



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

CONTAMINACIÓN POR MATERIAL PARTICULADO FINO EN LAS ESCUELAS DEL SECTOR  
DE SAN ANTONIO DE PICHINCHA

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos  
para optar por el título de Ingeniera Ambiental en Prevención y Remediación

Profesor Guía

Ing. Yasser Alejandro González Romero, MSc.

Autora

Radharani Dasi Alzate Luna

Año

2016

## **DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA**

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

---

Yasser Alejandro González Romero  
MSc. en Ingeniería Ambiental  
CI: 070373762-7

### **DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE**

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

---

Radharani Dasi Alzate Luna  
CI: 171433336-4

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi amado Señor Krishna, fuente de todo lo existente, mi hermosa Srimati Radharani y sus manifestaciones Saraswati Devi y Lakshmi Devi, a mis amados Señor Caitaña, Nityananda, Shiva, Ganesh, Nishinja.

A mi familia, mi mamita Charito, mi tía Ceci, mi mami Dina, mi Gopi por su apoyo y amor incondicional, a mi tía Gambica, tío Baratha y Tulsi que con su amor me han alentado a lo largo de este camino. A mi papi Sudhama por siempre guiarme.

Al MSc. Alejandro González por su paciencia, ayuda y motivación a lo largo de mi formación profesional, mis respetos hacia él.

A todas las personas y amigos que con su ayuda pude culminar esta etapa de mi feliz vida.

## **DEDICATORIA**

Dedico con todo mi amor este trabajo a la Suprema Personalidad de Dios Krishna y todas sus manifestaciones, a mi papi Sudhama que junto a Krishna siempre me protegen y cuidan, a mis 3 mamás: mami Dina, tía Ceci y mamita Charito que con su esfuerzo y amor me han sacado adelante.

Jaya Sri Krishna Chaitanya, Prabhu Nityananda, Sri Adwaita Gadadhara, Shrivasadi Gaura Bhakta Brinda.

## RESUMEN

A nivel mundial, se ha reportado índices altos de contaminación atmosférica generada por el material particulado respirable de 2.5  $\mu\text{m}$ . Contaminante criterio que ha causado en promedio 4000 muertes prematuras anualmente en cada país del mundo por enfermedades respiratorias, según el informe de la COP21. En Ecuador, son los niños los que más acuden a los centros de salud a causa de dichas enfermedades, según los últimos censos del INEC. El objetivo de éste estudio fue determinar la concentración de PM 2.5  $\mu\text{m}$  en las escuelas del sector de San Antonio de Pichincha, ya que gran parte del área de la parroquia está destinada a fuentes de emisión de éste contaminante, como por ejemplo, las canteras de extracción de material pétreo. Se realizó una simulación de dispersión del contaminante desde las concesiones mineras hacia las escuelas y se determinó que la pluma de comportamiento del PM 2.5  $\mu\text{m}$  disminuye la concentración a medida que se aleja de la fuente. Mediante el monitoreo atmosférico, se observó que la escuela más cercana a las canteras es la que más concentración del contaminante presenta. También se obtuvo correlaciones entre el PM 2.5  $\mu\text{m}$  medido a tiempo real durante 8 horas (tiempo de exposición de los niños en clase) y las variables de velocidad del viento, temperatura, humedad relativa y punto de rocío, en donde se determinó que a medida que la velocidad del viento y la temperatura aumentan, también lo hace la concentración outdoors del contaminante, lo contrario sucede con la humedad relativa y el punto de rocío, es decir que si éstos aumentan, la concentración outdoors disminuyen. En cuanto a la contaminación indoors se encontró que, las variables meteorológicas no son de gran influencia en la concentración de PM 2.5  $\mu\text{m}$  dentro de las aulas de clase, sino que influyen otras variables como las actividades de los niños dentro de clases, los materiales que usan y emisiones de las concesiones mineras alrededor de las escuelas. La concentración indoors presentó valores más altos que la outdoors.

## ABSTRACT

Worldwide, high levels of air pollution generated by breathable particulate matter  $2.5 \mu\text{m}$  have been reported. Pollutant criteria have caused an average of 4000 premature deaths by respiratory illness annually in each country in the world according to the report of the COP21. In Ecuador, children are most admitted to health centers due to respiratory problems, according to the latest census of the INEC. The objective of this study was to determine the concentration of PM  $2.5 \mu\text{m}$  in schools in San Antonio de Pichincha, because a vast majority of this area is where pollutants are highly emitted, such as extraction of stone material. A simulation of the scattering of the contaminant plume was performed, from quarries to schools, and it was determined that the plume dispersion of PM  $2.5 \mu\text{m}$  decreased as it moved away from the source. By monitoring the air, it was observed that the nearest school to a quarry is the one in which presented the highest concentration of the contaminant. Correlations were also obtained between PM  $2.5 \mu\text{m}$  measured in 8 hours real time and (exposure time of children in class) and variables of wind speed, temperature, relative humidity and dew point, where it was determined that as the wind speed and temperature increased, the concentration of the contaminant outdoors also rose. Regarding indoor pollution, it was found that weather variables are not of great influence on the concentration of PM  $2.5 \mu\text{m}$  inside the classroom, but are influenced by other variables like the activities of children in school, the materials used, and emissions of stone quarries around schools. The concentration was higher indoors than outdoors.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
Antecedentes .....	1
Alcance .....	4
Justificación .....	4
Objetivos .....	6
Objetivo General .....	6
Objetivos Específicos .....	6
1. CAPÍTULO I: MARCO REFERENCIAL.....	7
1.1. La influencia del material particulado en la calidad del aire .....	8
1.2. Las canteras y su problemática .....	10
1.3. Consecuencias de la exposición al material particulado en la salud.....	13
1.4. Modelos de dispersión.....	15
2. CAPÍTULO II: METODOLOGÍA .....	17
2.1. Caracterización del área de estudio .....	18
2.1.1 Localización del área de estudio .....	18
2.1.2. Selección de las escuelas utilizadas para el estudio.....	23
2.1.3. Georeferenciación de las escuelas .....	24
2.1.4. Mapas de distribución espacial de las escuelas.....	25
2.2. Simulación del contaminante .....	28
2.2.1. Medición de las distancias entre los puntos georeferenciados y las concesiones mineras.....	28
2.2.2. Medición de las longitudes de las canteras.....	30
2.2.3. Análisis de los datos del recurso viento .....	32
2.2.4. Cálculo de la tasa de emisión del contaminante en estudio.....	36
2.2.5. Ingreso de datos al software SCREEN VIEW .....	40
2.3. Selección de los puntos de monitoreo .....	47
2.4. Monitoreo atmosférico .....	48
2.4.1. Programación del muestreo .....	49
2.4.2. Monitoreo de material particulado fino de 2.5 µm .....	50
2.4.2.1. Determinación del tiempo de muestreo .....	54



2.4.2.2. Determinación de la altura de muestreo.....	55
2.4.2.3. Aseguramiento de Calidad .....	56
2.4.3. Creación de Base de Datos.....	58
2.4.4. Ensayos de laboratorio.....	58
2.4.5. Cálculos de determinación de concentración del contaminante .....	61
<b>3. CAPÍTULO III: RESULTADOS Y ANÁLISIS.....</b>	<b>63</b>
3.1. Concentración de PM 2.5 $\mu\text{m}$ durante los últimos 5 años en las estaciones cercanas a las concesiones mineras.....	64
3.2. Georeferenciación de las escuelas .....	67
3.3. Mapas.....	68
3.4. Simulación de material particulado 2.5 $\mu\text{m}$ .....	72
3.4.1. Distancias.....	72
3.4.2. Longitudes de las canteras .....	80
3.4.3. Recurso Viento.....	81
3.4.4. Tasa de emisión .....	87
3.4.5. Corrida del software SCREEN VIEW .....	91
3.5. Monitoreo atmosférico .....	110
3.5.1. Descripción de las escuelas seleccionadas para el monitoreo .....	110
3.5.2. Cálculos de determinación de concentración del contaminante.....	113
3.5.3. Determinación de la masa de partículas recogidas sobre el filtro .....	113
3.5.4. Resultados del monitoreo atmosférico a tiempo real en interiores y exteriores de las escuelas.....	119
3.5.5. Comparación de valores medidos de concentración de PM 2.5 $\mu\text{m}$ con los generados por la estación de la Secretaría de Ambiente. ....	130
3.5.6. Evaluación del PM 2.5 $\mu\text{m}$ respecto a las variables meteorológicas ..	134
<b>4. CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>153</b>
4.1 Conclusiones .....	153
4.2 Recomendaciones.....	156
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>157</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>177</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Nubes de polvo generadas en una de las canteras de Catequilla, Parroquia San Antonio de Pichincha, Pichincha – Ecuador. ....	3
Figura 2. Resumen del Marco Referencial. ....	7
Figura 3. Clasificación del material particulado. ....	9
Figura 4. Resumen de la metodología. ....	17
Figura 5. Mapa de Localización de las estaciones de monitoreo de la REMMAQ. ....	18
Figura 6. Concentraciones de PM 2.5 $\mu\text{m}$ de las estaciones de monitoreo de la REMMAQ entre mayo del 2007 y mayo del 2015. ....	19
Figura 7. Visualización en porcentajes de las concentraciones de PM 2.5 $\mu\text{m}$ de las estaciones de monitoreo de la REMMAQ entre mayo del 2007 y mayo del 2015. ....	19
Figura 8. Mapa de la Parroquia de San Antonio de Pichincha. ....	22
Figura 9. a) OREGON 550t b) Georeferenciación de las escuelas. ....	25
Figura 10. Resumen de la creación de mapas en ARC GIS. ....	26
Figura 11. Resumen de la creación de mapas en GOOGLE EARTH. ....	27
Figura 12. Procedimiento secuencial de medición de distancias entre las escuelas y las canteras de San Antonio de Pichincha en GOOGLE EARTH PRO. ....	29
Figura 13. Medición de las longitudes más largas y cortas de las áreas de las canteras. ....	31
Figura 14. Importación del documento Excel hacia el software WRPLOT VIEW. ....	33
Figura 15. Importación del documento Excel hacia el software WRPLOT VIEW, llenado de nombre de columnas; año (columna A), mes (columna B), día (columna C), hora (columna D), velocidad del viento (columna E) y dirección del viento (columna F).....	33
Figura 16. Colocación de información de la estación meteorológica; código de la estación, ciudad, estado, latitud, longitud, zona horaria, elevación de la estación. ....	34
Figura 17. Documento creado por WRPLOT VIEW, archivo tipo “.sam”. ....	35

Figura 18. Ingreso de datos de latitud y longitud de la estación meteorológica M0115 de San Antonio de Pichincha para visualizar la rosa de los vientos en GOOGLE EARTH.....	35
Figura 19. Esquematación general del proceso de extracción, molienda y clasificación o cribado del material pétreo en una cantera y puntos emisores de material particulado.....	38
Figura 20. Selección de tipo de fuente.....	40
Figura 21. Selección del coeficiente de dispersión.....	41
Figura 22. Ingreso de altura del receptor en metros sobre el nivel del suelo. ..	42
Figura 23. Ingreso de parámetros de la fuente área. ....	43
Figura 24. Selección de terreno, meteorología y distancias discretas.....	44
Figura 25. Selección de terreno, meteorología y distancias discretas.....	45
Figura 26. Selección de terreno, meteorología y distancias discretas.....	46
Figura 27. Corrida del programa ó ejecución de los cálculos para la simulación del contaminante. ....	47
Figura 28. Gráfico de “Gravimetric Match Weighed Cassettes” .....	51
Figura 29. Fotografías de “Gravimetric Match Weighed Cassettes” adquiridos.....	51
Figura 30. Instalación de los “Gravimetric Match Weighed Cassettes”. ....	52
Figura 31. Prueba de instalación del PUF discriminante de PM 2.5 µm.....	53
Figura 32. PUFs para determinación de PM 2.5 µm. ....	53
Figura 33. Muestreos en las 4 unidades educativas. ....	56
Figura 34. Calibración del MICRODUST PRO. ....	57
Figura 35. Ensayos en el laboratorio.....	60
Figura 36. Resumen de los resultados y análisis. ....	63
Figura 37. Concentración de PM 2.5 µm de las estaciones Cotocollao y Carapungo.....	64
Figura 38. Radio de 5km de influencia de la estación Carapungo. ....	66
Figura 39. Mapa de escuelas georeferenciadas.....	70
Figura 40. Mapa de radio de influencia de las estaciones y canteras con respecto a las escuelas.....	71

Figura 41. Distribución Frecuencial de las clases de vientos en San Antonio de Pichincha.....	81
Figura 42. Dirección hacia donde se dirigen los vientos. ....	83
Figura 43. Dirección de donde vienen los vientos.....	83
Figura 44. Dirección de entrada del viento a la parroquia de San Antonio de Pichincha.....	85
Figura 45. Dirección de entrada del viento a la parroquia de San Antonio de Pichincha.....	86
Figura 46. Simulación de PM 2.5 $\mu\text{m}$ de la cantera Tanlahua. Distancias vs. Concentración.....	93
Figura 47. Simulación de PM 2.5 $\mu\text{m}$ de la cantera Fucusucu V. Distancias vs. Concentración.....	96
Figura 48. Simulación de PM 2.5 $\mu\text{m}$ de las canteras. Fucusucu III, El Guabo, Blanca II y Rosita.....	99
Figura 49. Simulación de PM 2.5 $\mu\text{m}$ de la cantera Terrazas de Mandingo y San Luis I.....	102
Figura 50. Simulación de PM 2.5 $\mu\text{m}$ de la cantera Santa Fe II. ....	105
Figura 51. Simulación de PM 2.5 $\mu\text{m}$ de la cantera Favito. ....	108
Figura 52. Concentración máxima de PM 2.5 $\mu\text{m}$ según la simulación. ....	109
Figura 53. Imagen satelital de escuelas seleccionadas para el monitoreo.....	112
Figura 54. Concentración de PM 2.5 $\mu\text{m}$ en interiores de las escuelas (Contaminación indoors) .....	114
Figura 55. Concentración de PM 2.5 $\mu\text{m}$ en exteriores de las escuelas (Contaminación Outdoors). ....	116
Figura 56. Concentración de PM 2.5 $\mu\text{m}$ Indoors y Outdoors. ....	118
Figura 57. Tiempo de medición en (horas) de material particulado 2.5 $\mu\text{m}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de la “Escuela La Libertad”, correspondiente al monitoreo dentro de las aulas (indoors). ....	121
Figura 58. Tiempo de medición en (horas) de material particulado 2.5 $\mu\text{m}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de la “Escuela 29 de Junio”, correspondiente al monitoreo dentro de las aulas (indoors) .....	122

Figura 59. Tiempo de medición en (horas) de material particulado 2.5 $\mu\text{m}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de la “Unidad Educativa Misión Geodésica”, correspondiente al monitoreo dentro de las aulas (indoors) .....	123
Figura 60. Tiempo de medición en (horas) de material particulado 2.5 $\mu\text{m}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de la “Escuela Werner Heisenberg”, correspondiente al monitoreo dentro de las aulas (indoors) .....	124
Figura 61. Tiempo de medición en (horas) de material particulado 2.5 $\mu\text{m}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de la “Escuela La Libertad”, correspondiente al monitoreo fuera de las aulas (outdoors) .....	126
Figura 62. Tiempo de medición en (horas) de material particulado 2.5 $\mu\text{m}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de la “Escuela Fiscal 29 de Junio”, correspondiente al monitoreo fuera de las aulas (outdoors) .....	127
Figura 63. Tiempo de medición en (horas) de material particulado 2.5 $\mu\text{m}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de la “Unidad Educativa Misión Geodésica”, correspondiente al monitoreo fuera de las aulas (outdoors) .....	128
Figura 64. Tiempo de medición en (horas) de material particulado 2.5 $\mu\text{m}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de la “Escuela Werner Heisenberg”, correspondiente al monitoreo fuera de las aulas (outdoors) .....	129
Figura 65. Comparación de la concentración de PM 2.5 $\mu\text{m}$ (Estación REMMAQ Carapungo vs. “Escuela La Libertad”) .....	131
Figura 66. Comparación de la concentración de PM 2.5 $\mu\text{m}$ (Estación REMMAQ Carapungo vs. “Escuela Fiscal 29 de Junio”) .....	132
Figura 67. Comparación de la concentración de PM 2.5 $\mu\text{m}$ (Estación REMMAQ Carapungo vs. “Unidad Educativa Misión Geodésica”) .....	133
Figura 68. Comparación de la concentración de PM 2.5 $\mu\text{m}$ (Estación REMMAQ Carapungo vs. “Escuela Werner Heisenberg”) .....	134
Figura 69. Correlación entre las variables meteorológicas y la concentración de PM 2.5 $\mu\text{m}$ afuera de las aulas de la “Escuela la Libertad” .....	136
Figura 70. Correlación entre las variables meteorológicas y la concentración de PM 2.5 $\mu\text{m}$ dentro de las aulas de la “Escuela la Libertad” .....	138

Figura 71. Correlación entre las variables meteorológicas y la concentración de PM 2.5 $\mu\text{m}$ afuera de las aulas de la “Escuela 29 de Junio” .....	140
Figura 72. Correlación entre las variables meteorológicas y la concentración de PM 2.5 $\mu\text{m}$ dentro de las aulas de la “Escuela 29 de Junio” .....	142
Figura 73. Correlación entre las variables meteorológicas y la concentración de PM 2.5 $\mu\text{m}$ afuera de las aulas de la “Unidad Educativa Misión Geodésica” .....	144
Figura 74. Correlación entre las variables meteorológicas y la concentración de PM 2.5 $\mu\text{m}$ dentro de las aulas de la “Unidad Educativa Misión Geodésica” .....	146
Figura 75. Correlación entre las variables meteorológicas y la concentración de PM 2.5 $\mu\text{m}$ afuera de las aulas de “Escuela Werner Heisenberg” .....	148
Figura 76. Correlación entre las variables meteorológicas y la concentración de PM 2.5 $\mu\text{m}$ dentro de las aulas de “Escuela Werner Heisenberg” .....	150
Figura 77. Relación de variables meteorológicas con la concentración PM 2.5 $\mu\text{m}$ afuera de las aulas de las escuelas.....	151
Figura 78. Relación de variables meteorológicas con la concentración PM 2.5 $\mu\text{m}$ dentro de las aulas de las escuelas.....	152

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Centros Educativos de San Antonio de Pichincha según el PDOT. ...	23
Tabla 2. Concesiones mineras en San Antonio de Pichincha. ....	29
Tabla 3. Densidades promedio de material pétreo. ....	37
Tabla 4. Factor de emisión promedio. ....	39
Tabla 5. Monitoreos Atmosféricos. ....	49
Tabla 6. Datos obtenidos de la georeferenciación de las escuelas en San Antonio de Pichincha. ....	67
Tabla 7. Distancias desde la cantera Tanlahuna hacia las escuelas. ....	72
Tabla 8. Distancias desde la cantera San Pablo hacia las escuelas. ....	73
Tabla 9. Distancias desde la cantera Guanin hacia las escuelas. ....	74
Tabla 10. Distancias desde la cantera Fucusucu V hacia las escuelas. ....	75
Tabla 11. Distancias desde la unión en un radio de las canteras Fucusucu III / Blanca II / Rosita / El Guabo hacia las escuelas. ....	76
Tabla 12. Distancias desde las canteras Terrazas de Mandingo y San Luis I hacia las escuelas. ....	77
Tabla 13. Distancias desde la cantera Santa Fe II hacia las escuelas. ....	78
Tabla 14. Distancias desde la cantera Favito hacia las escuelas. ....	79
Tabla 15. Longitudes de las canteras. ....	80
Tabla 16. Densidades promedio de material pétreo. ....	87
Tabla 17. Resumen de la tasa de actividad (masa en (kg)) en cada cantera. ...	87
Tabla 18. Factor de emisión promedio. ....	88
Tabla 19. Resumen del cálculo de la ecuación de la tasa de emisión para cada cantera. ....	90

## INTRODUCCIÓN

### Antecedentes

El material particulado abreviado comúnmente como PM es una mezcla compleja de partículas muy pequeñas líquidas y sólidas que están suspendidas en el aire, la contaminación por PM incluye ácidos nitratos y sulfatos, metales, químicos orgánicos y polvo o partículas minúsculas del suelo. Estas partículas pueden variar de tamaño y composición según las diferentes fuentes de emisión. La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos clasifica al PM en dos categorías (EPA, 2013), clasificación que ha sido adoptada por La Secretaría del Medio Ambiente del Ecuador MAE, Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito CORPAIRE y la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito REMMAQ (MAE, 2011):

- Partículas gruesas inhalables (mayores a 2.5 micrómetros y menores a 10 micrómetros)
- Partículas finas ( 2.5 micrómetros y más)

La exposición al material particulado tiene efectos en la salud que conlleva al desarrollo de enfermedades respiratorias como la bronquitis, asma, disminución de la función pulmonar, irritación de las vías respiratorias, y en casos extremos tienen el potencial de aumentar la probabilidad de muerte a las personas con disfunciones cardíacas o pulmonares (OMS, 2014). En el Distrito Metropolitano de Quito la mayor fuente de emisión de PM es el transporte vehicular, según la REMMAQ, pero también existen otras fuentes importantes de contaminación como son las canteras de materiales de construcción o material pétreo, las centrales térmicas, industrias, etc. (Páez C, 2005).

Estas afecciones principalmente se evidencian en los niños, ya que recién están adquiriendo defensas en sus cuerpos para poder resistir posteriormente a estos agentes contaminantes. (Cutter, Boruff y Shirley, 2012) Se estima que



por cada 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de incremento de PM 10  $\mu\text{m}$  y PM 2.5  $\mu\text{m}$  hay un exceso de riesgo de muerte de 0,5% (OPS, 2014).

San Antonio de Pichincha es una parroquia del Distrito Metropolitano de Quito que está situada al norte de la ciudad capital, en el centro de la Mitad de Mundo. Actualmente habitan en el sector alrededor de 32357 personas, de las cuales un 28.35% son niñas y niños de entre 1 y 14 años de edad (INEC, 2010).

El Sistema Ambiental de San Antonio de Pichincha engloba aspectos de protección del recurso agua (micro cuenca de San Antonio de Pichincha), abastecimientos de alcantarillado y agua potable, recuperación de quebradas, cambios de uso de suelo, mejoramiento del sistema de recolección de residuos sólidos, etc. La problemática de contaminación de agua se da por los afluentes sin tratamiento previo que se descargan al Río Monjas y San Antonio principalmente y posteriormente al Río Guayllabamba (PDOT, 2012), lo que degrada al recurso hídrico.

Los residuos sólidos generados en el sector no han tenido desde sus comienzos un buen sistema de recolección y producto de esto, los habitantes han tomado algunas quebradas y ríos como botaderos de basura y escombreras. Actualmente está incorporado el Proyecto de Manejo Integrado de Residuos Sólidos MIRS de la Dirección Metropolitana Ambiental para gestionar y mejorar las condiciones de salud, sociales y ambientales (F.S.E, 2010) y la Empresa Pública Metropolitana de Gestión Integral de Residuos Sólidos EMGIRS - EP ha seleccionado escombreras en lugares específicos que tendrán un debido cierre técnico (EMGIRS – EP,2014).

