio por la Universidad de Calabria, Italia. Se desempeña como Docente Investigador de la UNACH y cuenta con experiencia en docencia de pregrado y posgrado, investigación, consultoría ambiental y gestión académica, incluyendo funciones como Director de Posgrado. Su trayectoria se centra en recursos hídricos, hidrogeología, geofísica aplicada, calidad del agua, modelación hidrológica, manejo de cuencas y planificación ambiental. Ha participado en proyectos de investigación, vinculación y cooperación internacional relacionados con acuíferos, acceso al agua, cambio climático y gestión territorial. Además, posee una amplia producción científica en temas de agua subterránea, calidad ambiental, geomorfología e hidrogeología, lo que evidencia un perfil técnico, académico e investigativo altamente pertinente para la gestión universitaria y el desarrollo de proyectos ambientales e hídricos.

Líneas de investigación o áreas de especialidad: Recursos hídricos, hidrogeología, geofísica aplicada, calidad del agua, modelación hidrológica, manejo de cuencas consultoría ambiental, gestión académica y planificación ambiental.



Marco Marcel Paredes Herrera

Nacionalidad: Ecuatoriano

Títulos académicos: Máster Universitario en Ingeniería Ambiental/ Ingeniero Automotriz

Filiación institucional: Carrera de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo

Grupo/red/proyecto de investigación: Estudios Interdisciplinarios (Unach)

Correo electrónico: marcelparedes@unach.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3762-9633>

MI nombre es Marco Marcel Paredes Herrera, ecuatoriano de nacionalidad y Riobambeño de nacimiento. Doctorando en Ingeniería Ambiental, Química y de Materiales por la Universidad Politécnica de Madrid. Máster Universitario en Ingeniería Ambiental por la Universidad Politécnica de Madrid. Grado en Ingeniería Automotriz por la Universidad UTE. Colaboración en proyectos de I+D+i con el Laboratorio de Modelización Ambiental de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de la Universidad Politécnica de Madrid. Trabajó en el Departamento de Ingeniería Civil, Hidráulica, Energética y Ambiental de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Civil (ETSICCP) de la Universidad Politécnica de Madrid. Participé en el programa COST Action de la UE sobre «Monitoreo, detección, remediación y recuperación de microplásticos y nanoplasticos». Formo parte del grupo de investigación Estudios Interdisciplinarios de la Universidad Nacional de Chimborazo. Profesor titular de la Unach. Actualmente, Director de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Líneas de investigación o áreas de especialidad: Ingeniería Ambiental, Contaminación atmosférica, Materiales sustentables.



Marco Vinicio Rodríguez Llerena

Nacionalidad: Ecuatoriana

Títulos académicos: Magister en Seguridad Industrial Mención Prevención de Riesgos y Salud Ocupacional, de la Universidad Nacional de Chimborazo

Filiación institucional: Grupo de Investigación Estudios Interdisciplinarios, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo, Av. Antonio José de Sucre km 1½ vía Guano, Riobamba 060103, Ecuador.

Grupo/red/proyecto de investigación: Grupo de Investigación Estudios Interdisciplinarios.

Correo electrónico: mvrodriguez@unach.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0743-9107>

Marco Vinicio Rodríguez Llerena es Ingeniero Forestal por la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) y Magíster en Seguridad Industrial con mención en Prevención de Riesgos y Salud Ocupacional por la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH). Posee más de catorce años de experiencia en investigación científica, gestión ambiental, conservación de ecosistemas, seguridad industrial y educación superior, desempeñándose como investigador de la Universidad Nacional de Chimborazo y contribuyendo al fortalecimiento de la investigación institucional mediante el desarrollo de proyectos científicos, producción académica y formación de talento humano. Su trayectoria profesional se ha orientado al estudio de los recursos naturales y la sostenibilidad ambiental, con énfasis en la evaluación de la calidad del suelo y del agua, la conservación de ecosistemas altoandinos, el secuestro de carbono, la biodiversidad, la restauración ecológica y la gestión integral del riesgo. Sus investigaciones se enfocan en comprender la dinámica de agregados del suelo y la materia orgánica asociada como indicadores de calidad y resiliencia de los ecosistemas, aportando evidencia científica sobre los efectos del cambio de uso del suelo en la conservación de los páramos y en la mitigación del cambio climático. Asimismo, ha desarrollado investigaciones relacionadas con la evaluación de servicios ecosistémicos, análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal, monitoreo ambiental y gestión sostenible de cuencas hidrográficas. Ha participado como investigador, coordinador y técnico de investigación en numerosos proyectos científicos vinculados con la caracterización biogeográfica de cuencas hidrográficas, adaptación al cambio climático, conservación y restauración de ecosistemas de páramo, tratamiento y monitoreo de la calidad de aguas, contaminación atmosférica, biodiversidad, análisis de aceites esenciales de especies andinas y estudios interdisciplinarios aplicados a la gestión ambiental. Su experiencia integra trabajo de campo, análisis de laboratorio, procesamiento estadístico, modelamiento espacial y aplicación de tecnologías de teledetección y sistemas de información geográfica. Como resultado de su trayectoria investigativa, ha publicado más de 15 artículos científicos en revistas de alto impacto e indexadas, además de dos capítulos de libro en editoriales académicas de reconocido prestigio. Ha difundido los resultados de sus investigaciones en congresos y eventos científicos nacionales e internacionales, fortaleciendo la transferencia del conocimiento y la cooperación académica. Asimismo, ha sido docente de programas de posgrado en Metodología de la Investigación Científica, Riesgos Mayores y Prevención de Riesgos Laborales, complementando su labor con la dirección y asesoría de trabajos de titulación. Su sólida producción científica y

experiencia en investigación aplicada le permiten liderar proyectos orientados a la sostenibilidad ambiental, la innovación y la conservación de los recursos naturales.