En cuanto al recurso aire, alrededor de la parroquia existen formaciones volcánicas y suelo bastante erosionado, frecuentemente por las características del viento en la zona donde se forman tormentas de polvo, aportando así a la concentración de polución emitida por fuentes naturales. Pero la problemática se agrava por la localización de un sin número de canteras de explotación de materiales pétreos que son fuente principal de generación de material

particulado, junto a industrias de fabricación de bloques, plásticos, estaciones de servicio, textileras y fundición de hierro, sin dejar atrás el parque automotor.

La mayor parte de actividad extractiva minera en las canteras se realizan sin técnicas de explotación, control de calidad, ni seguridad hacia los operadores, alterando el ecosistema vital (MI, 2014). Debido a esto, por los últimos movimientos sísmicos de agosto y diciembre del 2014 suscitados en el Distrito Metropolitano de Quito con epicentros en Calderón a tan solo kilómetros de San Antonio de Pichincha y de 5.1 grados el más alto (SNGR, 2014), se han producido nubes extensas de material suspendido y sedimentable, además de movimientos extremos de materia que ha dejado muertes de operadores.

En las siguientes figuras se puede evidenciar las concentraciones de polvo de arena, piedra y lastre que se levantan con el viento y el desplazamiento de maquinaria pesada que trabaja en las canteras;



En consecuencia, el PM es uno de los mayores contaminantes atmosféricos del planeta cuya exposición prolongada puede tener graves repercusiones en la salud, especialmente de los infantes, es por esto que es importante tener información relacionada al tema para poder tomar las medidas necesarias con las cuales se pueda disminuir el riesgo a este tipo de contaminación ambiental.

## **Alcance**

El estudio contempla el sector con niveles más altos de concentración de material particulado en el DMQ según datos de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ), incluyendo el sector extractivo de material pétreo de las Canteras en San Antonio de Pichincha.

El presente trabajo buscó determinar cuál es la concentración de material particulado fino dentro y fuera de las aulas de las escuelas alrededor de las canteras del sector de San Antonio de Pichincha. A través del software SCREEN VIEW se simuló el comportamiento del material particulado. Posteriormente se procedió a monitorear la concentración de contaminación por PM 2.5  $\mu\text{m}$  en los interiores y exteriores de las aulas de las escuelas con ayuda del equipo de monitoreo MICRODUST PRO y con este último procedimiento se analizó y evaluó los resultados obtenidos.

## **Justificación**

La contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud. En muchos países la alta concentración de este tipo de contaminación puede producir alta morbilidad derivada de accidentes cerebrovasculares, cánceres de pulmón y neumopatías (enfermedad pulmonar obstructiva) crónicas y agudas, entre ellas el asma (OMS, 2014).

Por este motivo algunas organizaciones internacionales por medio de programas de desarrollo han tratado en los últimos años de controlar las emisiones de contaminantes a la atmósfera. Por ejemplo, en el Informe 2015 para los Objetivos de Desarrollo Sostenible del Programa de las Naciones Unidas se dictamina que es imprescindible y además un derecho la tenencia de un ambiente sano, especialmente en los centros educativos para poder tener una enseñanza digna en un ambiente de calidad. Esto se enfatiza en el objetivo número 13, en donde se busca adoptar medidas para combatir el cambio climático y en el objetivo 4, donde por medio de la educación se debe

llegar a un desarrollo sostenible. (UNDP, 2015). Para poder garantizar este derecho es necesario partir del conocimiento de los índices de los principales contaminantes en el aire como es el material particulado.

Es importante poder determinar los niveles de concentración de material particulado al que están expuestos los niños en las escuelas debido a que este grupo de la población, junto a los adultos mayores son a quienes más afecta a la salud este tipo de contaminantes, siendo los estos más propensos a adquirir enfermedades derivadas de la exposición prolongada al PM. (Cutter, Boruff y Shirley, 2012) El impulso que conlleva a la realización del estudio, es la evidencia existente de altas tasas de PM que afecta a la población alrededor de las canteras de San Antonio de Pichicha. Los niños del sector sufren con frecuencia afecciones respiratorias y los pobladores en general sufren de irritación a los ojos. (Mora, 2012) Esto se debe en gran parte a la geología del entorno, pero también debido a la actividad extractiva de la zona.

El estudio contribuirá a los análisis del impacto de estas emisiones en la salud de las personas expuestas, especialmente de los niños, por medio de la revisión de estándares, normas y leyes de calidad de aire interior, establecidos por organismos nacionales e internacionales.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Determinar la concentración de material particulado fino en las escuelas del sector de San Antonio de Pichincha.

### **Objetivos Específicos**

- Simular la concentración del material particulado fino de las fuentes emisoras principales del sector en estudio mediante el software SCREEN VIEW.
- Monitorear las escuelas seleccionadas en base al análisis de los datos e información recopilada de la simulación realizada en SCREEN VIEW de concentración de material particulado.
- Evaluar la concentración de la contaminación por material particulado fino en interiores y exteriores de las aulas de las escuelas mediante el monitoreo de PM fino y el análisis de estos resultados.

## 1. CAPÍTULO I: MARCO REFERENCIAL

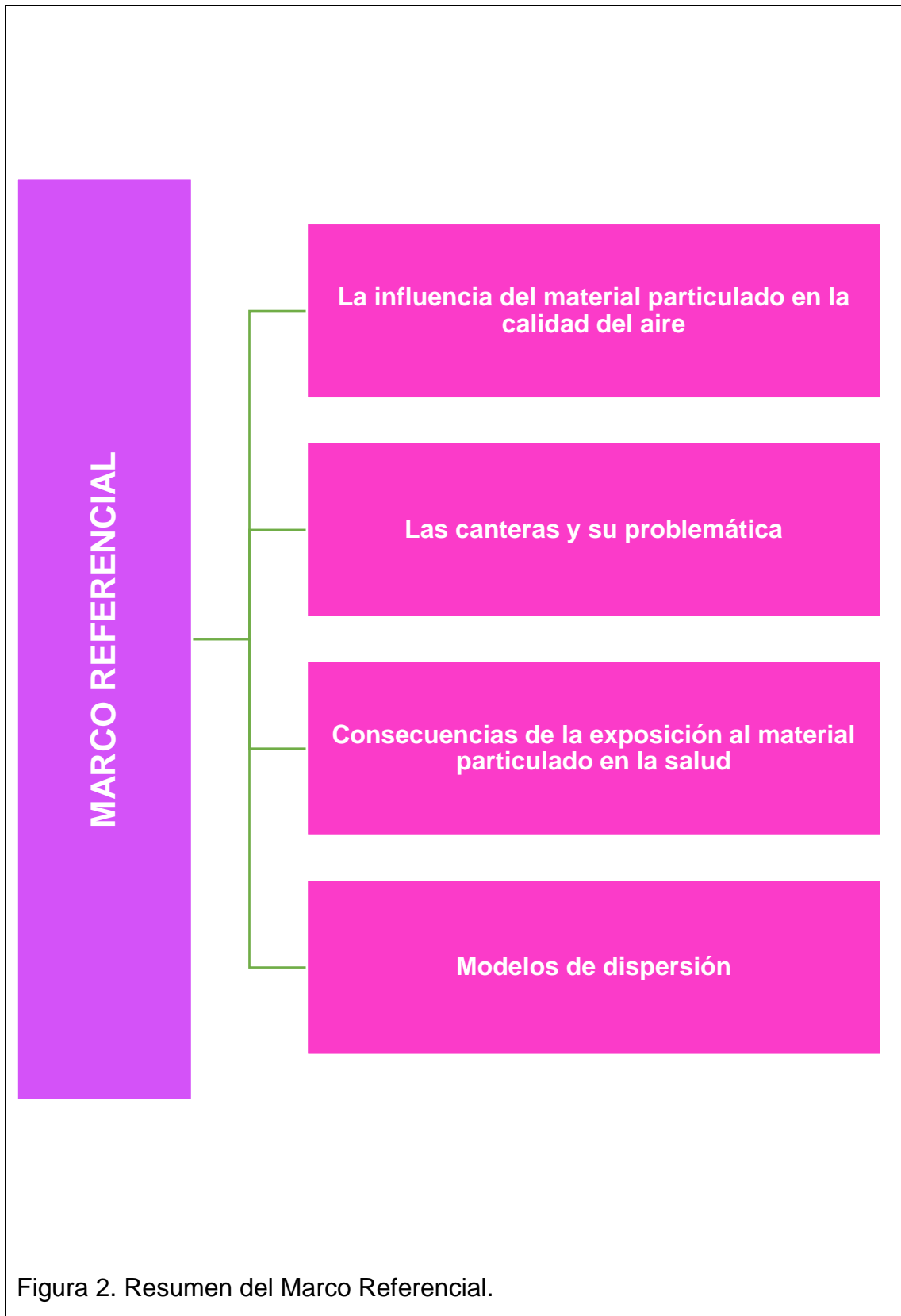


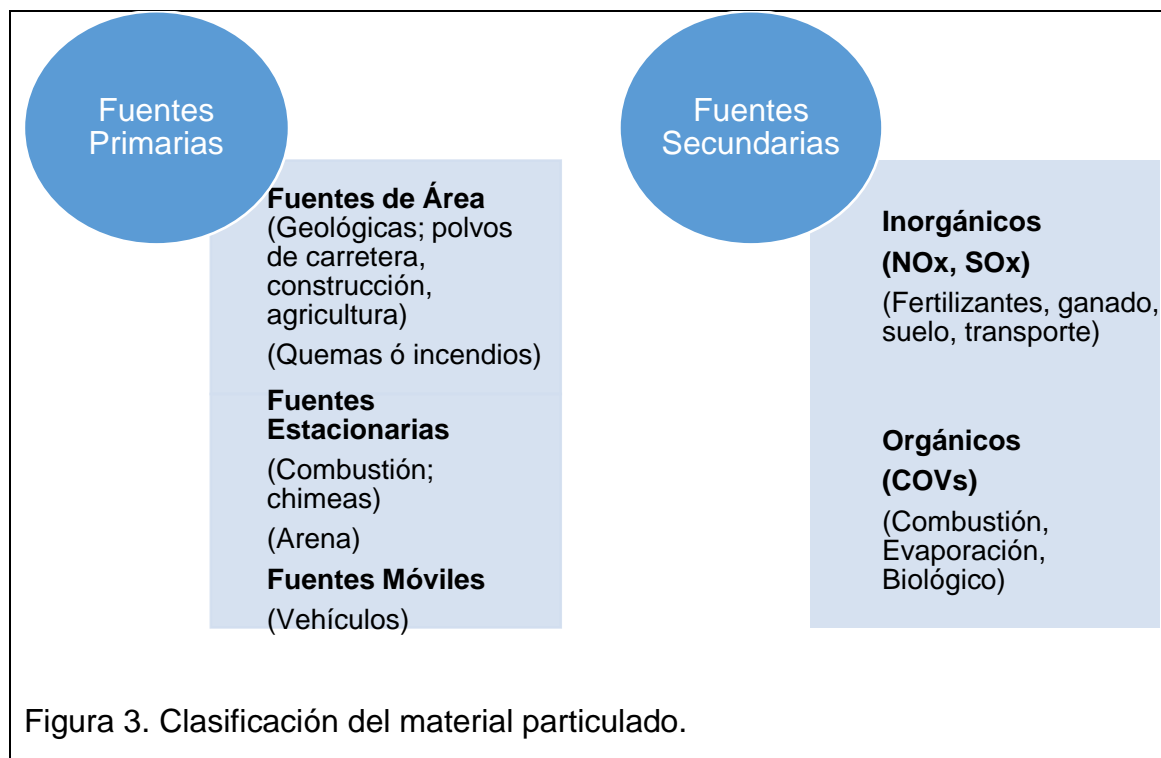
Figura 2. Resumen del Marco Referencial.

## 1.1. LA INFLUENCIA DEL MATERIAL PARTICULADO EN LA CALIDAD DEL AIRE

Alrededor del mundo la calidad del aire se ve afectada por un sin número de contaminantes emitidos hacia la atmósfera. Actualmente, la tendencia de incremento de las emisiones causantes de los gases de efecto invernadero continúan gradualmente (UNDP, 2015), por ejemplo, el dióxido de carbono aumentó en el 2015 un 143% respecto a la época preindustrial. (OMM, 2015) Varios contaminantes como los óxidos de carbono, de azufre, de nitrógeno, los compuestos orgánicos volátiles, el ozono y las partículas provienen de fuentes emisoras en común (Echarri, 2007, pp.2) y están sujetos a transformaciones químicas o fotoquímicas en la tropósfera, que en algunos casos resultan más perjudiciales para la salud. (Puigcervar y Carrascal, 2008, pp. 47)

La calidad del aire se determina por el nivel y tipo de contaminantes atmosféricos, así como también las condiciones climáticas y topografía del sector (BC, 2014). Es así como el material particulado es considerado uno de los contaminantes criterio a nivel mundial (EPA, 2007), esto significa que es potencialmente dañino para el ser humano, y existen límites de exposición establecidos en diferentes países para la protección de las personas ante este agente. Por ejemplo en México existen las “Normas oficiales para los contaminantes criterio” (INECC, 2013), en Colombia consta el “Reglamento de calidad de aire para contaminantes criterio” (Decreto No. 30221-S, 2014), en España se rigen de acuerdo al “Real Decreto” relativo a la mejora de la calidad del aire (2011) y en Europa están vigentes varios acuerdos y fundamentos jurídicos en cuanto a la contaminación atmosférica, regidos principalmente por el Parlamento Europeo. (Ohliger, 2015)

Tanto el material particulado fino PM 2.5  $\mu\text{m}$ , como el grueso PM 10  $\mu\text{m}$  provienen de diversas fuentes y pueden estar formados de diversos químicos. Manahan (2006) clasifica a las partículas en primarias y secundarias. Mientras que para García (2006, pp. 6), las partículas primarias y secundarias están divididas por tipo de fuentes de la siguiente manera;



La mayoría de las partículas secundarias son aerosoles de dimensiones muy pequeñas que provienen de la combustión, esto significa que parten de la conversión de gases, ya sean éstos vapores orgánicos o metálicos. (CRANA, 2016)

El PM fino es capaz de viajar grandes distancias y permanecer suspendido durante periodos de tiempo largos y posteriormente se depositan en el suelo o agua. Este asentamiento puede conllevar a la degradación de estos recursos. Como por ejemplo, acidificándolos y cambiando el balance de nutrientes en ellos, lo cual afecta a plantaciones y cultivos agrícolas, así como también a la diversidad de los ecosistemas (CSP MURCIA, 2011). Esto se debe a que el PM 2.5  $\mu\text{m}$  contiene ácidos como iones de hidrógeno, lo que hace también prevalecer su actividad mutagénica, además constituye de un 50% a 70% del PM 10, dependiendo su locación. (WHO EUROPE, 2006 y 2013).

En estudios realizados en Alemania (Ehrlich, Noll, Kalkoff, Baumbach y Dreiseidler, 2007, pp. 17), se ha llegado a la conclusión de que del total de



polvo emitido de las industrias hasta un 90% es PM 2.5  $\mu\text{m}$  o menor. Por otra parte, en California se ha determinado que en las zonas rurales de las ciudades la concentración de PM 2.5  $\mu\text{m}$  es aproximadamente 39  $\text{mg}/\text{m}^3$ , la composición de masa de este material consiste principalmente de iones de nitratos, sulfatos y amoniacos, así como también carbono orgánico y elemental (Chow, Watson, Lowenthal, et al., 2007). Estas cifras son elevadas en comparación a las recomendaciones que la EPA (2015) propone como mínimo para poder garantizar la calidad de aire (15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  anual y 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en 24 horas).

En Ecuador, el Distrito Metropolitano de Quito, por medio de la Secretaría de Ambiente (2014), ha determinado que la distribución de emisiones de PM 2.5  $\mu\text{m}$  se da principalmente por el tráfico vehicular, promediando hasta 5.7 ton/día de PM 2.5  $\mu\text{m}$ .

## **1.2. Las canteras y su problemática**

Una cantera es un entorno de depósito de materiales de construcción, como por ejemplo rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias (Registro Oficial No. 784, 2012). En este lugar se practica la minería a cielo abierto, las piedras o material pétreo que se extraen pueden ser refinadas por medio de la fundición, lavado químico o simple cribado o aplastamiento físico (Tribhuan y Patil, 2009). En este último proceso es en donde más se genera la polución por material particulado. Toda concesión minera tiene una vida útil, y una vez agotada, el abandono de la actividad suele originar serios problemas de carácter ambiental, a simple vista son relacionados con la destrucción del paisaje, pero esta problemática tiene consecuencias graves en la salud de las personas y en la calidad del aire. (Birabwa E, 2006)

Debido al procesamiento industrial que se lleva a cabo en una cantera, el ambiente está condenado a cambiar sus características normales, ya sea por los combustibles que utilizan las maquinarias y la presión que éstas ejercen sobre el suelo, por los detonadores y explosivos que se usan para la extracción del material pétreo que causan la degradación del suelo, o por el ruido que se

genera en cada uno de sus procesos. Pero más allá de la degradación del suelo y por ende del agua que causa la minería a cielo abierto, existe una problemática de gran importancia que disminuye la calidad de aire. Es necesario establecer los efectos negativos que esta actividad tiene sobre la calidad del aire, por medio de parámetros de mal manejo e incumplimiento de las normas necesarias de mitigación.

La explotación minera de materiales de pétreos no genera contaminantes altamente tóxicos como el mercurio, como en el caso de la minería metalúrgica. Pese a esto, la extracción a gran escala de áridos genera importantes emisiones de material particulado, el cual es uno de los contaminantes más problemáticos para la ciudad de Quito según reportes de la Secretaría de Ambiente (Secretaría de Ambiente, 2011).

Además de las actividades operativas dentro de la cantera, el transporte de los materiales también produce aumentos en los niveles de contaminación por PM. Las técnicas de transferencia continua de materiales y el proceso de cargamento de las volquetas comercializadoras, ya sea con ayuda de bandas transportadoras, palas mecánicas u otro tipo de equipos similares, aumenta la suspensión de material particulado. El polvo se genera en estos procesos debido a la caída libre de los materiales hacia las volquetas y los fenómenos naturales como el viento aumentan su dispersión (Carrera C, 2012). En la parroquia San Antonio de Pichincha aproximadamente operan 1040 volquetas, lo que representa una elevada concentración de PM 2.5  $\mu\text{m}$  generada por éste tipo de instrumentaría de movilización de material pétreo. (Troya A, 2014)

El transporte del material desde las canteras hasta su lugar de comercialización también genera emisiones de material particulado, especialmente porque se sobrecargan los camiones de tal manera que el material acumulado se dispersa hacia el aire, generando pérdidas del material pétreo que lleva al aumento de contaminación del recurso aire. (Espinoza y Guzñay, 2013) También se debe tomar en consideración que los caminos de entrada y salida de las concesiones mineras son generalmente vías sin pavimentar, con

grandes cantidades de material erosionable en su superficie. (Campoverde, 2013). Las volquetas se transportan a altas velocidades por las vías, generando pulverización del material por el rodado de los vehículos y, debido a estos factores, se produce emisión de polvo hacia la atmósfera.

Otro problema que generan las canteras es el ruido, ésta contaminación auditiva genera malestares, no solamente dentro de las instalaciones de la industria, sino también afuera debido al tránsito de las volquetas. (Reina, 2013, pp. 31)

Además de lo expuesto anteriormente, existe otra actividad generadora de emisiones, asociada con la explotación minera a cielo abierto que es la erosión eólica. Este es un fenómeno que suele ocurrir en zonas áridas como es el Sector de San Antonio de Pichincha y produce graves daños a los suelos, al producirse una pérdida total de la fertilidad, además de que afecta gravemente la calidad del aire y, bajo ciertos parámetros, produce alteraciones en fenómenos climáticos. (López, Arrúe y Gracia, 2010, pp 2) Este proceso contaminante también ocurre en las zonas de canteras, especialmente en las que han sido extremadamente afectadas por los procesos extractivos. La erosión eólica se produce cuando las velocidades del viento superan un límite, el cual está dado por la capa de cobertura vegetal existente. (Aqueveque, Vargas, Rutllant, Le Roux, 2009)

Es necesario considerar, que pese a la contaminación que puede generar una cantera, en Ecuador, específicamente en el Sector de San Antonio de Pichincha, ésta industria provee trabajo a aproximadamente 7000 personas (Jácome, 2014).

San Antonio de Pichincha es una Parroquia del DMQ que cuenta con un contenido histórico de importancia para el país. En este lugar se encuentran sitios como las Ruinas de Rumicucho y la escultura de la Mitad de Mundo. Con una población de aproximadamente 32357 personas, 16445 son mujeres y 15912 hombres y de estos 3992 niños entre 1 y 9 años. La población

económicamente activa oscila entre 28531 y aún existen rangos de pobreza con un porcentaje de 34.16% de la población. (PDOT, 2015)

La actividad minera de la zona representa la mayor parte de ingresos económicos. Aquí se extrae arena, ripio y piedra de las canteras, la mayoría ilegales según el censo INEC del 2010.

La geología del sector pertenece en su mayoría a formaciones de cangagua conformada a su vez de cenizas y lapilli de pómez, sedimentos volcánicos y basalto con amigdaloides (GADPP-DGPLA, 2010). El clima en la parroquia San Antonio de Pichincha, contempla un clima cálido seco-templado, con temperaturas que oscila entre los 12° C y 18° C, las precipitaciones media anual 250mm y 500mm y una altitud de 2400 msnm (INAMHI Año 1990 – 2009, 2010).

### **1.3. Consecuencias de la exposición al material particulado en la salud**

Debido a la situación geológica del sector y la actividad extractiva de la zona, San Antonio de Pichincha es un lugar en donde las personas están altamente expuestas a niveles altos de contaminación atmosférica, principalmente por la generación de material particulado.

Actualmente, a causa del PM se ven afectadas la mayoría de las poblaciones urbanas y rurales de todos los países del mundo. Las exposiciones a partículas a corto y largo plazo se han relacionado con problemas de salud.

Las partículas inhalables (PM 10  $\mu\text{m}$  y PM 2.5  $\mu\text{m}$ ) o menores pueden penetrar la cavidad torácica del sistema respiratorio. Esto significa que la exposición al PM puede causar enfermedades pulmonares y cardiovasculares. (WHO, 2013) En Francia se ha calculado que anualmente 42000 muertes prematuras se producen debido a las partículas finas. (ENN, 2015)

El desarrollo de estas enfermedades, en varios casos resulta en cáncer, lo que al gobierno francés le cuesta aproximadamente 2000 millones de euros por año. (Passarello, 2015)

Las partículas de 2.5  $\mu\text{m}$  son las más preocupantes puesto que algunas son tan pequeñas que pueden atravesar los pulmones y llegar al torrente sanguíneo, incorporarse a los tejidos y ser transportadas a otros órganos. (Turull y Jiménez, 2010) Se ha podido comprobar que la exposición prolongada a PM 2.5  $\mu\text{m}$  está asociada a la mortalidad y morbilidad de las personas. Éste tamaño de partícula se genera principalmente en los cribados finales del material pétreo. (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía en España, 2014) En un estudio hecho en Nigeria a trabajadores de una cantera, se encontró que de todos los problemas respiratorios provocados por la exposición a PM un 47.6% eran dolores de pecho, un 40.7% tos ocasional, un 6.5% se le atribuye a dificultades ocasionales para respirar y 5.2% a respiraciones jadeantes. (Department of Chemical Pathology, 2012)

Éstas enfermedades agudas y crónicas reducen la esperanza de vida en un promedio de 8.6 meses en todos los países a nivel mundial. (WHO, 2006) Las personas con dolencias cardíacas o pulmonares, los adultos mayores y los niños son considerados los grupos de mayor riesgo por la exposición a PM, especialmente cuando hacen actividad física, en este caso el cuerpo respira más rápido y profundamente y entran más partículas finas en los pulmones. (Vargas, 2011)

Personas con arteria coronaria, insuficiencia cardíaca congestiva, asma o enfermedad pulmonar obstructiva crónica "EPOC" tienden a agravar sus dolencias debido a la exposición al material particulado fino, así también aquellas con diabetes pueden ser más propensas a tener una enfermedad cardiovascular subyacente (NIH, 2015).

Para Sepúlveda (2015) los niños son más susceptibles a la contaminación atmosférica, ya que en comparación con los adultos, éstos tienen mayor actividad pulmonar por minuto, lo que incrementa el paso de aire al sistema respiratorio, ingresando así mayor cantidad de partículas al cuerpo.

#### **1.4. Modelos de dispersión**

Los modelos de dispersión son herramientas matemáticas que ayudan a simular procesos químicos y físicos de un contaminante. (Walsh, 2008) Actualmente es importante conocer el comportamiento de los contaminantes para poder estimar la calidad de vida de una población. El modelamiento de dispersión atmosférico requiere de valoración meteorológica, entre las más usadas están la velocidad del viento, la temperatura y la presión atmosférica. (Vargas, 2006)

Según Manzur, Benzal y González (2012), los modelos de dispersión resuelven ecuaciones de difusión de manera aproximada y es por ello que no se debe confiar totalmente en los resultados, aunque den una estimación del comportamiento del contaminante, ya que dependen de varios factores como la confiabilidad de inventario de emisiones que se disponga para realizar el modelamiento o la representatividad de los datos meteorológicos.

Existen varios tipos de modelos de dispersión de contaminantes, los determinísticos que usan ecuaciones y los empíricos que relacionan estadísticamente los datos de contaminación y otras variables (CIEMAT, 2016), a continuación se detallan los más importantes;

- **Gaussiano:** También llamado de columna de humo, utiliza la ecuación de distribución gaussiana, que requiere solo dos parámetros de dispersión para determinar las concentraciones del contaminante. Esta técnica asume que la mayor concentración está en la fuente y se redirecciona conforme a la velocidad del viento. (Universidad Pablo de Olavide, 2010)

- **Numéricos:** Se los utiliza cuando los contaminantes emitidos generan a su vez otros secundarios como O<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub> ó SO<sub>2</sub>. (GA, 2008)
- **Eulerianos:** Es uno de los modelos más complejos. Estos calculan las concentraciones y sus propiedades en cada punto del espacio e instante de tiempo. (García, 2012)
- **Lagranginos:** Usan sistemas de referencia ajustada al movimiento de las sustancias. Se lleva a cabo siguiendo un volumen de control, que cambia el posicionamiento de acuerdo a la velocidad y dirección del viento. (Ryu y Balk, 2009)
- **Estadísticos:** Son modelos semiempíricos de escala proporcional. Este método usa las concentraciones del contaminante en un punto como valor promedio, pero no existe una presión confiable de los datos de dispersión. (Casas, Ortolano y Triana, 2013)
- **De Caja:** Es un modelo que usa un método simple para evaluar la presencia de polución de alguna área. (Vyankatesh, Arjun, Sonali, 2014) Este modelo asume que los contaminantes se mezclan homogéneamente y rápidamente con la atmósfera, sufriendo las transformaciones químicas pertinentes. (CIEMAT, 2016)

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (2015) recomienda el uso de algunos softwares de modelación atmosférica, entre ellos están el BLP, aconsejado para las plantas de reducción de aluminio en áreas rurales y transporte de distancias menores a 30km. El CALINE3 es usado para fuentes lineales como carreteras, ya sea en espacios rurales o urbanos y transporte de contaminantes con distancias menores a 50km. El software CALPUFF se utiliza para dispersión de contaminantes con distancias mayores a 50km en fuentes de área cuando se cuenta con una amplia gama de datos meteorológicos. El CTDMPLUS evalúa fuentes de punto en terrenos complejos y transporte de contaminantes menores a 50km de distancia. Por último el ISC3 es útil para modelar fuentes industriales complejas de emisiones continuas de aires tóxicos en varios tipos de terreno y hasta distancias de 50km. En este estudio se utilizó una versión del modelo ISC3, que es el software mejorado del “Modelo de dispersión de complejo de fuente industrial”.

## 2. CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

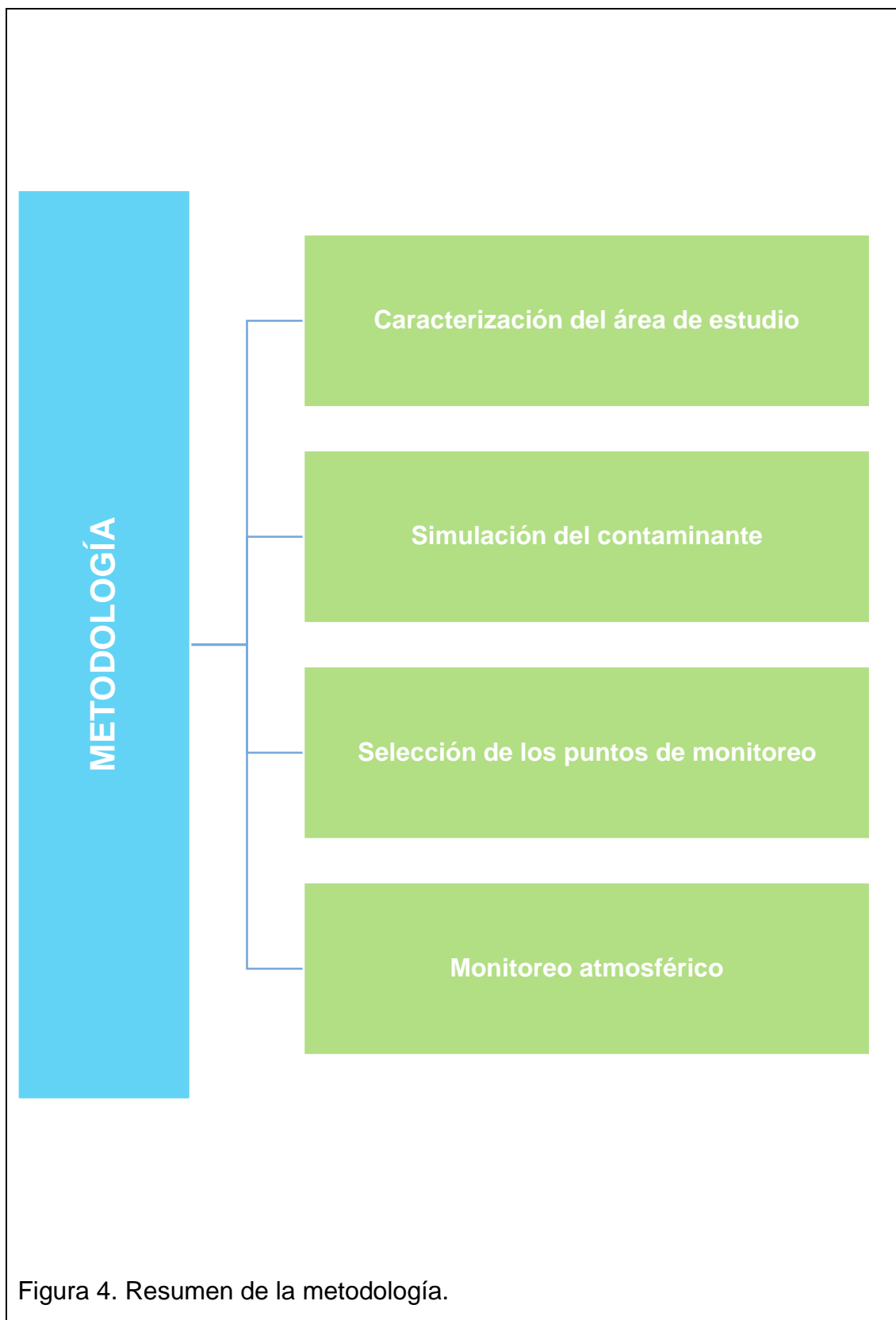


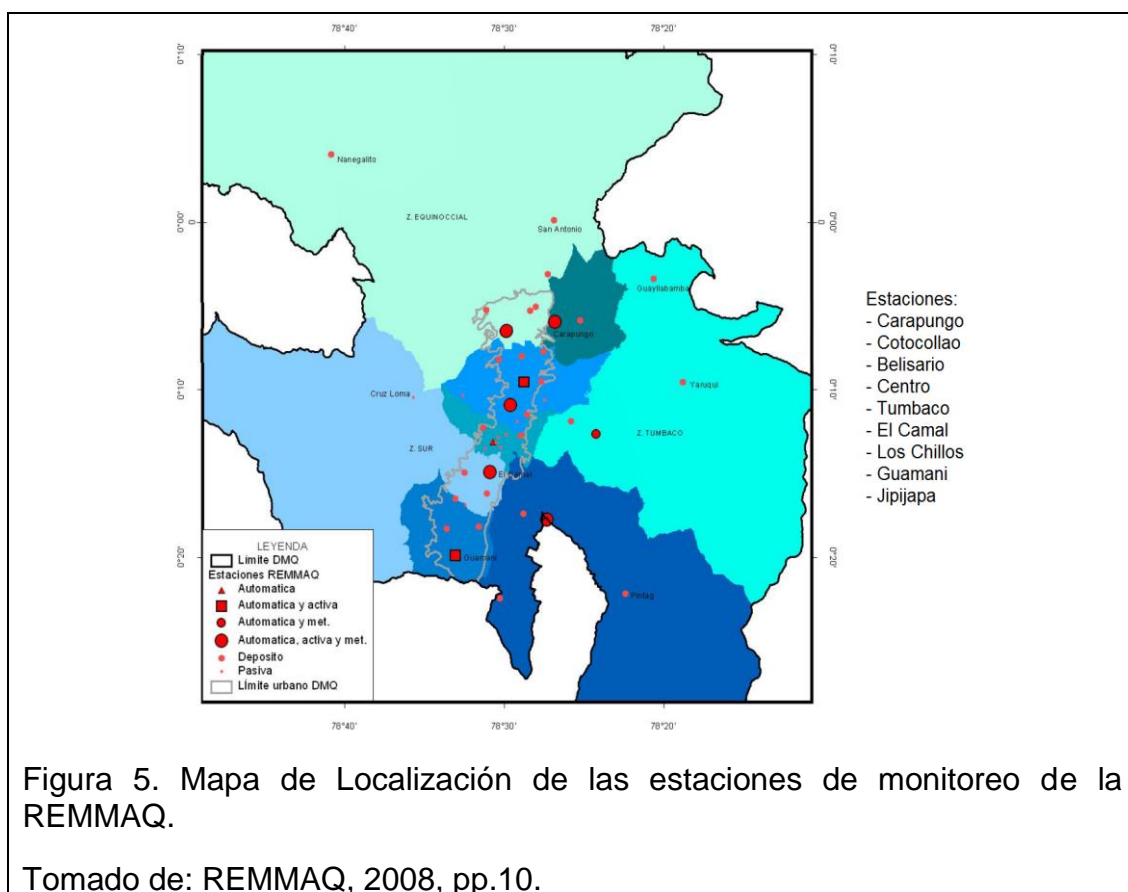
Figura 4. Resumen de la metodología.



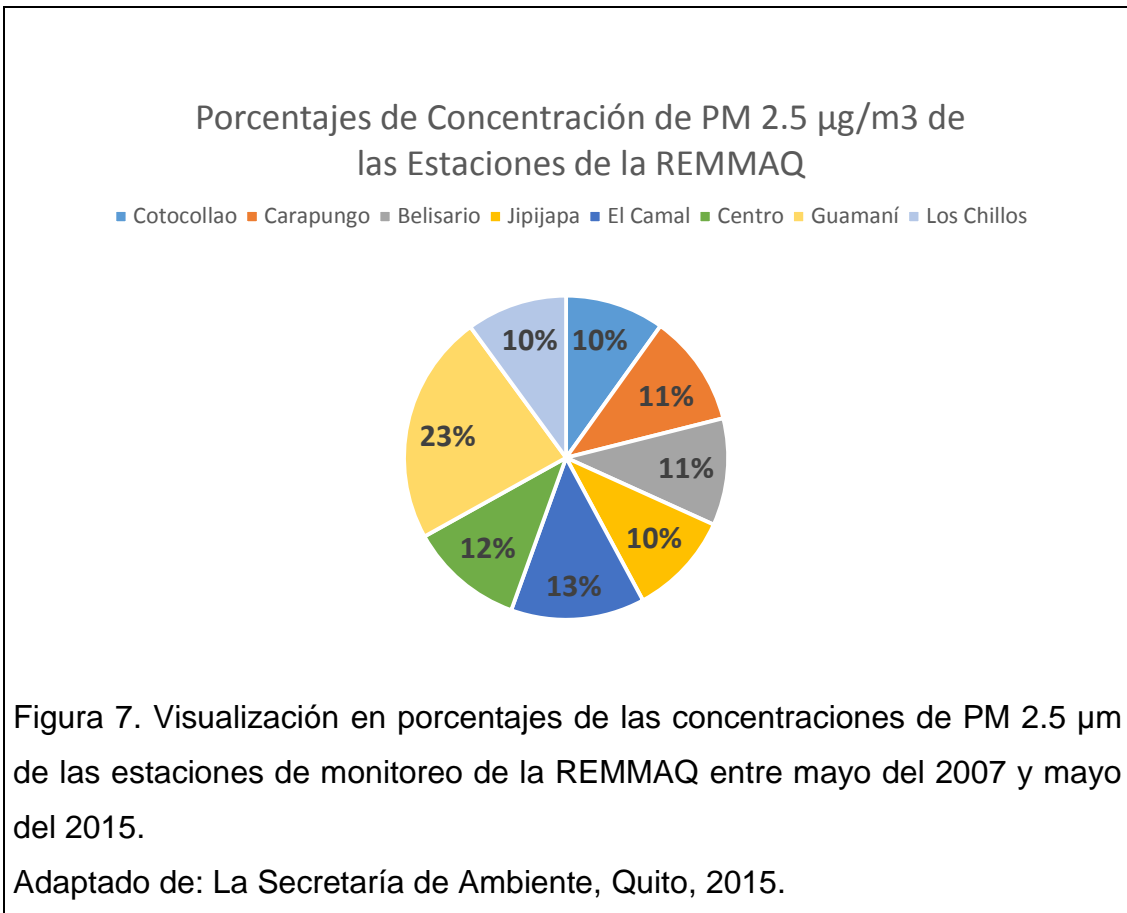
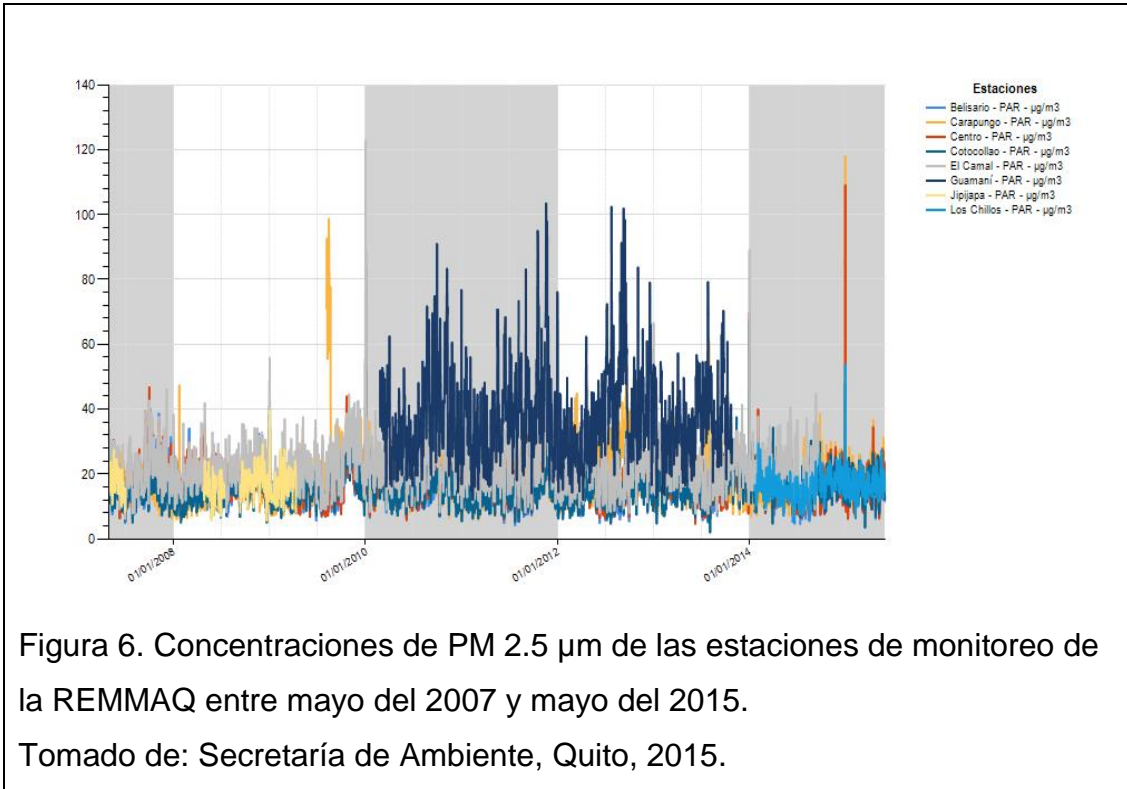
## 2.1. Caracterización del área de estudio

### 2.1.1 Localización del área de estudio

El presente estudio se realizó a partir de la localización de los sectores más afectados por el material particulado de  $2.5 \mu\text{m}$  del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ). Aquí existen 33 parroquias rurales y 32 urbanas, dentro de las cuales se encuentran dispersas 9 estaciones de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ). (CMQ, 2012, pp. 4 y REMMAQ, 2008) Para este primer análisis, se utilizó información de las concentraciones de  $\text{PM } 2.5 \mu\text{m}$  de éstas estaciones.



El análisis de los datos de concentración de  $\text{PM } 2.5 \mu\text{m}$  comienza desde año 2007 y termina en el año 2015 en el mes de mayo. Por medio de esta información se pudo constatar qué estaciones registran mayores niveles de contaminación por  $\text{PM } 2.5 \mu\text{m}$ .



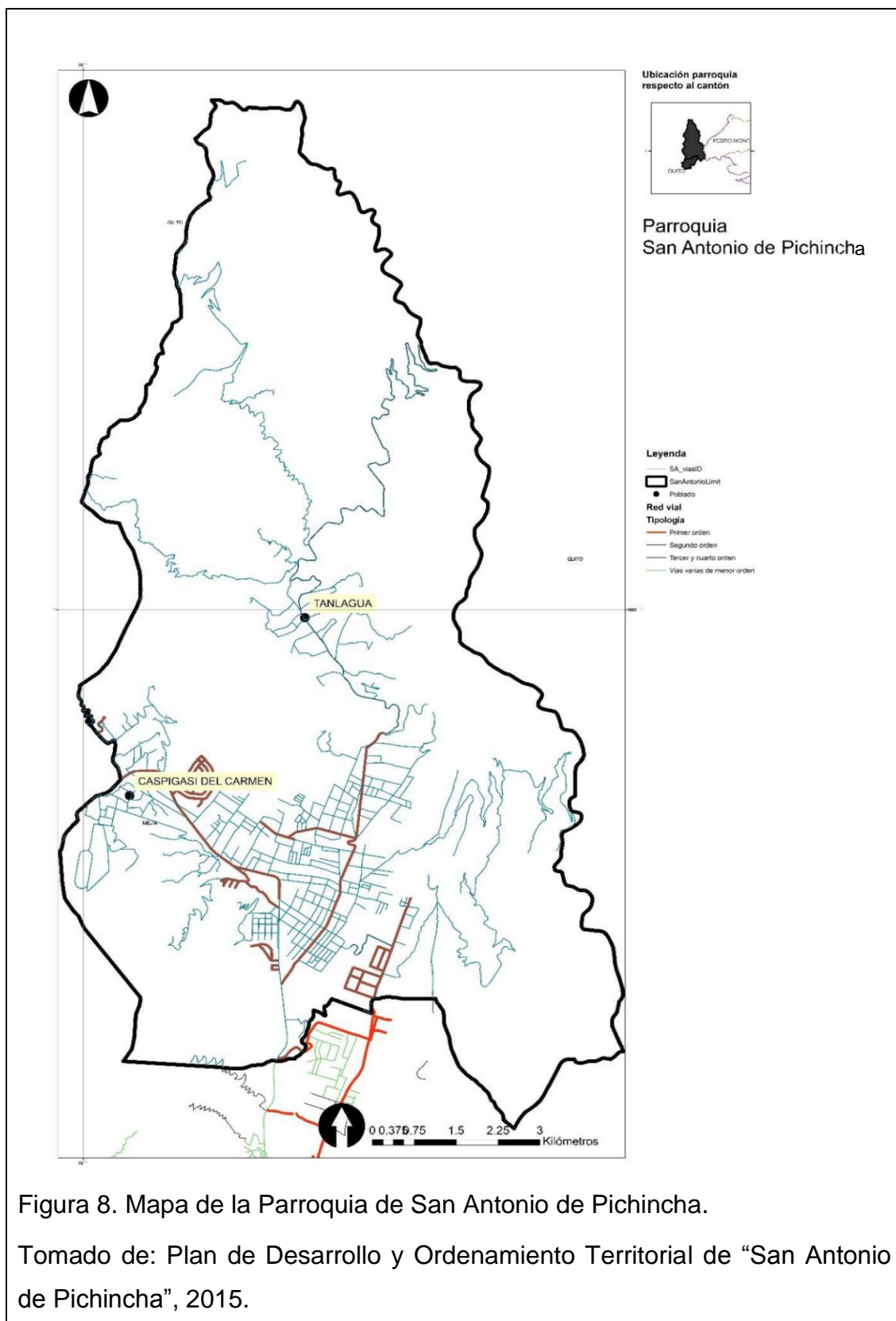
Una vez analizados los datos correspondientes a la figura 7, extraídos de la Secretaría de Ambiente se determinó que las concentraciones con niveles altos de PM 2.5  $\mu\text{m}$  se encuentran en las estaciones de Guamaní, El Camal, el Centro, Carapungo, Belisario y Cotocollao, respectivamente. La estación de Carapungo registró niveles por encima de los 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  PM 2.5  $\mu\text{m}$ . La información de las estaciones Jipijapa, Guamaní, el Camal y los Chillos no fueron consideradas para este análisis, debido a la falta de datos de algunos años y la ausencia de grandes áreas de extracción minera. Por esta razón, se decidió trabajar con las estaciones de Carapungo y Cotocollao. Además de que estas estaciones junto con las de Tumbaco y el Centro son las que más concentraciones de PM 2.5  $\mu\text{m}$  han tenido en el último año, llegando hasta 118 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  PM 2.5  $\mu\text{m}$  en la estación de Carapungo. (Secretaría del Ambiente, 2015) Este es un dato importante de partida para este estudio, ya que da una referencia del comportamiento del material particulado fino alrededor de esta zona.

De las estaciones de Carapungo y Cotocollao se extrajeron los datos de concentración de PM 2.5  $\mu\text{m}$  diarios durante los últimos 5 años (2010 hasta mayo 2015), con la finalidad de determinar cual de las dos estaciones presentaban niveles más elevados de contaminación.