Líneas de investigación o áreas de especialidad: • Medio ambiente y biodiversidad. • Calidad de suelos y secuestro de carbono. • Calidad de agua. • Gestión del riesgo, seguridad industrial y prevención de riesgos laborales. • Teledetección, cartografía SIG y monitoreo ambiental. • Conservación de ecosistemas, inventarios forestales y mecanismos REDD+.



Carlos Andrés Maldonado Chávez

Nacionalidad: Ecuatoriano

Títulos académicos: Magister en Ingeniería Ambiental Mención En Recursos Hídricos de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Filiación institucional: Grupo de Investigación Estudios Interdisciplinarios, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo, Av. Antonio José de Sucre km 1½ vía Guano, Riobamba 060103, Ecuador.

Grupo/red/proyecto de investigación: Grupo de Investigación Estudios Interdisciplinarios.

Correo electrónico: carlosa.maldonado@unach.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0743-9107>

Carlos Andrés Maldonado Chávez (Ecuador) es Magíster en Ingeniería Ambiental con mención en Recursos Hídricos e Ingeniero Ambiental por la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH). Actualmente se desempeña como Profesor Ocasional e investigador de la Facultad de Ingeniería de la UNACH, donde participa en actividades de docencia, investigación y vinculación relacionadas con la hidrología, los recursos hídricos, la gestión ambiental y los ecosistemas altoandinos. Ha participado en más de doce proyectos de investigación enfocados en la conservación de páramos, valoración de humedales, dinámica de carbono en suelos, modelación hidrológica, monitoreo ambiental y gestión integrada de cuencas hidrográficas. Es autor y coautor de diversas publicaciones científicas en revistas indexadas de alto impacto. Asimismo, es desarrollador del software CN-Calcecuador, una herramienta orientada a la estimación distribuida del Número de Curva (Curve Number, CN) mediante la integración de información geopedológica, hidrológica y geoespacial. Posee experiencia en consultoría ambiental y manejo de herramientas especializadas como ArcGIS, QGIS, Google Earth Engine, R, RStudio, Python y HEC-HMS.

Líneas de investigación o áreas de especialidad: Modelación hidrológica, calidad de agua, teledetección, sensores remotos, hidrogeología, geofísica.



Jonathan Javier Orozco Pilco

Nacionalidad: Ecuatoriano

Títulos académicos: Ingeniería Ambiental

Filiación institucional: Grupo de Investigación Estudios Interdisciplinarios, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo, Av. Antonio José de Sucre km 1½ vía Guano, Riobamba 060103, Ecuador.

Grupo/red/proyecto de investigación: Grupo de Investigación Estudios Interdisciplinarios.

Correo electrónico: jonathan.orozco@unach.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7618-4112>

Ingeniero Ambiental por la Universidad Nacional de Chimborazo. Actualmente se desempeña como Técnico de Investigación de la Universidad Nacional de Chimborazo, donde desarrolla actividades de gestión, seguimiento y evaluación de proyectos de investigación, asesoría a investigadores, planificación de programas de capacitación y apoyo a procesos de evaluación institucional. Es responsable de la ejecución de análisis especializados en el Laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido y participa como investigador adjunto en proyectos relacionados con sostenibilidad, gestión de recursos naturales y cambios multitemporales de uso de suelo. Su experiencia se complementa con el manejo de sistemas de información geográfica, teledetección y cartografía temática. Ha contribuido al desarrollo de producción científica mediante publicaciones académicas y la presentación de resultados de investigación en congresos y eventos científicos.

Líneas de investigación o áreas de especialidad: Sistemas de información geográfica, tratamiento de imágenes satelitales, calidad de suelos y microscopía electrónica de barrido.

Esta obra aborda la determinación del material particulado en zonas urbanas y rurales de la provincia de Chimborazo, Ecuador, integrando fundamentos teóricos, procedimientos de muestreo y análisis comparativo de los niveles de contaminación atmosférica. El estudio ofrece una visión aplicada sobre la evaluación del material particulado y su relación con la calidad del aire y el entorno ambiental.

Dirigido a estudiantes, docentes e investigadores, constituye un recurso de apoyo para comprender la medición, interpretación e implicaciones del material particulado en contextos ambientales locales.



Primera edición, 2026



puertomaderoeditorial.com.ar

ISBN 978-631-6557-93-3



9 786316 557933



La Plata - Argentina