La parroquia con antecedentes de altos niveles de contaminación atmosférica por material particulado más próxima a las dos estaciones mencionadas anteriormente, es la de San Antonio de Pichincha.

Éste lugar tiene una superficie de 116.26  $\text{km}^2$  aproximadamente y está a 2439 msnm. El clima en la zona es muy seco y cálido, lo que significa que la evapotranspiración potencial es mayor a la precipitación y que las corrientes de aire son secas, con incidencia alta de rayos solares. (PDOT, 2012 y ISC, 2013) La geomorfología está compuesta por suelos arenosos de origen piroclástico con baja retención de agua. (Oña, 2012)

Debido a la falta de lluvias, suelo árido y déficit de cortinas arbóreas, la contaminación atmosférica por material particulado se hace presente, dando lugar a niveles altos de PM 10  $\mu\text{m}$  y PM 2.5  $\mu\text{m}$ . Por este motivo, los habitantes de la parroquia están acostumbrados a apariciones de tormentas de polvo, generadas no solamente por la geomorfología y el clima, sino también por las actividades antrópicas industriales de la zona, principalmente por la extracción de material pétreo, actividad que ocupa aproximadamente 205.04 ha, es decir 1.76% del total de la superficie de la parroquia (PDOT, 2015). Esta es la principal razón por la cual el presente estudio se desarrolla en San Antonio de Pichincha.



### 2.1.2. Selección de las escuelas utilizadas para el estudio de concentración de material particulado

Según la Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y la Media Luna Roja (2012), los grupos sociales más vulnerables a adquirir complicaciones en su salud son los niños, las mujeres embarazadas, madres lactantes, las personas mayores de edad y discapacitados. Por esta razón se definió que el grupo social con el que se trabajaría en este estudio son los niños pequeños en etapa escolar. Éstos respiran mayor cantidad de aire que una persona adulta en proporción con el peso de sus cuerpos, un adulto respira entre 12 y 20 veces por minuto y ésta frecuencia en los niños es más elevada. (Gazitúa, 2007) Además, cuando las partículas se depositan en el piso, se acumulan y luego son levantadas nuevamente por el aire y el paso de las personas u otros agentes. (Kaur, Nieuwenhuijsen, Colvile, 2007)

Según el último plan de ordenamiento territorial de la parroquia de San Antonio de Pichincha, la infraestructura educativa dispone de 22 centros que incluyen escuelas, jardines, centros infantiles y colegios:

Tabla 1. Centros Educativos de San Antonio de Pichincha según el PDOT.

Escuela Fiscal Alexander Von Humboldt
Jardín y Escuela Fiscal Clemente Vallejo Larrea
Escuela Fiscal Mixta 29 de Junio
Centro de desarrollo Infantil Caritas Sonrientes
Escuela de Práctica 29 de mayo
Centro Infantil Bilingüe Requete Monitos Kinder Garten
Escuela de Práctica docente La Libertad
Colegio Nacional Javier Rio Frio S.
Centro de Desarrollo Infantil Santo Domingo
Centro de Desarrollo Infantil Carrusel
Centro Infantil San Juan Bosco
Centro Educativo Mixto Bilingüe England

Escuela y Colegio Misión Geodésica
Escuela y Colegio Scotland School
Unidad Educativa particular 2 Hemisferios
Escuela Particular Equinoccio
Colegio Intiñan
Centro de Desarrollo Infantil José María García
Centro de Desarrollo Infantil José María García
Unidad Educativa Técnica Experimental Mitad del Mundo
Jardín de Infantes Rita Lecumberry
Centro de Primaria Popular y Ocupacional Mitad del Mundo
Escuela Werner Heisenberg School

Tomado de: Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de “San Antonio de Pichincha”, 2015.

Para este estudio se realizó un reconocimiento del lugar, por medio de varias salidas de campo a la parroquia y la determinación de las escuelas donde la mayoría de la población de niños y niñas asisten. La determinación se la hizo visitando cada una de las escuelas y georeferenciándolas con un sistema de posicionamiento global o GPS. En este caso se utilizó un GPS de marca OREGON, serie 550t.

### **2.1.3. Georeferenciación de las escuelas**

El instrumento de medición OREGON 550t, permitió grabar varios waypoints o coordenadas (Álvarez, 2009), así como también las fotos de las escuelas visitadas alrededor de toda la parroquia. Este GPS cuenta con un botón de encendido, pantalla táctil, lente de cámara, tapa para las baterías, carcasa de montaje, una pequeña pestaña y un puerto mini para USB. (Garmin, 2008)

La creación de los waypoints se la realizó guardando cada uno de los puntos, tocando la pantalla táctil del menú principal y seleccionando “Marcar waypoint“

y editándolos para modificar los nombres de las escuelas. Todos los puntos fueron guardados en formato de posición UTM UPS, con datum y esferoide del mapa WGS 84. Una vez concluida esta actividad se descargaron los datos por medio del puerto USB a la computadora para su posterior análisis.

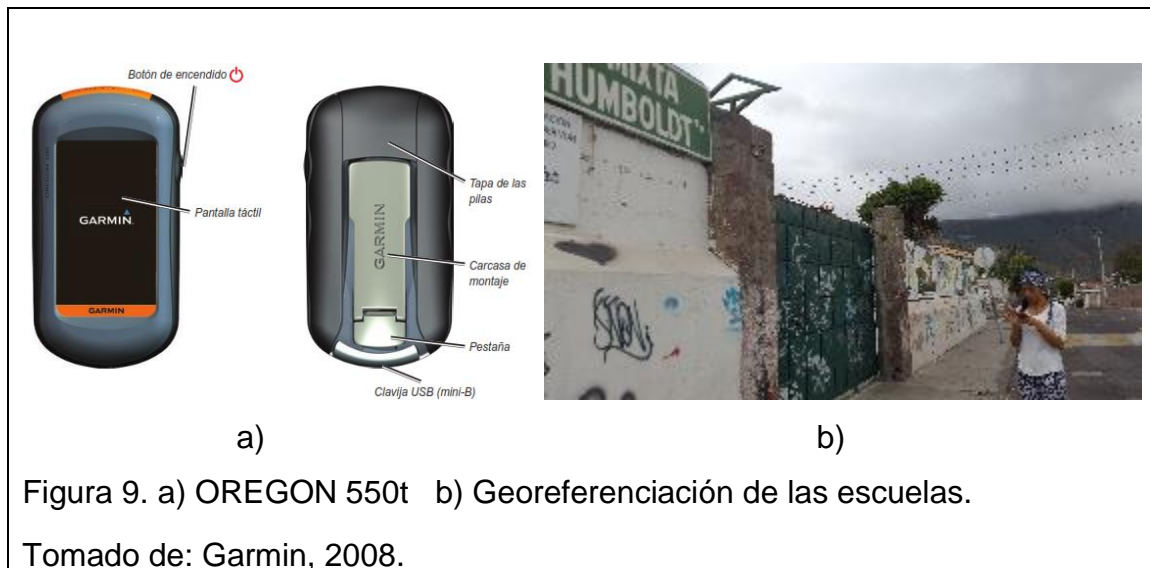


Figura 9. a) OREGON 550t b) Georeferenciación de las escuelas.

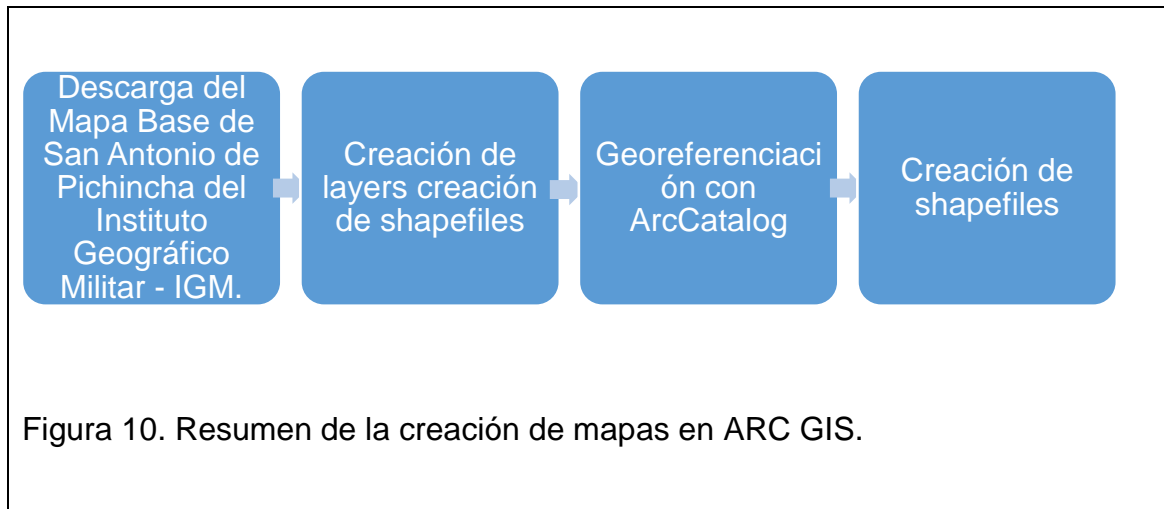
Tomado de: Garmin, 2008.

#### 2.1.4. Mapas de distribución espacial de las escuelas

Una vez obtenidas las coordenadas de las escuelas de la parroquia se realizó un mapa temático que muestra cada uno de estos puntos y adicionalmente se incorporó las áreas de las concesiones mineras, ya sean estas de explotación, de libre aprovechamiento o de minería artesanal. Esta última documentación de catastro minero se la obtuvo por medio de una petición escrita dirigida a la Agencia de Regulación y Control Minero – ARCOM. (Anexo 3)

Estos mapas se realizaron con la ayuda del software ARC GIS y GOOGLE EARTH.





Ingreso de Coordenadas de las escuelas y canteras en el sistema por medio de la herramienta de marca de posición. El sistema utilizado fue el Universal Transversal de Mercator, para poder ingresar los puntos "x" y "y". .

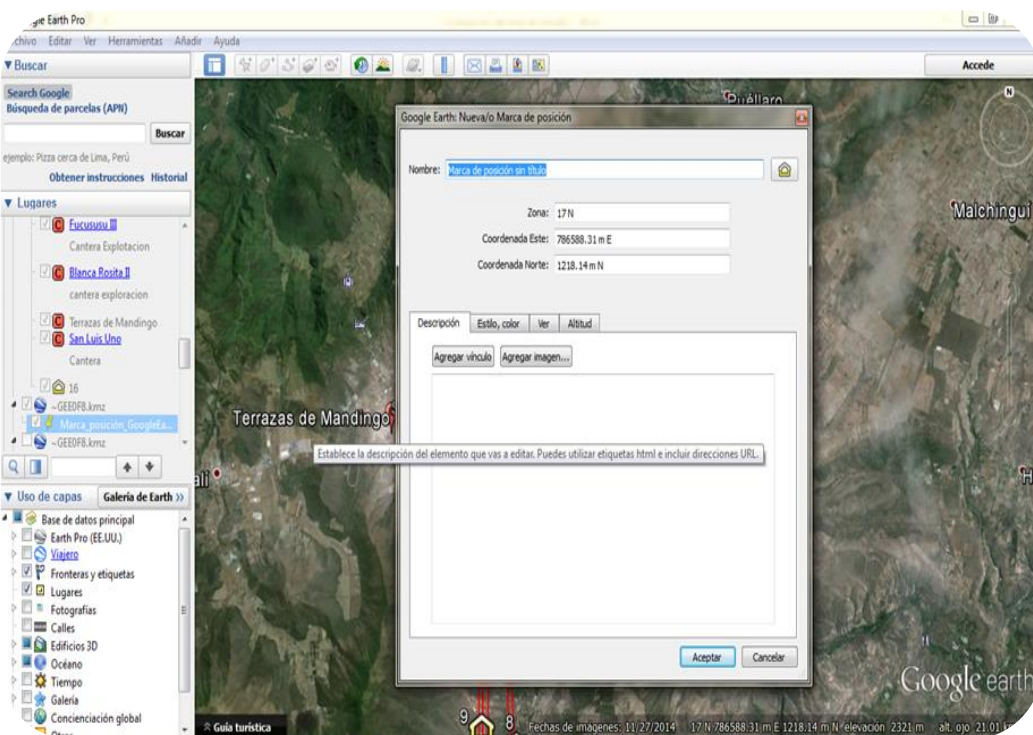


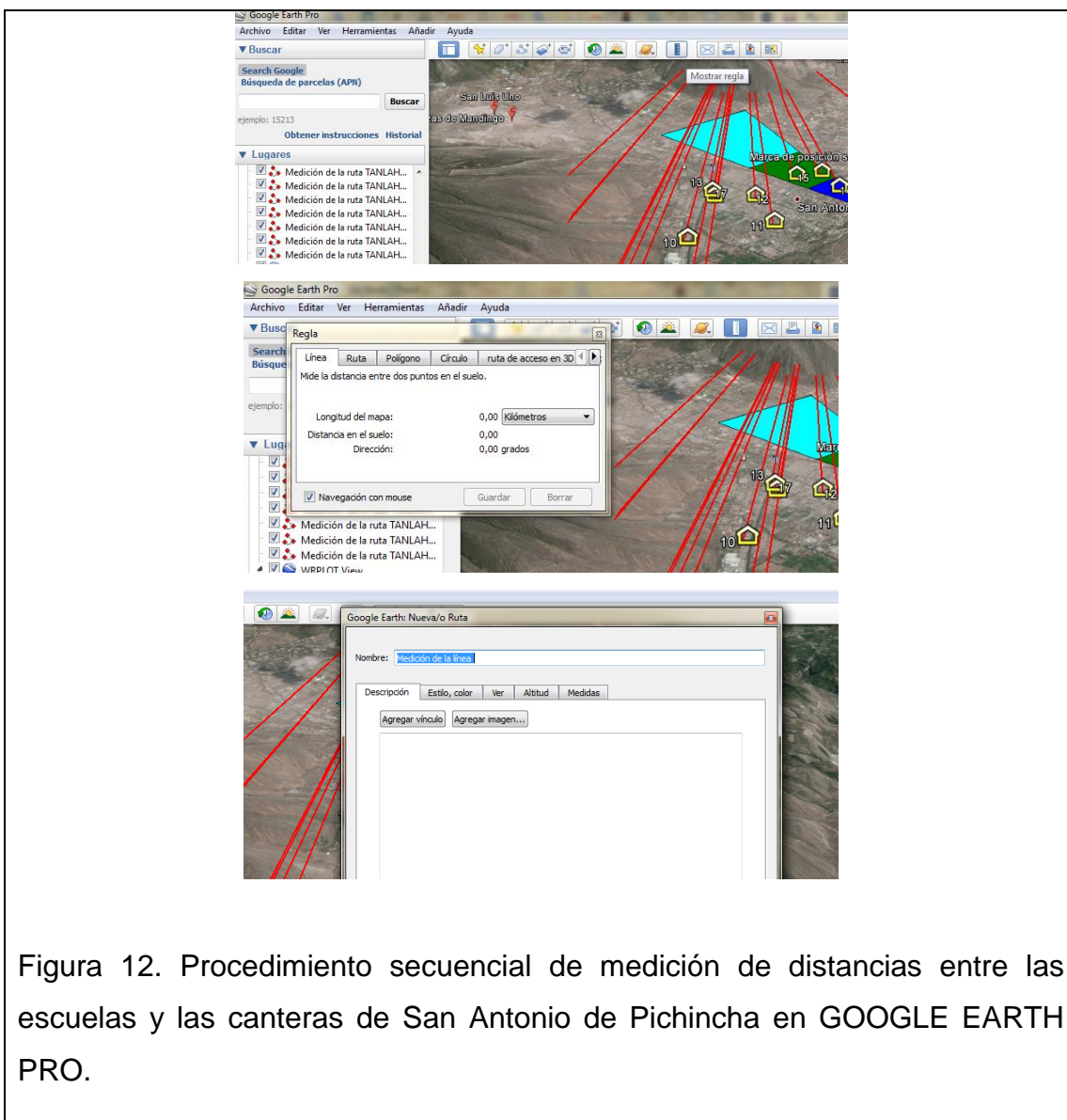
Figura 11. Resumen de la creación de mapas en GOOGLE EARTH.

## **2.2. Simulación del contaminante**

### **2.2.1. Medición de las distancias entre los puntos georeferenciados y las concesiones mineras**

Ésta actividad se la realizó con el fin de establecer las longitudes desde los puntos georeferenciados (escuelas) y las concesiones mineras dentro de la parroquia de San Antonio de Pichicha, para identificar cuales son las escuelas que están siendo más afectadas por el sector extractivo minero.

En una primera instancia, las distancias fueron medidas con el programa ARC GIS, y se obtuvieron 8 imágenes espaciales que muestran la distribución espacial de los puntos y sus respectivas longitudes con respecto a las canteras (Anexo 12). Durante la realización de ésta etapa se identificó que en mapas se incluía una escuela que ya había sido abandonada y sus instalaciones ahora cumplían con otros servicios. Ésta información se constató con las constantes salidas de campo al lugar de estudio. Debido a esto, se decidió volver a georeferenciar las escuelas. Con estos últimos datos se realizó las mediciones longitudinales finales. Esta vez las mediciones se las hizo con GOOGLE EARTH PRO, utilizando la herramienta “Regla”, que hace mediciones desde el posicionamiento de un punto “A” a un punto “B”, como se muestra en la figura 12.



Dichas mediciones fueron tomadas desde cada concesión minera (punto “A”) hacia las escuelas (punto “B”). Según la ARCOM, las canteras de extracción de material pétreo existentes en San Antonio de Pichincha son las siguientes:

Tabla 2. Concesiones mineras en San Antonio de Pichincha.

Piedra Verde Dos	Minería Artesanal
Mtop – Perucho	Libre Aprovechamiento
Guanin	Minería Artesanal
San Pablo 3	Minería Artesanal

Tanlahua	Concesión Minera
Fucusucu V	Concesión Minera
Tanlahuilla	Minería Artesanal
Blanca II	Explotación
Rosita	Explotación
El Guabo	Concesión Minera
Fucusucu Iii	Explotación
San Luis I	Explotación
Terrazas De Mandingo	Concesión Minera
Favito	Minería Artesanal
Santa Fe II	Minería Artesanal
Pablo Andrade	Minería Artesanal

Tomado de: ARCOM, 2014.

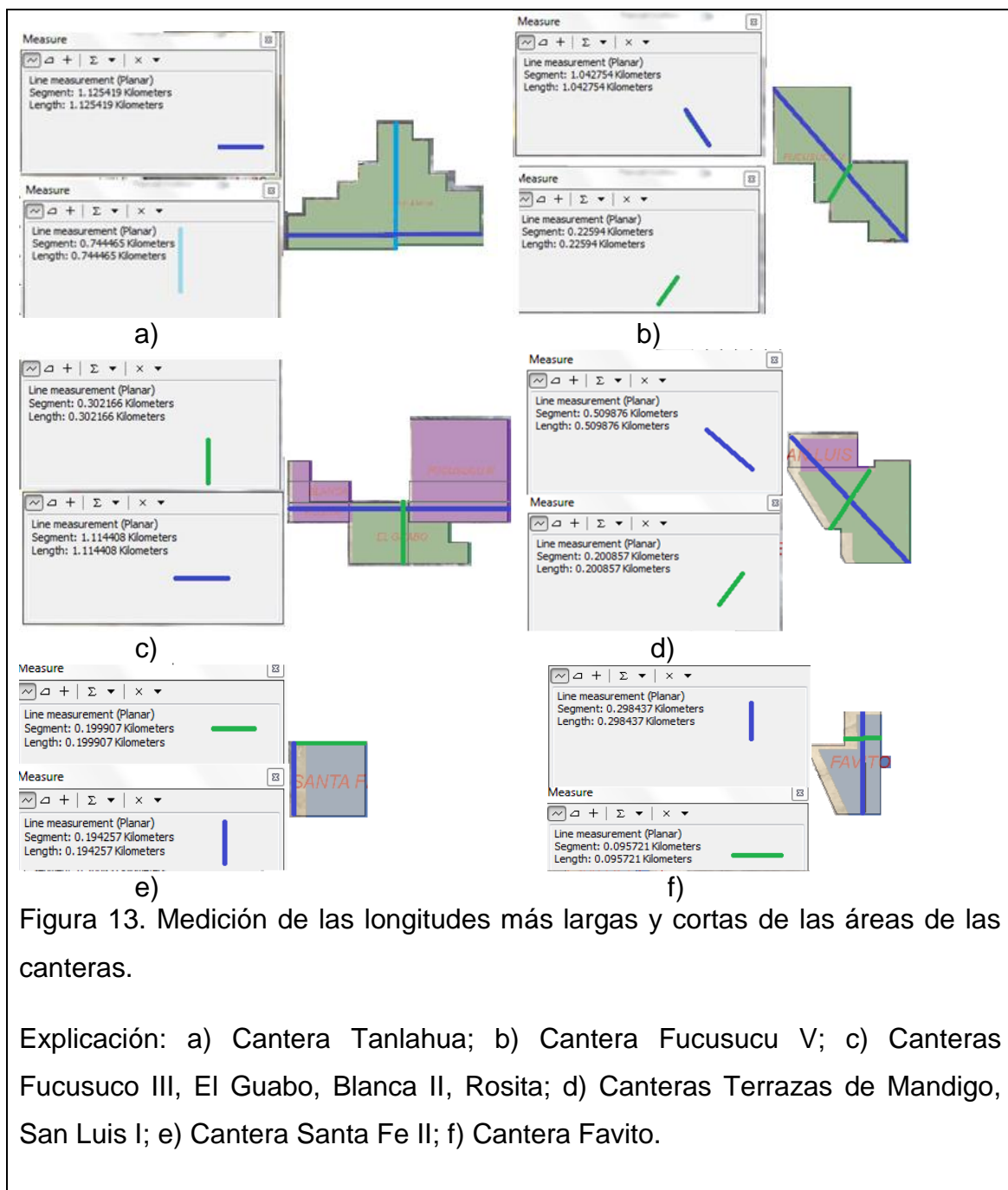
Las canteras Fucusucu III, Blanca II, Rosita y El Guabo fueron agrupadas en un mismo radio debido a su cercanía, suponiendo que se tratase de una sola concesión minera. Este mismo procedimiento se lo efectuó con las canteras San Luis I y Terrazas de Mandingo. Este procedimiento se realizó con el fin de tener un mejor manejo de los datos al momento de la simulación.

Los datos de las distancias medidas fueron recopilados y ordenados en tablas para su análisis posterior.

### **2.2.2. Medición de las longitudes de las canteras**

El programa de simulación del contaminante requiere como dato para su ejecución las longitudes más cortas y más largas de las áreas de las fuentes emisoras (Thé, Thé, Johnson, 2007, pp. 3-4). Estas dimensiones se las hicieron mediante el software ARC GIS con la herramienta "Measure". Para este procedimiento se seleccionó 6 canteras situadas cerca a los poblados de la parroquia, las mismas que tienen mayor influencia como focos emisores debido a su tamaño y distancia a las escuelas del sector.

Se realizó un corte transversal sobre las áreas de las canteras, tanto para las secciones largas como para las cortas, como se puede visualizar en las siguientes figuras, en donde la línea azul en cada área de las diferentes concesiones mineras corresponde a las distancias más largas, y para las más cortas se representó una línea de color verde, exceptuando la cantera de Tanlahua que tiene un área mucho más grande en comparación a las otras y se ha identificado su distancia más corta con color celeste.



### 2.2.3. Análisis de los datos del recurso viento

El análisis del viento es una actividad importante al momento de simular la dispersión de material particulado, Para esta sección se utilizaron los datos de velocidad y dirección del viento de los diez últimos años de registro de la estación meteorológica de San Antonio de Pichincha "M0115" del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología - INAMHI. La información se la obtuvo por medio de una petición formal a dicha institución.

Se utilizó el software WRPLOT VIEW para generar una rosa de los vientos que muestre la frecuencia de la ocurrencia, dirección y la velocidad de este recurso. También se pudo realizar gráficos y estadísticas para una mejor visión de los datos analizados.

Para poder ingresar los datos al software se realizó una hoja en EXCEL, especificando el año, mes, día, hora, velocidad y dirección del viento. El (INAMHI) proporcionó los datos de la dirección en expresiones abreviadas de los puntos cardinales, es decir; (N) norte, (NE) noreste, (E) este, (SE) sureste, (W) oeste y (NW) noroeste. Debido a que el software WRPLOT VIEW no puede analizar la dirección del viento expresada en puntuación cardinal, se cambió a sus grados correspondientes (0°, 45°, 90°, 135°, 270°, 315°). (METEOBLUE, 2015)

Ya en el software, se importó el archivo EXCEL y se procedió a llenar los nombres de las columnas pertenecientes a;

- Año
- Mes
- Día
- Hora
- Dirección del viento
- Velocidad del viento

Tal acción se puede observar en las siguientes figuras:

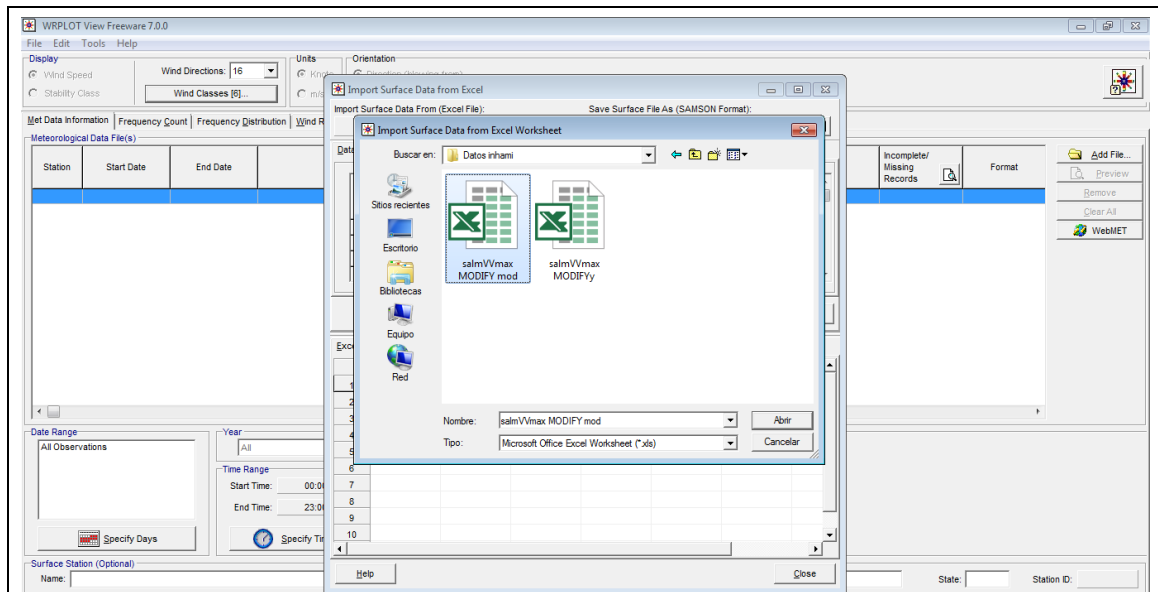


Figura 14. Importación del documento Excel hacia el software WRPLOT VIEW.

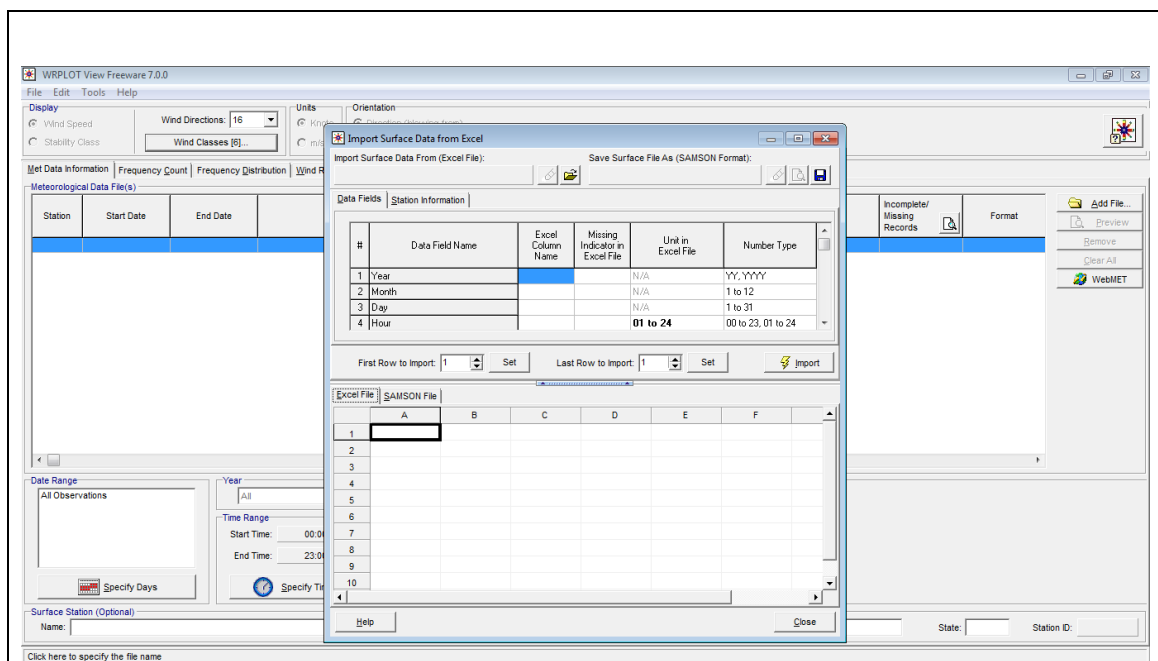
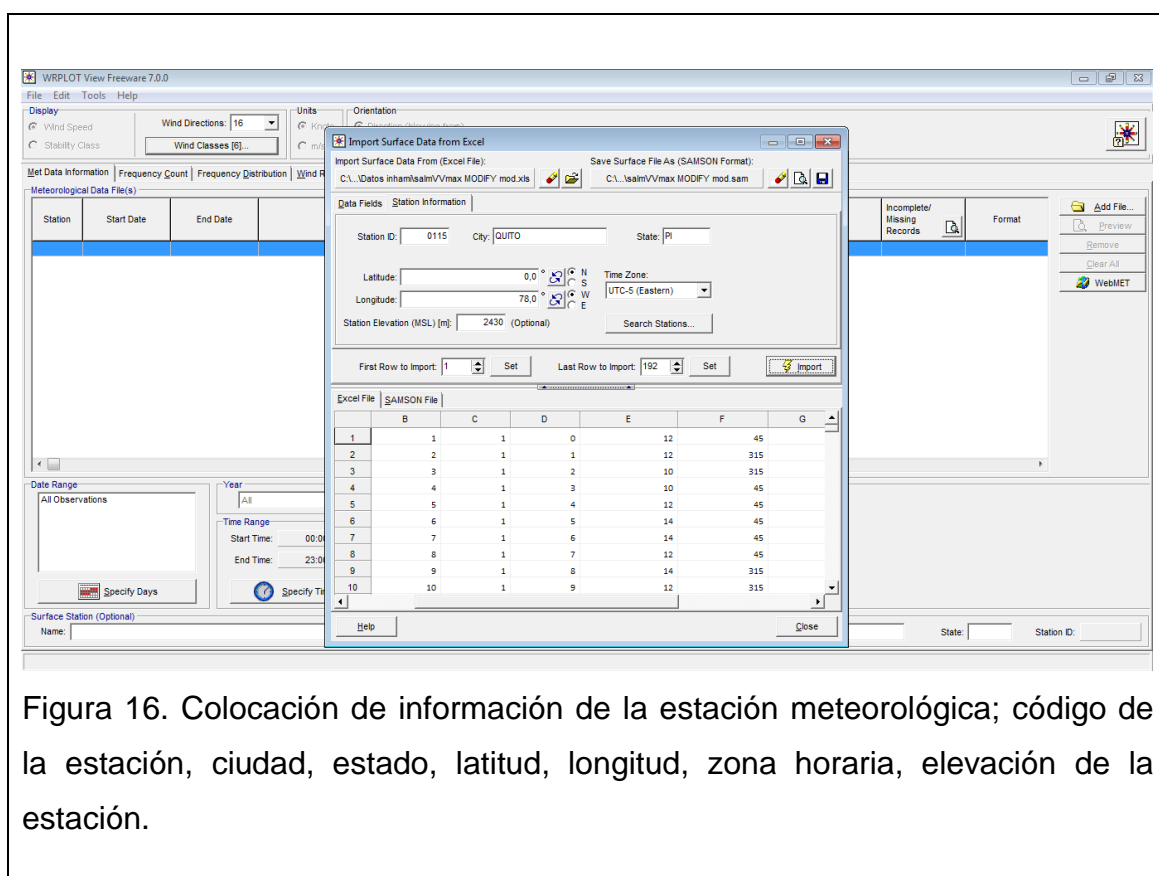


Figura 15. Importación del documento Excel hacia el software WRPLOT VIEW, llenado de nombre de columnas; año (columna A), mes (columna B), día (columna C), hora (columna D), velocidad del viento (columna E) y dirección del viento (columna F).



A continuación se insertó la información correspondiente a la estación meteorológica. Esto abarca;

- Código de la Estación
- Ciudad
- Estado
- Latitud
- Longitud
- Zona horaria
- Elevación de la estación



Al finalizar ésta acción se creó automáticamente un archivo tipo “.sam” que es el archivo generado por WRPLOT VIEW. Éste archivo corresponde a la evaluación de los datos ingresados al programa; la frecuencia de ocurrencia, la rosa de los vientos, la cual tiene dos tipos de visualización de la dirección del viento (desde donde proviene el viento, o hacia donde se dirige) y un gráfico de distribución de frecuencia del viento.

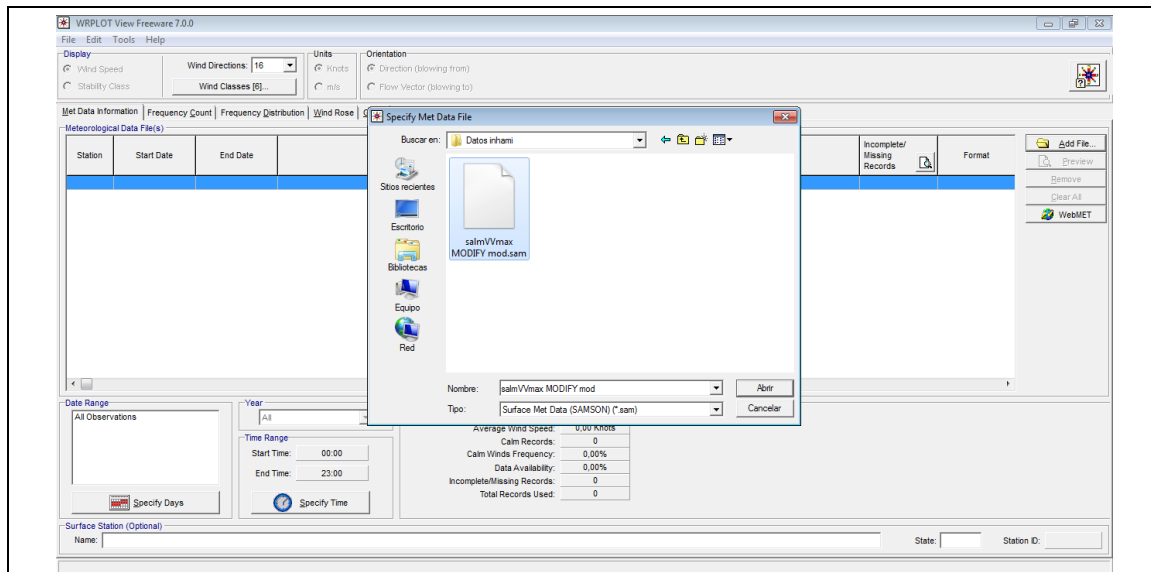


Figura 17. Documento creado por WRPLOT VIEW, archivo tipo “.sam”.

Para exportar la rosa de los vientos a GOOGLE EARTH, y tener una visualización clara en el mapa de la dirección del viento, se agregó nuevamente los datos de longitud y latitud de la estación meteorológica (Mosqueda, 2014):

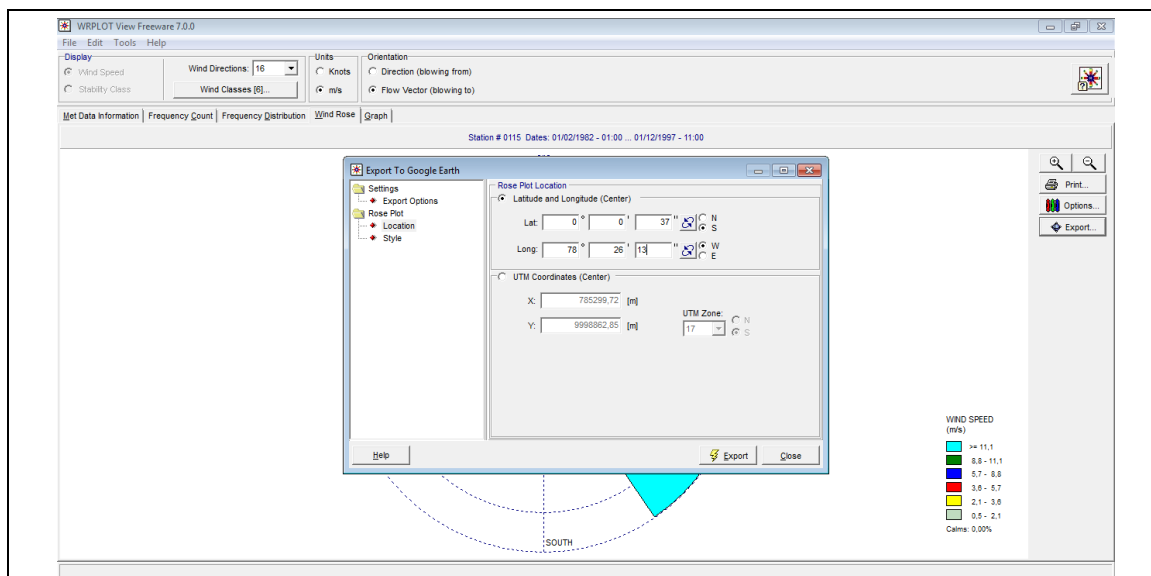


Figura 18. Ingreso de datos de latitud y longitud de la estación meteorológica M0115 de San Antonio de Pichincha para visualizar la rosa de los vientos en GOOGLE EARTH.

### 2.2.4. Cálculo de la tasa de emisión del PM 2.5 $\mu\text{m}$

El programa SCREEN VIEW requiere que se ingrese la tasa de emisión del contaminante para poder simular su dispersión. Este dato debe ser proporcionado según el manual de usuario, en unidades de área, volumen y tiempo, ya que es la relación de la emisión en la atmósfera y la actividad de la industria. Según el Apéndice 42 de la EPA (2009) la ecuación general para poder estimar las emisiones es la siguiente, misma que se utilizó en este estudio;

$$E = A \times EF \times (1 - ER/100) \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

E: Emisión

A: Tasa de actividad

EF: Factor de emisión

ER: Eficacia de reducción de la emisión global (%)

El software del simulador específicamente requiere que la tasa de emisión sea ingresada en  $\text{g}/\text{m}^2 \text{ s}$ , ya que debe ser calculada por unidad de área debido a que el foco contaminante es una fuente fija a cielo abierto. Para ello se necesitó los datos de las áreas de cada una de las canteras que se escogieron para simular. Esta información se la obtuvo del catastro minero de ARCOM (2015).

#### 2.2.4.1. Tasa de actividad

Además la tasa de actividad industrial se la obtuvo mediante la ecuación básica de la densidad;

$$m = d \times v \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

m: Masa (kg)

d: Densidad ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

v: Volumen ( $m^3$ )

La densidad se la obtuvo mediante la obtención de un promedio de densidades de los distintos materiales pétreos que se extraen en las canteras. (EUROIMPORTADORA, 2013)

Tabla 3. Densidades promedio de material pétreo.

<b>Material Pétreo</b>	<b>(<math>kg/m^3</math>)</b>
<b>Arena</b>	<b>1897,5</b>
<b>Grava</b>	1800
<b>Piedra Molida</b>	1350

El volumen extraído de material pétreo de las canteras de San Antonio de Pichincha se la obtuvo de la base de datos de ARCOM.

#### **2.2.4.2. Factor de emisión**

Este dato se determinó por medio del AP 42 de la EPA de la sección 11.19.2 que se refiere a factores de emisión concernientes a la industria minera, específicamente al procesamiento de triturado de piedra y pulverización mineral.

Mediante todo el procedimiento extractivo existen diversos puntos en donde se emite material particulado a la atmósfera y el factor de emisión es diferente en cada caso.

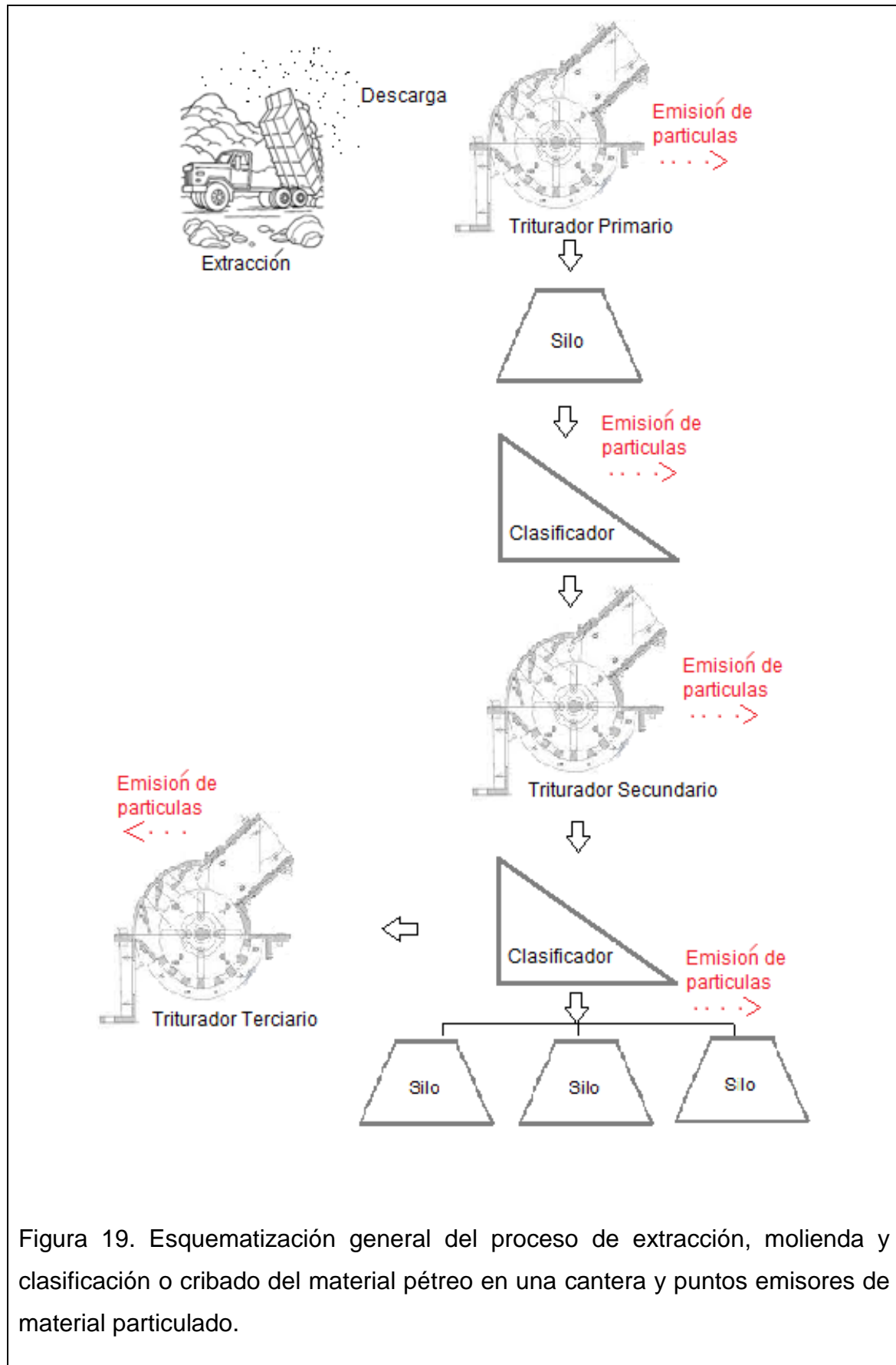


Figura 19. Esquematización general del proceso de extracción, molienda y clasificación o cribado del material pétreo en una cantera y puntos emisores de material particulado.

En el esquema de la figura 19 se puede visualizar que el material extraído pasa por algunos procesos de molienda o trituración. Por lo general el PM emitido oscila entre tamaños de 1 y 1000  $\mu\text{m}$ . (MME, 2006). En el primer cribado emite material particulado de dimensiones altas, aproximadamente entre 7.5 cm y 30 cm, en las siguientes trituraciones el material se va desintegrando llegando a un tamaño de partícula entre 0.5 cm y 2.5 cm según la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía en España (2014).

Debido a que el material particulado emitido a la atmósfera tiene diferente tamaño en cada proceso de extracción, es pertinente considerar que el factor de emisión del mismo va a diferir en cada uno de estos procesos, aunque esta diferencia no tenga rangos grandes. Pero para un mejor control de los datos se realizó un promedio de los factores de emisión en los procesos de trituración, cribado y almacenamiento.

Los promedios de los factores de emisión de material particulado fino de 2.5  $\mu\text{m}$  en los diferentes procesos de extracción de material pétreo según la sección 11.19.2 de la AP 42 de la EPA (2003) son los siguientes;

Tabla 4. Factor de emisión promedio.

<b>Proceso</b>	<b>Promedio del Factor de Emisión (kg/Mg) ó (lb/ton)</b>
<b>Trituración terciaria</b>	0.00005
<b>Cribado</b>	$2.5 \times 10^{-5}$
<b>Transferencia/Clasificado</b>	$6.5 \times 10^{-6}$
<b>Trituración fina</b>	0.000035

Tomado de: EPA – AP 42, sección 11.19.2, 2003, p 24

### 2.2.4.3. Eficacia de reducción de la emisión global

Para este estudio, la eficiencia de reducción de emisiones dentro de las canteras no se toma en consideración, ya que no todas las canteras de extracción de material pétreo cuentan con sistemas de disminución de emisiones. Se supone que no existe un porcentaje de reducción del contaminante, aunque en algunas concesiones mineras si practiquen medidas de mitigación.

### 2.2.5. Ingreso de datos al software SCREEN VIEW

Una vez determinados todos los datos requeridos para la simulación del contaminante se procedió a ingresarlos en el programa de la siguiente manera;

- 1) Se escogió el tipo de fuente, en este caso “Área”.

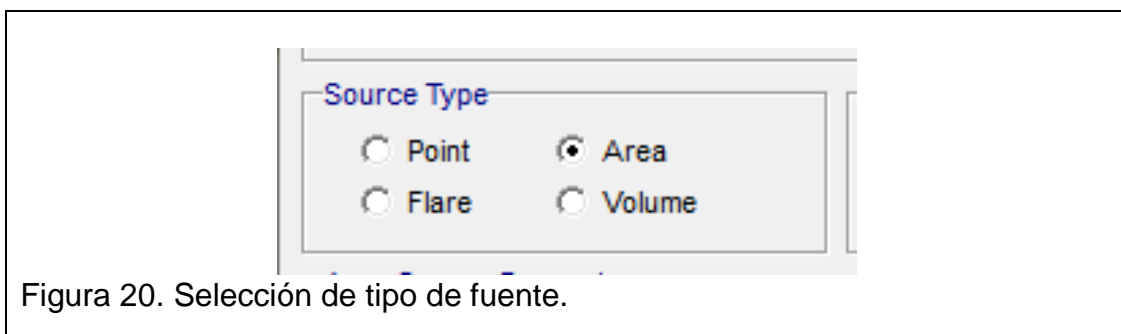


Figura 20. Selección de tipo de fuente.

- 2) Se seleccionó el coeficiente de dispersión.

Esta determinación se basa en el uso de la tierra dentro de un radio de 3 kilómetros alrededor de la fuente. En esta selección se realizó un cálculo para determinar cuál es el número de personas por kilómetro cuadrado que habitan en la parroquia de San Antonio de Pichincha, es decir la densidad poblacional, datos que fueron tomados del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de “San Antonio de Pichincha” 2015. (Thé et al., 2007, pp.6)

$$\text{Densidad de población} = \frac{\text{Número de personas}}{\text{kilómetro cuadrado}}$$

(Ecuación 3)

$$\text{Densidad de población} = \frac{32357 \text{ personas}}{11626 \text{ km}^2}$$

Haciendo una simple regla de 3 se sabe que existen aproximadamente 3 personas por kilómetro cuadrado en la parroquia;

$$\text{Densidad de población} = \frac{2.78 \text{ personas}}{\text{km}^2}$$

$$\text{Densidad de población} = \frac{3 \text{ personas}}{\text{km}^2}$$

Puesto a que el número de personas es menor a 750 / km<sup>2</sup> se selecciona como coeficiente de dispersión a la clasificación "Rural".

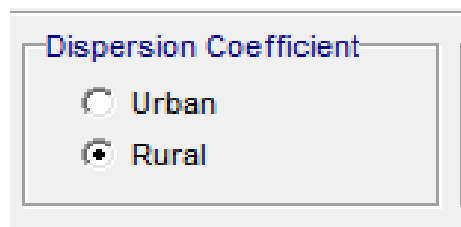


Figura 21. Selección del coeficiente de dispersión.

- 3) Se ingresó la altura de "Asta de Bandera del Receptor", que se refiere a la altura en donde se encuentra el receptor por encima del suelo, en este caso las escuelas.

Se sabe por las verificaciones que se hicieron en las salidas de campo al lugar de estudio que la mayoría de las escuelas no tienen estructuras de



edificios altos, sino que son estructuras bajas, por este motivo se decidió mantener este dato en 3 metros para todas las simulaciones.

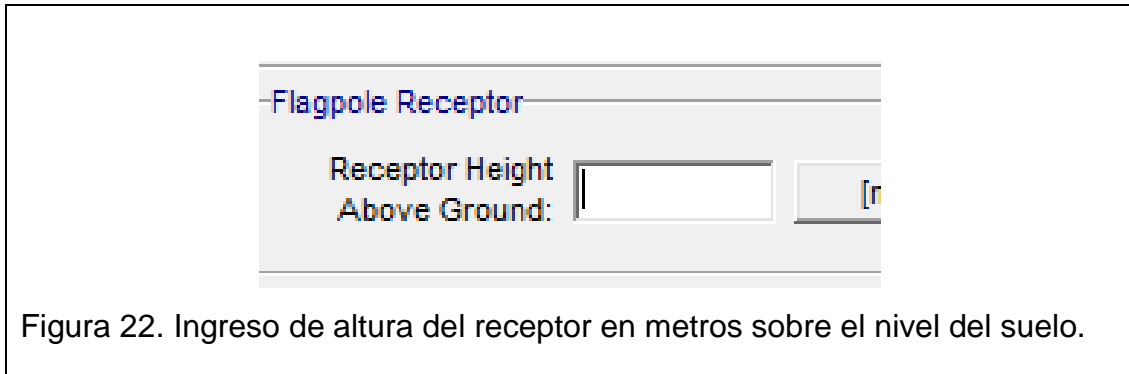


Figura 22. Ingreso de altura del receptor en metros sobre el nivel del suelo.

- 4) Se ingresó los parámetros de la fuente de área según cada cantera escogida para la simulación.

La tasa de emisión ingresada es constante para todas las simulaciones, así como también la búsqueda del rango de dirección del viento, parámetros que fueron analizados anteriormente.

La altura de liberación de la fuente varía dependiendo de la simulación de la cantera. Esto también aplica a las longitudes más cortas y más largas, ya que dependen del área de la cantera que se quiere simular.

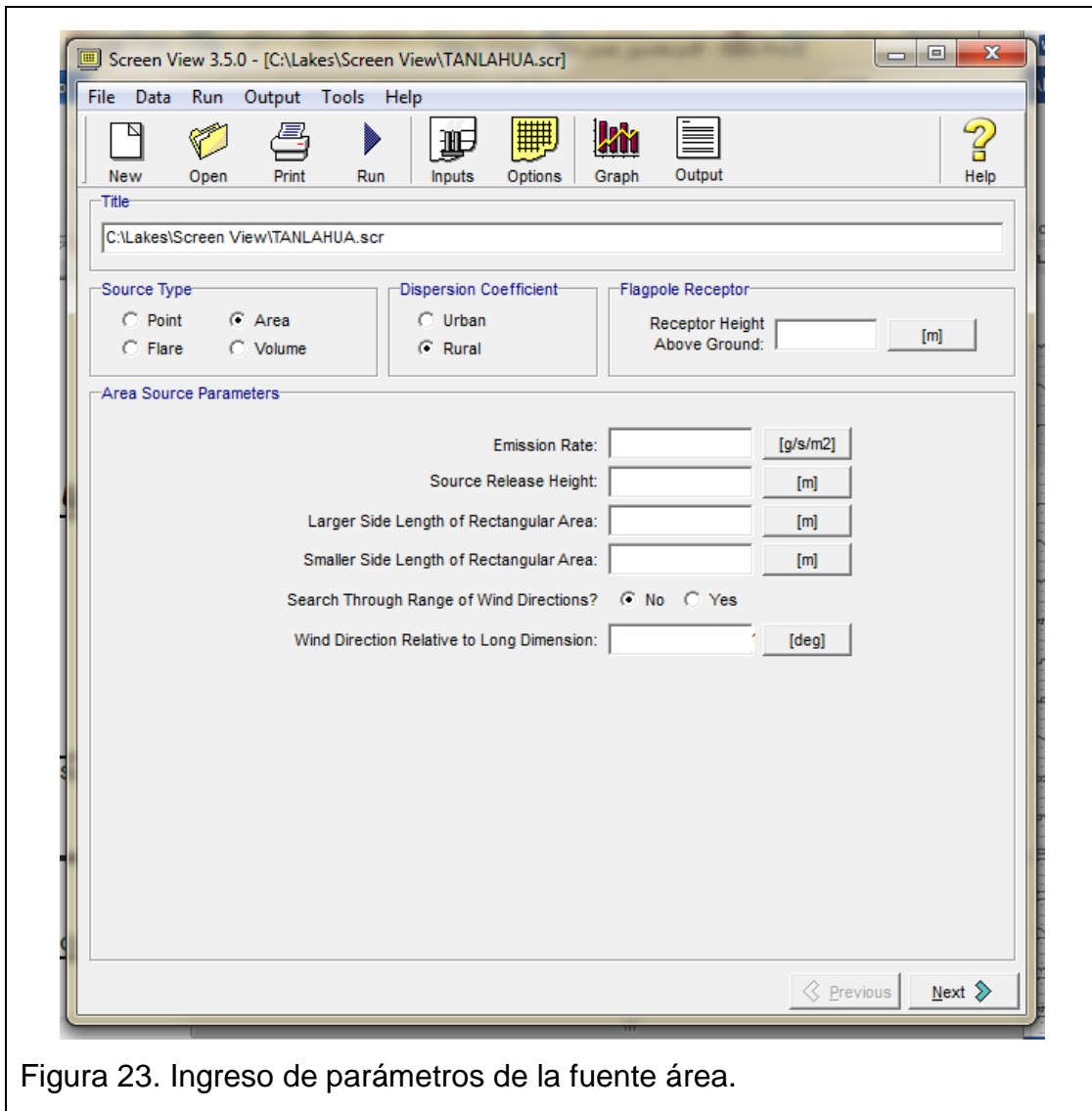


Figura 23. Ingreso de parámetros de la fuente área.

- 5) Al presionar la pestaña “Next” en el programa, existe la opción de selección meteorológica para terreno simple. Esta configuración de terreno simple no es posible cambiarla cuando se trabaja en fuente de área. Así que se supone en todas las simulaciones que la geomorfología del terreno no es compleja, aunque en realidad el terreno en la zona de San Antonio de Pichincha es bastante complejo, especialmente en las zonas donde se encuentran las canteras. La opción del terreno simple asume que la altura de este no excede la altura base de la chimenea, en este caso de la cantera. También en este paso se seleccionó la opción de distancias discretas para poder ingresar las distancias medidas entre las canteras y las escuelas.

En este procedimiento se seleccionó la opción de “Full Meteorology”, para que el programa realice la simulación de dispersión tomando en cuenta una amplia gama de clases de estabilidad y velocidades del viento. Las opciones no regulatorias en este paso se las mantiene por default.

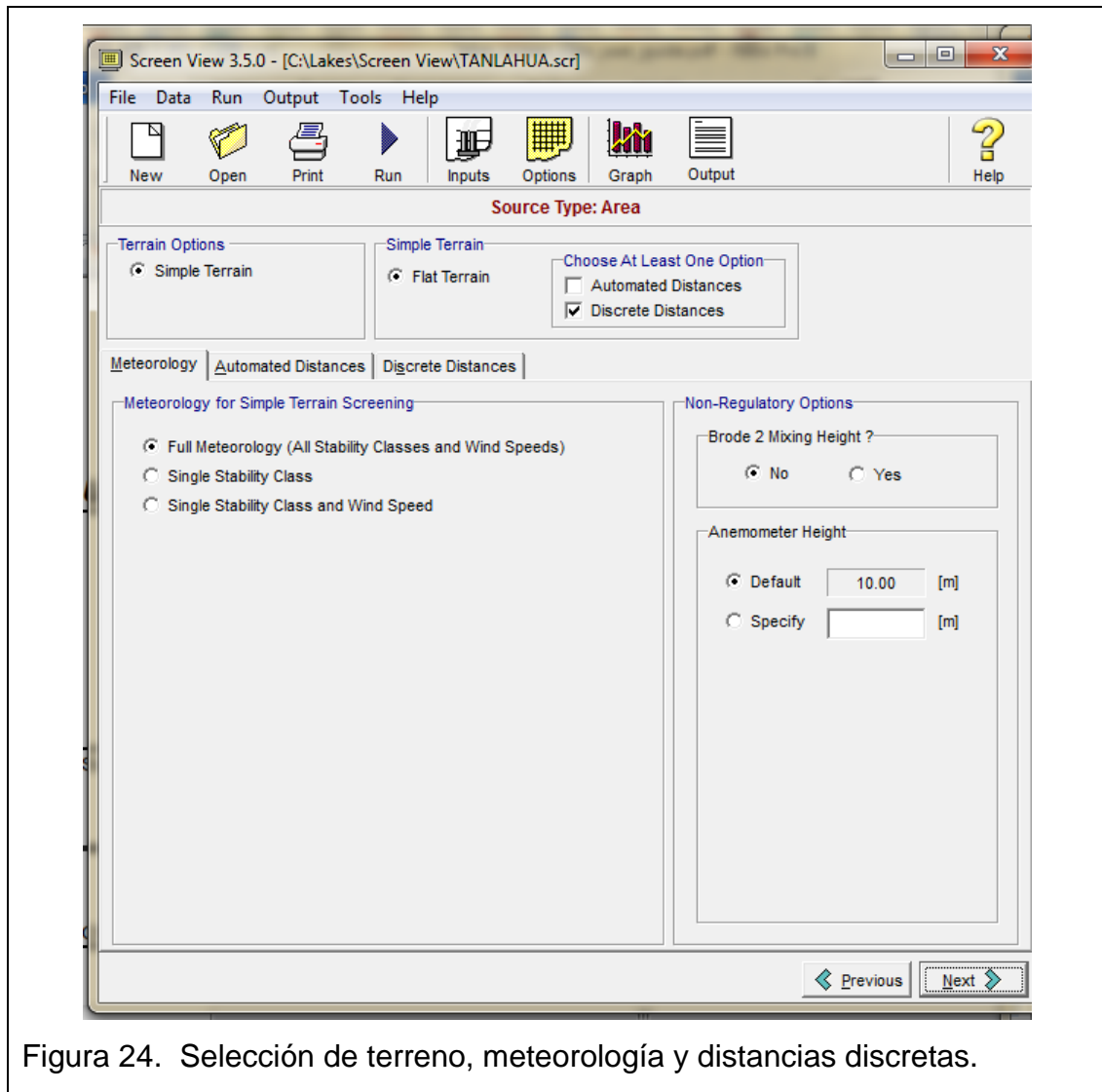


Figura 24. Selección de terreno, meteorología y distancias discretas.

- 6) Posteriormente se debe dar otra vez clic a la tecla “Next”, la pestaña que se habilita es la de “Distancias Automáticas”. Esta opción permite una pre-selección de distancias que van desde los 100 m a los 50000 m. Pero ya que en este estudio se desea saber el comportamiento del contaminante a una distancia específica, esta opción no se la considera.

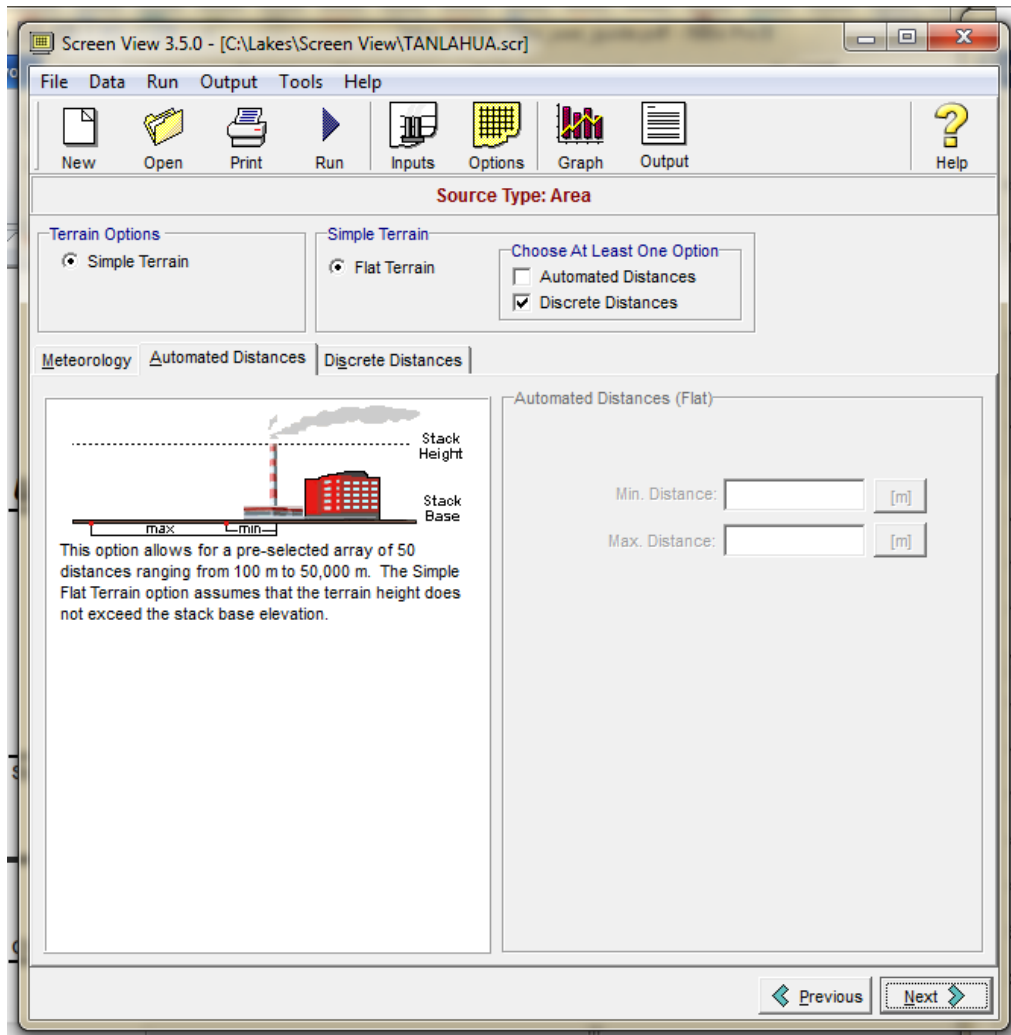


Figura 25. Selección de terreno, meteorología y distancias discretas.

- 7) Nuevamente se cliquea la tecla "Next" y en la pestaña de "Distancias Discretas" se ingresaron las distancias correspondientes desde la fuente (cantera) hasta las escuelas en unidades métricas, que fueron datos calculados previamente con el software GOOGLE EARTH PRO.

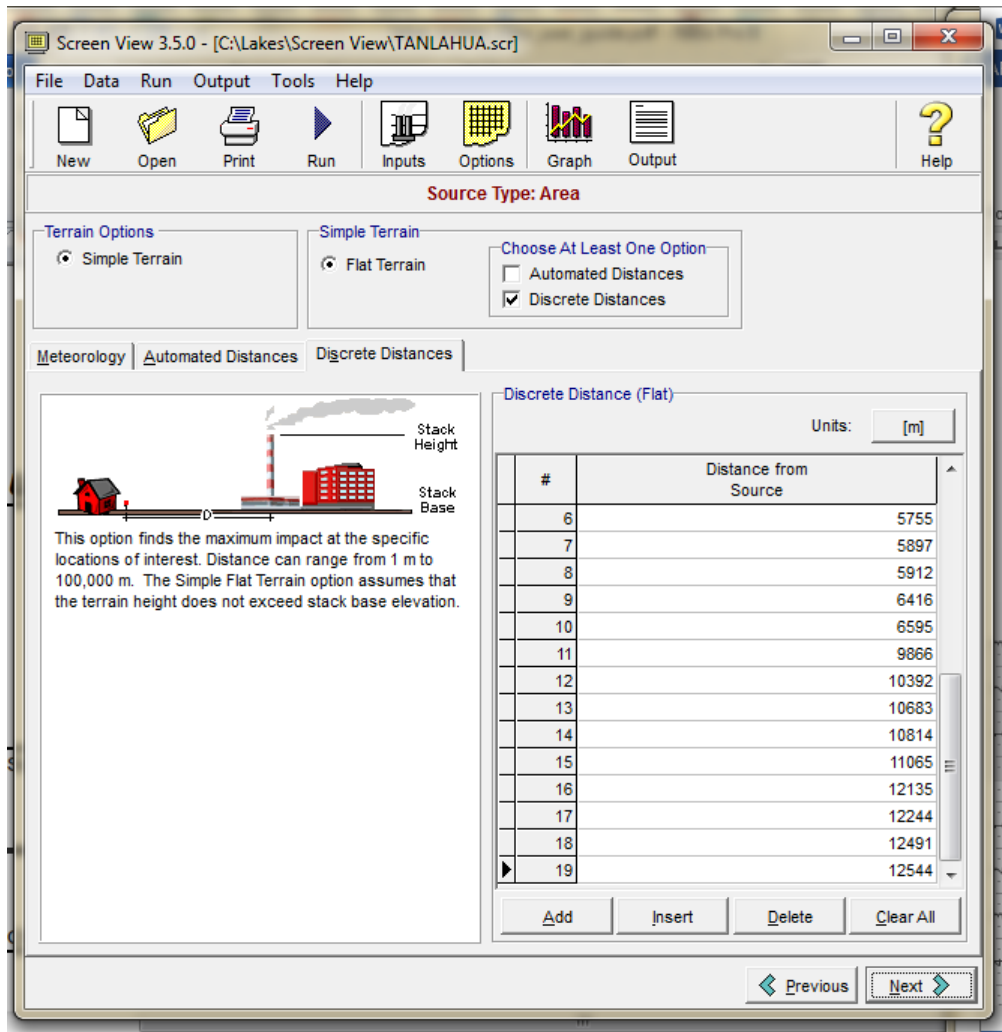


Figura 26. Selección de terreno, meteorología y distancias discretas.

- 8) Por último se corre el programa, para que el sistema pueda calcular y simular el comportamiento del material particulado de  $2.5 \mu\text{m}$  con todos los datos ingresados anteriormente. Una vez que es corrido el programa, este arroja un documento en donde se encuentran las supuestas concentraciones a cada distancia ingresada, en unidades de  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

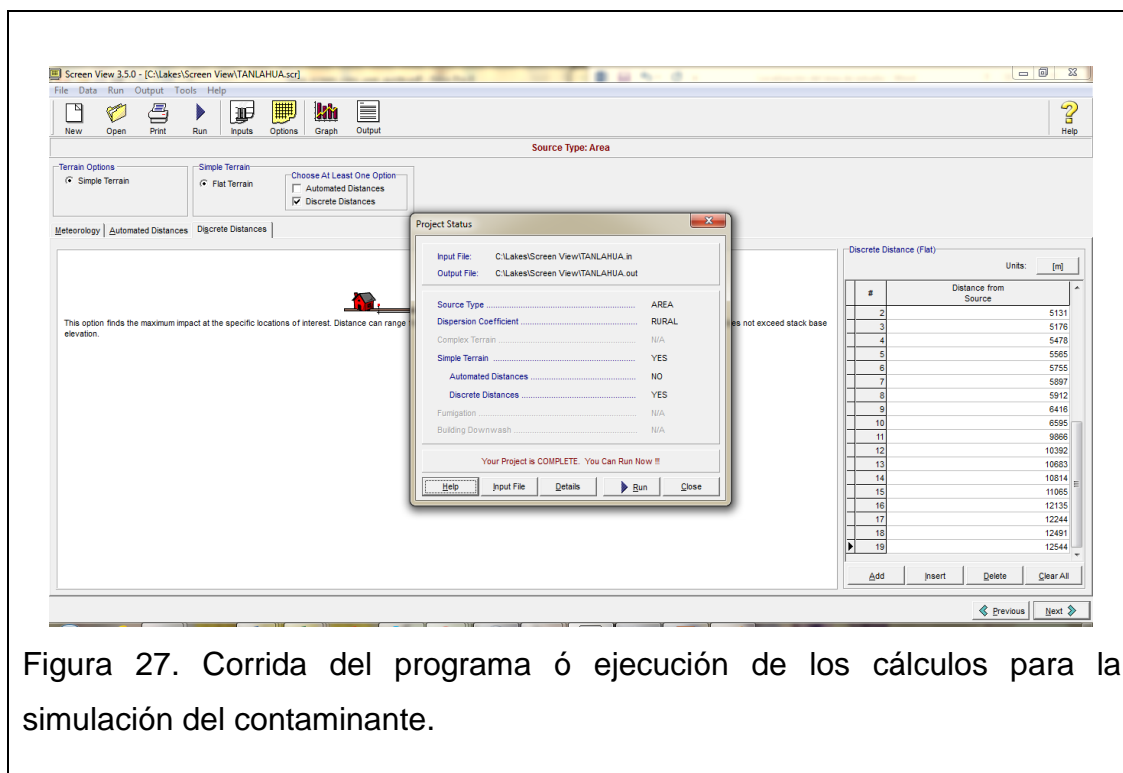


Figura 27. Corrida del programa ó ejecución de los cálculos para la simulación del contaminante.

### 2.3. Selección de los puntos de monitoreo

La técnica que fue utilizada para esta selección fue la de muestreo no probabilístico. La forma de identificación del subconjunto de toda la población de escuelas georeferenciadas en este estudio se realizó considerando los resultados emitidos por la simulación en SCREEN VIEW, así como también los objetivos del estudio.

El tipo de muestreo no probabilístico que se usó fue el denominado “por conveniencia”, dada las facilidades que proporciona esta técnica en cuanto a la accesibilidad de herramientas que se requieren para llevar a cabo este estudio. (Guetiérrez, 2010 y Universitat d’ Alacant, 2015) Como por ejemplo, el número de filtros que se debe usar para las mediciones de material particulado fino cada día en las diferentes escuelas de la parroquia o el tiempo requerido para realizar dichas mediciones e incluso los análisis de estas en el laboratorio.

Según el análisis de las simulaciones del comportamiento de PM 2.5  $\mu\text{m}$ , los datos geográficos y considerando el objetivo del estudio, el tiempo, los recursos necesarios para lograrlo y estudios realizados en otros países (González, Cuesta, Pire, 2013, pp. 28; Ramírez, 2008, pp. 56; Watson, Chow, 2002, pp. 467), se decidió monitorear 4 escuelas representativas, situadas más cerca a las concesiones mineras, mismas que según la simulación del contaminante se encuentran más expuestas.

#### **2.4. Monitoreo atmosférico**

El monitoreo atmosférico de material particulado fino de 2.5  $\mu\text{m}$  en las 4 escuelas seleccionadas, se dividió en 2 principales mediciones, las “indoors” y las “outdoors”. Conjuntamente se realizaron monitoreos de parámetros climatológicos como velocidad del viento, temperatura, humedad relativa y punto de rocío.

Para cada medición “indoor” ó en interiores se dedicaron 5 días de monitoreo. Este procedimiento se realizó dentro de las aulas de las escuelas.

Para las mediciones “outdoors” se dedicaron también otros 5 días de monitoreo, la ubicación del monitoreo fue en los patios de las escuelas, en donde los niños pasan los recreos, entre 1 y 5 m con respecto al aula de clases. (Ramírez, 2008, pp. 56)

En total se realizaron 10 días de monitoreo en cada institución educativa, lo que representa 40 días de investigación atmosférica in situ.

La población muestral abarca a niños de primero a tercer año de educación básica, comprendidos en edades de 4 a 6 años.

### 2.4.1. Programación del muestreo

Se estableció un muestreo de 8 horas diarias tanto para los 5 días de mediciones en interiores como para los otros 5 días en exteriores, de 8 am de la mañana hasta las 4 pm de la tarde, para las 4 escuelas monitoreadas. Posterior al monitoreo diario, se trasladaron las muestras a los laboratorios de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Las Américas, para que puedan ser desecadas y analizadas gravimétricamente.

Tabla 5. Monitoreos Atmosféricos.

<b>MONITOREOS ATMOSFÉRICOS</b>				
<b>N° Escuelas</b>	<b>t Exposición</b>	<b>Fecha</b>	<b>Concentración PM 2.5 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>Climatología</b>
<b>1</b>	8 horas por 10 días	Del 15 al 24 de Mayo de 2015	X1	Y1
<b>2</b>	8 horas por 10 días	Del 25 de Mayo al 5 de Junio de 2015	X2	Y2
<b>3</b>	8 horas por 10 días	Del 8 al 19 de Junio de 2015	X3	Y3
<b>4</b>	8 horas por 10 días	Del 22 de Junio al 3 de Julio de 2015	X4	Y4

Explicación: Se representa un resumen de los datos a obtener: Concentración de PM 2.5  $\mu\text{m}$  y datos climáticos; durante la realización de los monitoreos atmosféricos en la muestra seleccionada.

Para tener acceso a las escuelas se debió realizar una petición formal de ingreso a la Subsecretaría de Educación de Quito en la Dirección Distrital La



Delicia, así como también a cada institución educativa, trámites que duraron 3 semanas. (Anexo 6)

#### **2.4.2. Monitoreo de material particulado fino de 2.5 $\mu\text{m}$**

Este monitoreo se realizó con la ayuda del equipo MICRODUST PRO, que ejecuta mediciones de polvo a tiempo real. Para que este pueda realizar efectivamente la evaluación del contaminante, fue necesario adaptarlo al accesorio completo de caja. Lo que significa que se conectó el equipo a una sonda o también llamada bomba de muestreo, para que mantenga un caudal de aire apropiado. Además se incorporaron cassettes de filtros de 37 mm en donde se depositaría el contaminante y pufs o también llamados filtros, cuyo objetivo es discriminar el tamaño de partícula que ingresa al equipo.

Los cassettes de filtros que se utilizaron fueron adquiridos en la compañía “Zefon International”, que manufactura y provee equipos de muestreo del área de la salud, seguridad interior ambiental y ocupacional con sede en USA. Estos cassettes, llamados por la compañía “Gravimetric Match Weighed Cassettes”, eliminan el inconveniente de pre-pesar los filtros antes del monitoreo. Lo que también reduce aproximadamente un 90% la contaminación accidental del filtro.

El mecanismo consiste en que el cassette contiene 2 filtros que están emparejados en pesos. Después del monitoreo, se debe pesar gravimétricamente los dos filtros y la diferencia de pesos entre ellos determinará la cantidad de la muestra. (Zefon International, 2015)

Los filtros adquiridos poseen las siguientes características;

- Cassette de 3 piezas
- Etiquetas con números de serie
- Código de color que indica el tamaño de poro (0.8  $\mu\text{m}$ ) y el tipo de filtro
- Diseño que impide las fugas de la muestra
- Dos filtros emparejados en pesos
- Almohadilla de soporte

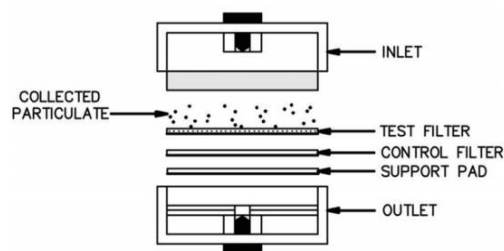
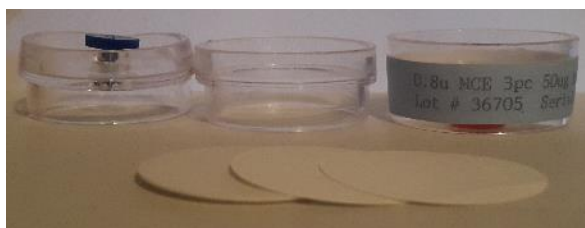


Figura 28. Gráfico de “Gravimetric Match Weighed Cassettes”

Tomado de: Zefon International, Sampling Media & Cassettes, 2015.



a)



b)

Figura 29. Fotografías de “Gravimetric Match Weighed Cassettes” adquiridos.

a) Cassette desarmado en 3 piezas, primera pieza con seguro azul que es por donde se conecta a la manguera de la bomba incorporada al MICRODUST PRO, segunda pieza que ayuda al mejoramiento de toma de muestra, tercera pieza por la que entra la captura de muestra, filtros emparejados en peso y almohadilla de soporte. b) Cassette sellado con etiqueta informativa.

Los 50 cassettes adquiridos llevan como número de lote 36705.

La instalación de los cassettes se la realizó de la siguiente forma;

- Se aseguró de que la bomba de flujo constante y el motor del MICRODUST PRO hayan sido apagados.
- Se abrió el cassette, de manera que quede una parte con 2 piezas y la otra parte con los 2 filtros emparejados en peso, así como también la almohadilla de soporte.

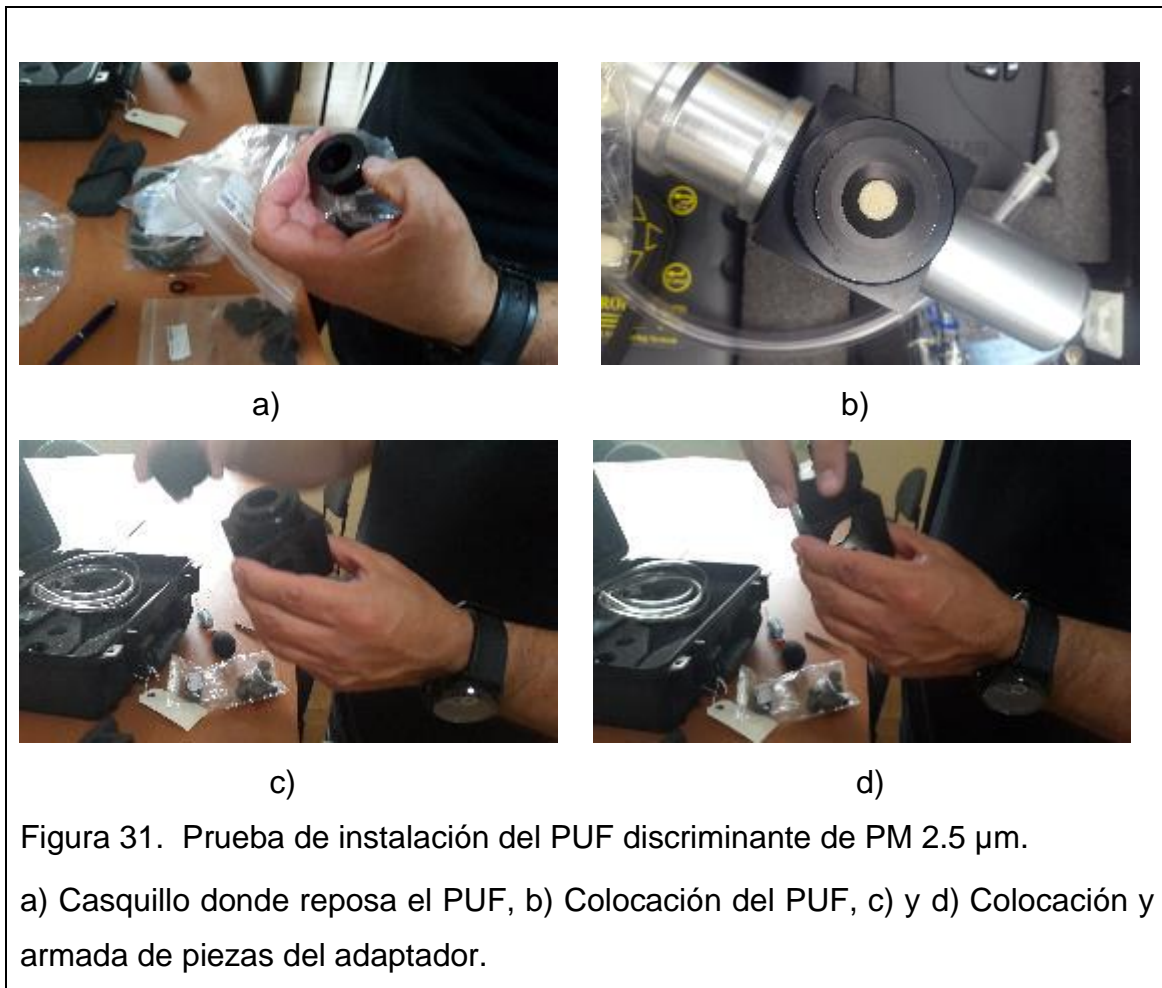
- Se removió el seguro rojo de la parte de entrada de la muestra y conectándola a la manguera de la bomba y al adaptador del MICRODUST PRO.



Por otra parte, los pufs de discriminación de tamaño de partícula, imprescindibles para poder monitorear el material particulado fino de  $2.5 \mu\text{m}$  se adquirieron por medio de la empresa “MASS, Salud y Seguridad Ocupacional”, que son representantes de CASELLA en Ecuador, empresa fabricante y expendedora del equipo de monitoreo MICRODUST PRO.

Estos pufs o filtros de espuma de poliuretano, son una especie de adaptador gravimétrico, que permiten suministrar las características requeridas para el muestreo de tamaño selectivo, en este caso no permiten que partículas mayores a  $2.5 \mu\text{m}$  puedan ser leídas por el equipo.

La instalación de los pufs se la realizó desarmando el adaptador del MICRODUST PRO e insertándolos dentro de la pieza donde deben reposar, tal como se visualiza en la figura 31. Esta acción se hizo cada día antes de iniciar el monitoreo cambiando diariamente el puf para que éste no se sature. Además para evitar contaminación del puf se usaron guantes de látex y pinzas.



En cuanto a la bomba de muestreo se usó una APEX PUMP de la marca CASELLA CEL y se programó la cantidad de caudal de aire de paso que se necesitaba.

Es conocido que los niños respiran en peso aproximadamente un 50% más aire que los adultos, ya que su metabolismo es más elevado. (NIH, 2016) Considerando esto, se decidió aumentar el caudal de entrada del aire de la bomba a 3.5 l/min. (Campo, Mendivil, 2010) Además este flujo también es recomendado para tiempos de monitoreo de hasta 11 horas o menos. Este dato es inversamente proporcional al tiempo, por ejemplo 1 l/min es para tiempos que oscilen hasta 33 horas y 4 l/min para 3 horas. (CASELLA, 2011)

Usualmente para este tipo de estudios los dispositivos de control de flujo oscilan entre 1.02 m<sup>3</sup>/min y 1.24 m<sup>3</sup>/min, para que se garantice una separación apropiada de las partículas, (MAVDT, 2012, pp.165) la bomba del MICRODUST PRO requiere una tasa de flujo de 2.2 l/min suponiendo que los actores a ser muestreados son adultos (MICRODUST PRO, 2005). En este caso los 3.5 l/min deben ser multiplicados por el tiempo en el que se realiza la muestra, para poder tener el valor real del volumen de caudal usado.

$$\text{Volumen} = \text{Caudal} \times \text{Tiempo} \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$\text{Volumen} = 3.5 \text{ l/min} \times 8 \text{ horas}$$

$$\text{Volumen} = 3.5 \frac{\text{l}}{\text{min}} \times 480 \text{ min}$$

#### 2.4.2.1. Determinación del tiempo de muestreo

El tiempo de toma de las muestras se determinó siguiendo las recomendaciones de “La Guía Técnica para la Evaluación y Prevención de Riesgos de Agentes Químicos en el Trabajo”, que es un decreto real del gobierno de España, en donde se indica que los dos mejores tipos de muestreo son el A y el B. El tipo de **muestreo A** es el que la duración de la muestra es igual al periodo de exposición y el tipo de **muestreo B** requiere cubrir el tiempo

de exposición con 2 o más muestras consecutivas, por lo que es el más aconsejado, ya que permite una mejor detección de variaciones de la concentración del contaminante y reduce el riesgo de contaminación accidental de la muestra. (Decreto Real 374/2001, actualizado al 2013 pp. 87)

Dada la factibilidad de muestreo a tiempo real y pesaje de filtros que ofrece el MICRODUST PRO, se pudo llevar a cabo el procedimiento mediante los dos tipos de muestreo. El de tipo A para el método gravimétrico de los filtros y el B para las mediciones a tiempo real. Estas últimas fueron tomadas en un intervalo de tiempo de 10 minutos con respecto a cada muestra para poder obtener la mayor cantidad de datos y un resultado más real.

Como ya se indicó, los muestreos deben abarcar el periodo de exposición laboral, que es el mismo tiempo en el que los trabajadores o en este caso los estudiantes pasan en las escuelas, así que el tiempo de la toma de muestras en cada institución educativa fue de 8 horas diarias.

#### **2.4.2.2. Determinación de la altura de muestreo**

Según algunas normas referidas al monitoreo de material particulado, es recomendable que el muestreador esté a una altura de 1.5 metros sobre el nivel del suelo, pero en éste estudio lo que se quiere determinar es la cantidad de material particulado fino al que están expuestos los niños en las escuelas, entonces se resolvió que la altura a la cual sería medida esta concentración debía ser la misma altura de la zona de respiración de los niños y niñas. (DIGESA, 2005)



### 2.4.2.3. Aseguramiento de Calidad

Para medir correctamente, el equipo debe encontrarse en las mejores condiciones de operación. Para esto suelen haber rutinas de mantenimiento preventivo. Es por ello que una calibración del equipo es imprescindible antes de comenzar el monitoreo. La calibración del MICRODUST PRO se la realizó de la siguiente manera;

- En el menú principal del software del equipo se debe ingresar a la opción de Calibración y Set Zero.
- Poner entreabierto la entrada de aire de la sonda infrarroja e ingresar a ella aire limpio.
- Bombear aire hasta que se estabilice es decir que llegue a 0 y dar Enter. Esto sirve para encerar el equipo.
- Sacar el bombeador de la sonda y volver a taparla inmediatamente.
- También se calibró el Set Optical, ya que algunas veces el infrarrojo puede tener alguna falla y no permitir una buena medición. Para esto se abrió la tapa de la óptica y se introdujo en la sonda el calibrador o filtro óptico con numeración 164 y se comprobó que en la pantalla del equipo estuviese el mismo número. Luego se da Enter, se saca el calibrador y se cierra la sonda.

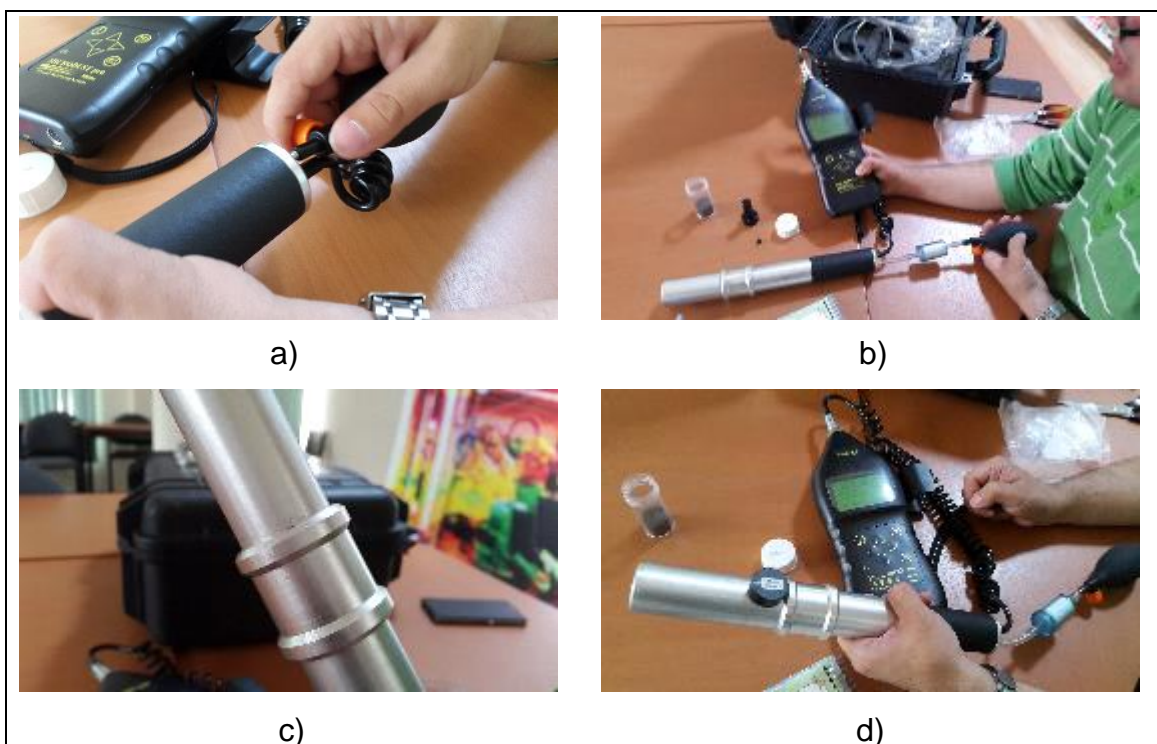


Figura 34. Calibración del MICRODUST PRO.

- a) Conexión de la bomba manual a la sonda. b) Bombeo de aire limpio. c) Apertura de entrada de aire a la sonda. d) Calibración del set optical 164.



La calibración del equipo se hizo rutinariamente cada día antes de comenzar el monitoreo.

La bomba de paso de flujo de aire también fue calibrada, siguiendo el dictamen del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España (2014, pp.16). Consistió en comprobar que la batería de la bomba estuviera en buen estado, después ajustar la bomba al caudal deseado, esperar a que se estabilice y comenzar la medición.

#### **2.4.3. Creación de Base de Datos**

Toda la información recolectada de los monitoreos atmosféricos de este trabajo de investigación, tanto los de material particulado como los de las variaciones climáticas, fueron acentuadas de forma manual durante el desarrollo de ejecución en campo.

Para efecto de su análisis, esta información fue compilada en archivos EXCEL.

#### **2.4.4. Ensayos de laboratorio**

En la determinación de la concentración de material particulado fino en el laboratorio se utilizaron técnicas recomendadas por el Ministerio del Ambiente del Ecuador, mediante su acuerdo No. 050 (2012), que son las mismas que la EPA aconseja.

Cuando el cassette con los filtros en donde albergaba la muestra llegaba al laboratorio, se procedía a la eliminación de humedad en caso de que existiese, con la ayuda del DESECADOR, abriendo el cassette y extrayendo los filtros con mucho cuidado, usando guantes de látex y pinzas, para trasladarlos y colocarlos en una caja Petri. Se retiraban los filtros al cabo de una hora y se procedía al siguiente paso de pesaje gravimétrico.

El análisis gravimétrico involucró la utilización de una balanza digital analítica. Luego del desecado, se trasladaban las muestras aún en la caja petri hacia el laboratorio químico en donde se separaban los filtros y la almohadilla de soporte, es decir que quedaban 3 piezas sueltas. Seguidamente, se procedía al

pesaje gravimétrico de los dos filtros. Cabe recordar lo antes expuesto, que los “Gravimetric Match Weighed Cassettes”, eliminan el inconveniente de pre-pesar los filtros antes del monitoreo. También se pesó la almohadilla de soporte, aunque no sea objeto de este estudio, pero puede ser información factible de entrada a otras investigaciones. Estos datos eran anotados manualmente en una ficha técnica de trabajo, para después ser pasados a una hoja EXCEL.

Una vez finalizados los 40 días de monitoreo, se realizó un desecado de todos los filtros en el horno de convección forzada de la marca “Wise Ven”. Este procedimiento se llevó a cabo, para reevaluar los pesajes de todas las muestras tomadas y así determinar si es que existió alguna modificación en el peso de los filtros ó algún tipo de evaluación errónea anterior.

En primera instancia, se colocó cada filtro en una caja Petri, que fue el medio de alojamiento de la muestra en el horno. Cada caja petri con filtro fue medida en la balanza, etiquetada e introducida al horno de convección forzada. Adicionalmente se aumentó un filtro nuevo, como blanco para la determinación de aumento o no de humedad con respecto a las muestras. Se ubicó al horno a una temperatura de 105 °C, como ya se ha hecho en estudios anteriores (Sigcha, 2014) y se dejó allí por un período de 4 horas. Una vez concluido ese tiempo se sacaron las muestras y se las dejó enfriar durante 5 minutos y se las llevó al desecador por otros 5 minutos. Después se movieron las muestras al laboratorio en donde se encuentra la balanza y estas fueron pesadas una por una.

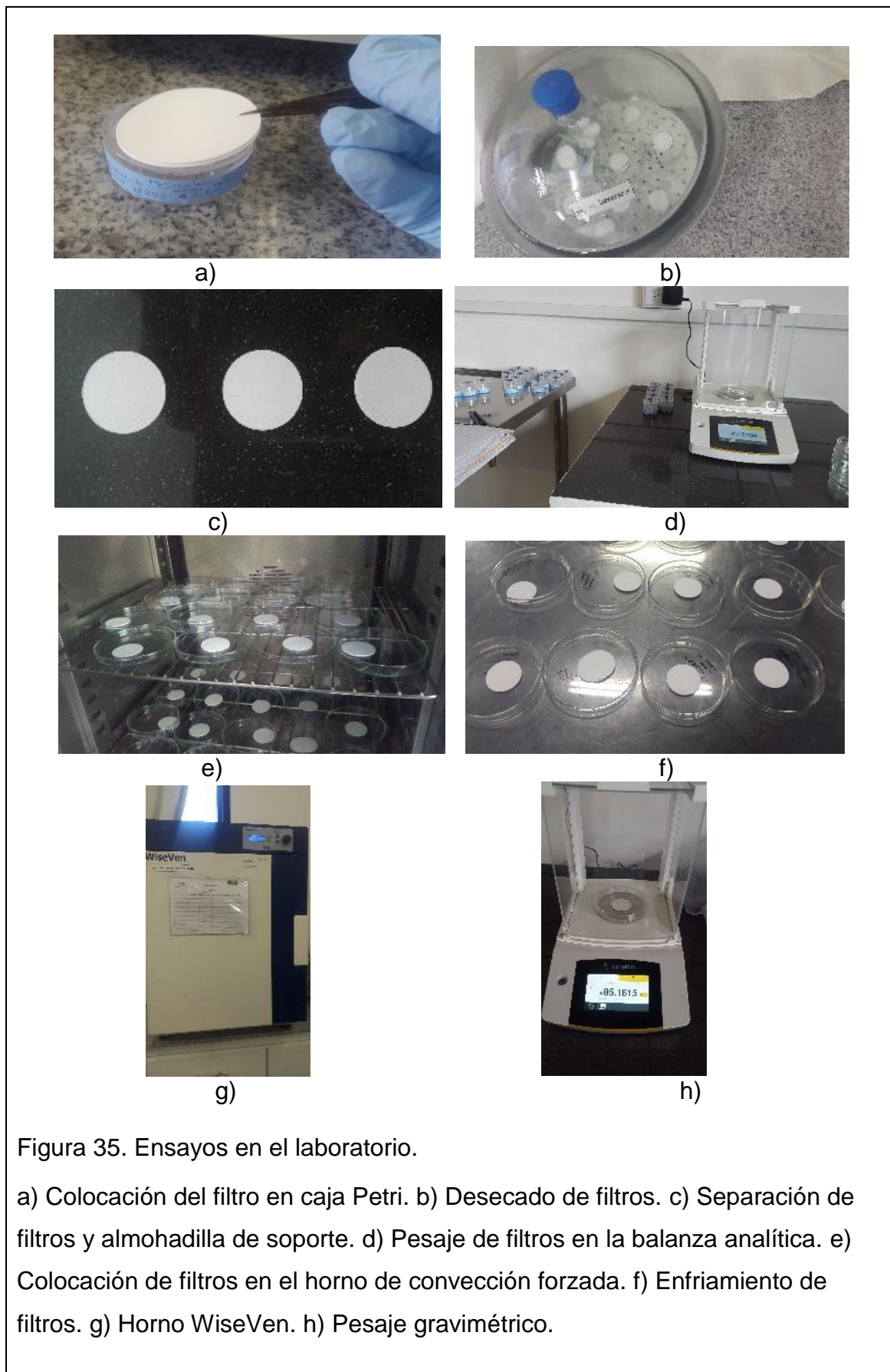


Figura 35. Ensayos en el laboratorio.

a) Colocación del filtro en caja Petri. b) Desechado de filtros. c) Separación de filtros y almohadilla de soporte. d) Pesaje de filtros en la balanza analítica. e) Colocación de filtros en el horno de convección forzada. f) Enfriamiento de filtros. g) Horno WiseVen. h) Pesaje gravimétrico.

### 2.4.5. Cálculos de determinación de concentración del contaminante

Se entiende como concentración de un contaminante a la totalidad en peso de éste por un volumen de aire. (EPA, 2008) Para poder calcularlo se determinó el valor de las diferencias de peso entre el filtro de control y el filtro con la muestra, como antes se ha especificado.

El caso de esta investigación experimental es el siguiente; se hizo pasar un volumen de  $3.5 \frac{l}{min} \times 480 min$  de aire a través de un filtro de 3.7 cm de diámetro. El valor correspondiente de concentración índice del contaminante es el que se obtuvo por diferencia de pesos de los filtros. Existe un total de 40 muestras de concentración, 20 de determinación de material particulado fino de  $2.5 \mu m$  para interiores y 20 para exteriores.

Las ecuaciones para el análisis del caso según Catalá y Aragón (2008, pp. 85) son;

- Para determinar el volumen de entrada de aire;

$$Volumen = Caudal \times Tiempo \quad (\text{Ecuación 4})$$

- Para determinar el área del filtro;

$$\text{Área del filtro} = \pi \times r^2 \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

r: radio del filtro

- Para calcular la masa de partículas recogidas sobre el filtro:

$$m = (\text{diferencia de pesos de los filtros}) \times (\text{Área del filtro}) \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

m: masa de partículas recogidas sobre el filtro.

- Para calcular la concentración del contaminante;

$$\text{Concentración} = \frac{m}{v} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde:

m: masa de partículas recogidas sobre el filtro.

v: volumen de entrada de aire.

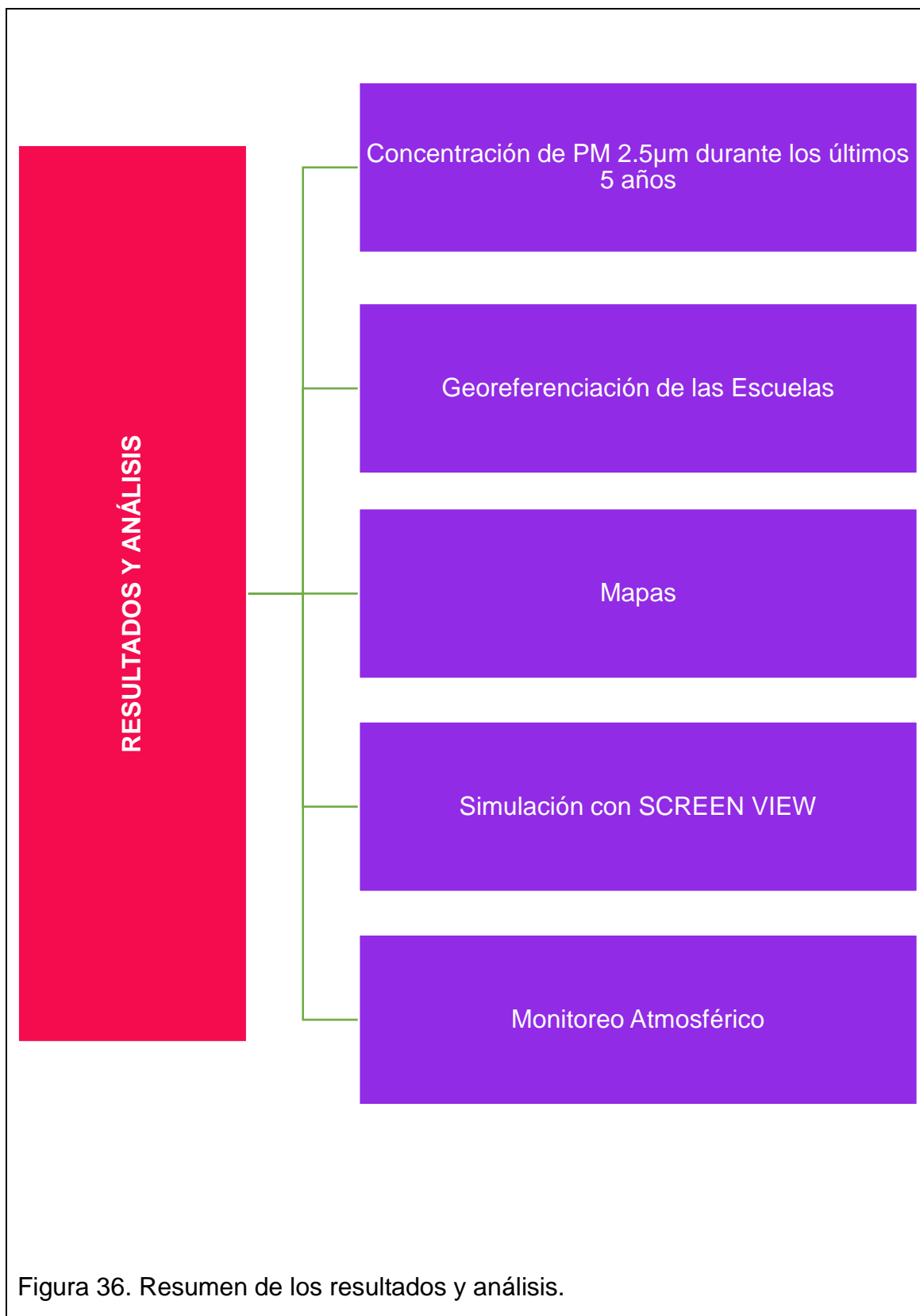
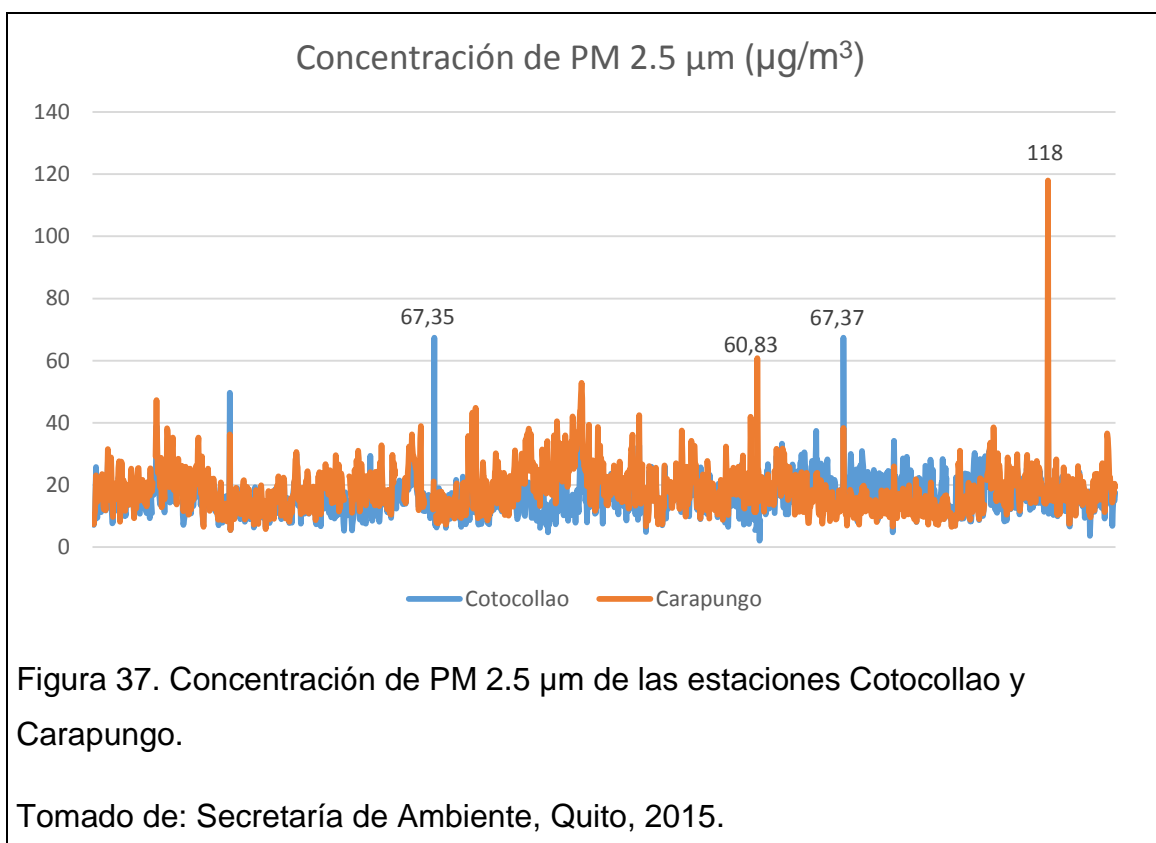
**CAPÍTULO III: RESULTADOS Y ANÁLISIS**

Figura 36. Resumen de los resultados y análisis.

### 3.1. Concentración de PM 2.5 $\mu\text{m}$ durante los últimos 5 años en las estaciones cercanas a las concesiones mineras

En este apartado se muestra los datos obtenidos de la Secretaría de Ambiente del DMQ de las concentraciones de material particulado fino de 2.5 micras de las dos estaciones (Carapungo y Cotocollao) de la REMMAQ que se encuentran más cercanas a las concesiones mineras del área de estudio.



Haciendo la comparación entre las dos estaciones; la estación de Carapungo es la que ha presentado picos más altos de concentración alrededor de los últimos 5 años, llegando así en julio de 2013 a  $60.83\mu\text{g}/\text{m}^3$  de PM 2.5  $\mu\text{m}$  y en enero de 2015 hasta  $118\mu\text{g}/\text{m}^3$  de PM 2.5  $\mu\text{m}$ . Por otro lado la estación de Cotocollao presenta sus puntos más altos en enero de 2012 con  $67.35\mu\text{g}/\text{m}^3$  de PM 2.5  $\mu\text{m}$  y en enero de 2014 con  $67.37\mu\text{g}/\text{m}^3$  de PM 2.5  $\mu\text{m}$ , superando en gran proporción los límites permisibles expuestos por la EPA (2015) en las

“Normas de aire ambiental basadas en la salud” de  $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en promedio de 24 horas.

En otros estudios (Angulo, Huertas y Restrepo, 2011) se ha determinado que las partículas finas son de importancia medirlas, ya que además de tener repercusiones en la salud, tienen una gran capacidad de adsorción a químicos y se transportan desde donde son emitidos a lugares más bajos y lejanos, a causa del viento.

Otro aspecto importante a considerar, son los climas secos, éstos favorecen a que las partículas sean resuspendidas, lo que aumenta la característica propia de este tipo de PM, el cual es permanecer mayor tiempo en el aire en comparación a dimensiones más grandes de partículas. (Sukla et al. 2011)

Este tipo de climatología es muy marcada en la parroquia de San Antonio de Pichincha, así que es fiable pensar que gran porcentaje de las concentraciones medidas por estas dos estaciones provienen de la parroquia mencionada. Además, la mayor cantidad de material particulado fino proviene de industrias que explotan material mineral según González, (2011). Producto de ésta información se determinó que San Antonio de Pichincha, por destinar un alto porcentaje de su terreno a las canteras, fue el lugar idóneo para realizar la presente investigación.

En la figura 38 se muestra las 3 estaciones más cercanas a San Antonio de Pichincha con un indicador azul. También se visualiza a la estación de Carapungo con un radio de influencia de 5km, que determina a su vez la cercanía de esta a las canteras de la parroquia que han sido marcadas con un puntero rojo y la letra “C”



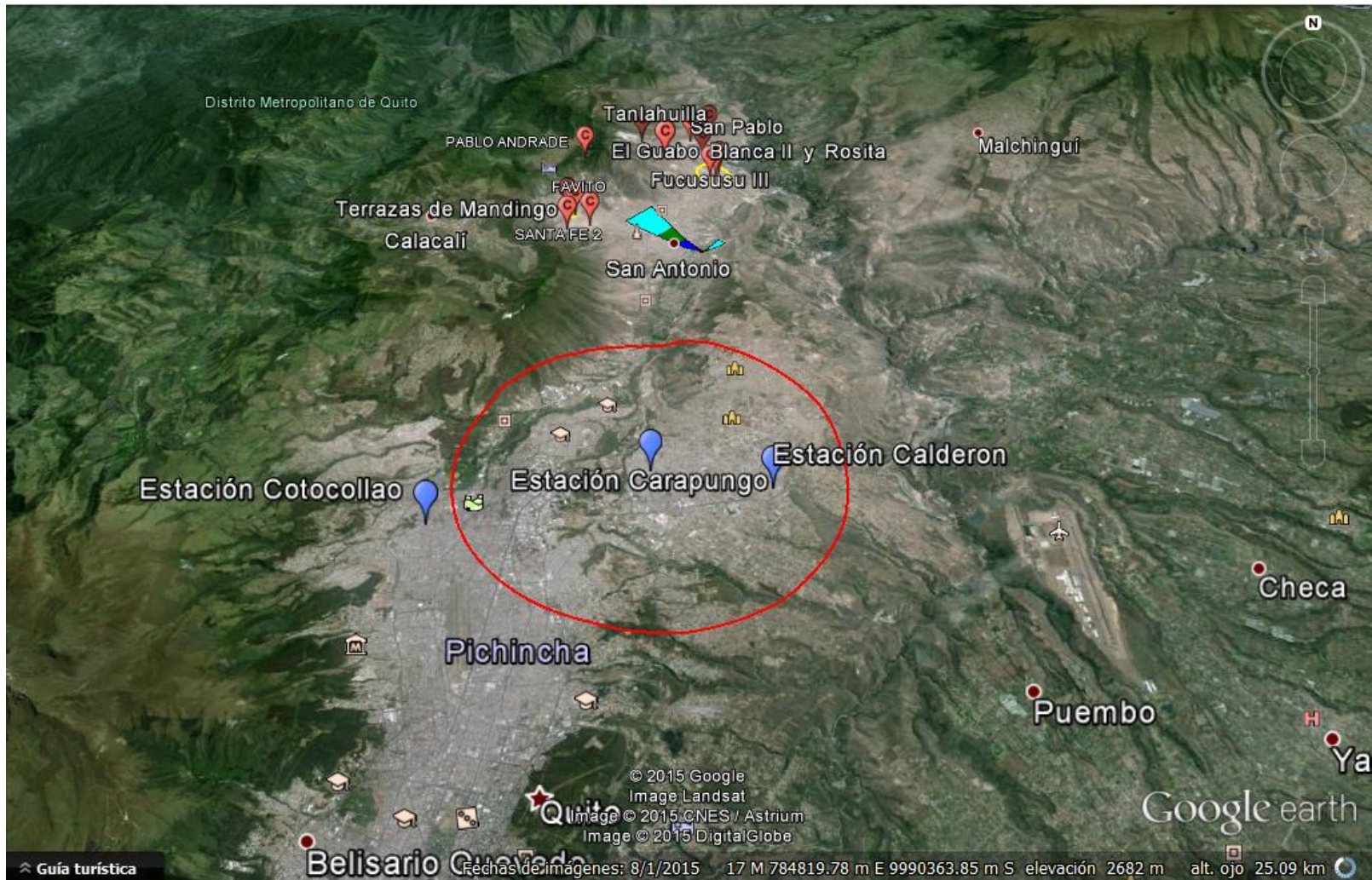


Figura 38. Radio de 5km de influencia de la estación Carapungo.

### 3.2. Georeferenciación de las escuelas

En el proceso de selección de las escuelas en donde se llevó a cabo la investigación, fue necesario realizar una compilación geográfica de las mismas alrededor de toda la parroquia. En éste capítulo se presentan las coordenadas, la altura sobre el nivel de mar y el sistema de coordenadas universal transversal de Mercator (UTM) obtenidas a través de equipo de medición OREGON 550t;

Tabla 6. Datos obtenidos de la georeferenciación de las escuelas en San Antonio de Pichincha.

	<b>Escuelas</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>UTM UPS</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
1	Escuela Fiscal Mixta "Simón Rodríguez"	2595	17 M	781211	9992524
2	Unidad Educativa Experimental "Eugenio Espejo"	2572	17 M	781932	9992553
3	IESVAL	2582	17M	781998	9992677
4	Colegio Francés	2510	17 M	783052	9992788
5	Colegio "San Antonio de Padua"	2480	17 M	783323	9993869
6	Colegio Pomasqui	2472	17 M	783177	9994129
7	Escuela Fiscal "Quiteño Libre"	2476	17 M	783891	9994188
8	Casa de Formación	2453	17 M	784012	9994466
9	Joanes Paulus II	2485	17 M	783144	9994822
10	Werner Heisenberg	2435	17 M	783501	9998270
11	Alexander Von Humboldt	2353	17 M	784215	9998589
12	Misión Geodésica	2436	17 M	783995	9999075
13	Unidad Educativa Mitad del Mundo	2454	17 M	783580	9999134
14	Clemente Vallejo Larrea	2413	17 M	784786	9999311
15	Scotland School	2430	17 M	784356	9999553

16	Dos Hemisferios	2424	17 M	784606	9999637
17	Centro Educativo Mitad del Mundo	2424	17M	784654	0,0000011
18	29 de Junio	2413	17 N	785677	0,0001340
19	La Libertad	2573	17 N	783905	0,0004738

Debido a que San Antonio de Pichincha atraviesa el eje ecuatorial, las zonas UTM cambian en las escuelas situadas más al norte, modificando el eje “x” de (M) a (N). Estas mismas escuelas son a su vez las más cercanas a las canteras.

Es congruente mencionar que los centros educativos georeferenciados no son los mismos que en PDOT de la parroquia se describen, puesto que no abarca los centros infantiles o los centros que funcionan solo como colegio y esto es porque el estudio se centra en niños de edad escolar. Además de que se encontraron más escuelas que no son mencionadas en el PDOT.

### 3.3. Mapas

En ésta sección se expone los mapas realizados con GOOGLE EARTH PRO de las escuelas y las canteras de San Antonio de Pichincha;

La figura 39 muestra los puntos de las escuelas georeferenciadas, las canteras y las estaciones de la REMMAQ. Es fácil notar la cercanía que tienen las escuelas a las áreas mineras, especialmente la número 19 que corresponde a la Escuela Libertad, la cual está rodeada por prácticamente todas canteras.

La figura 40 expone la influencia que tienen las canteras alrededor de un radio de 5km de ellas. En ésta figura es fácil notar que en todo el poblado de San Antonio de Pichincha existe riesgo de contaminación atmosférica producida por la actividad extractiva minera.

También se han dibujado radios de 5km desde las estaciones de la REMMAQ. Con esto se quiere demostrar que los datos medidos por estas estaciones si corresponden a las situaciones ambientales que se presentan en San Antonio de Pichincha.



Figura 39. Mapa de escuelas georeferenciadas.

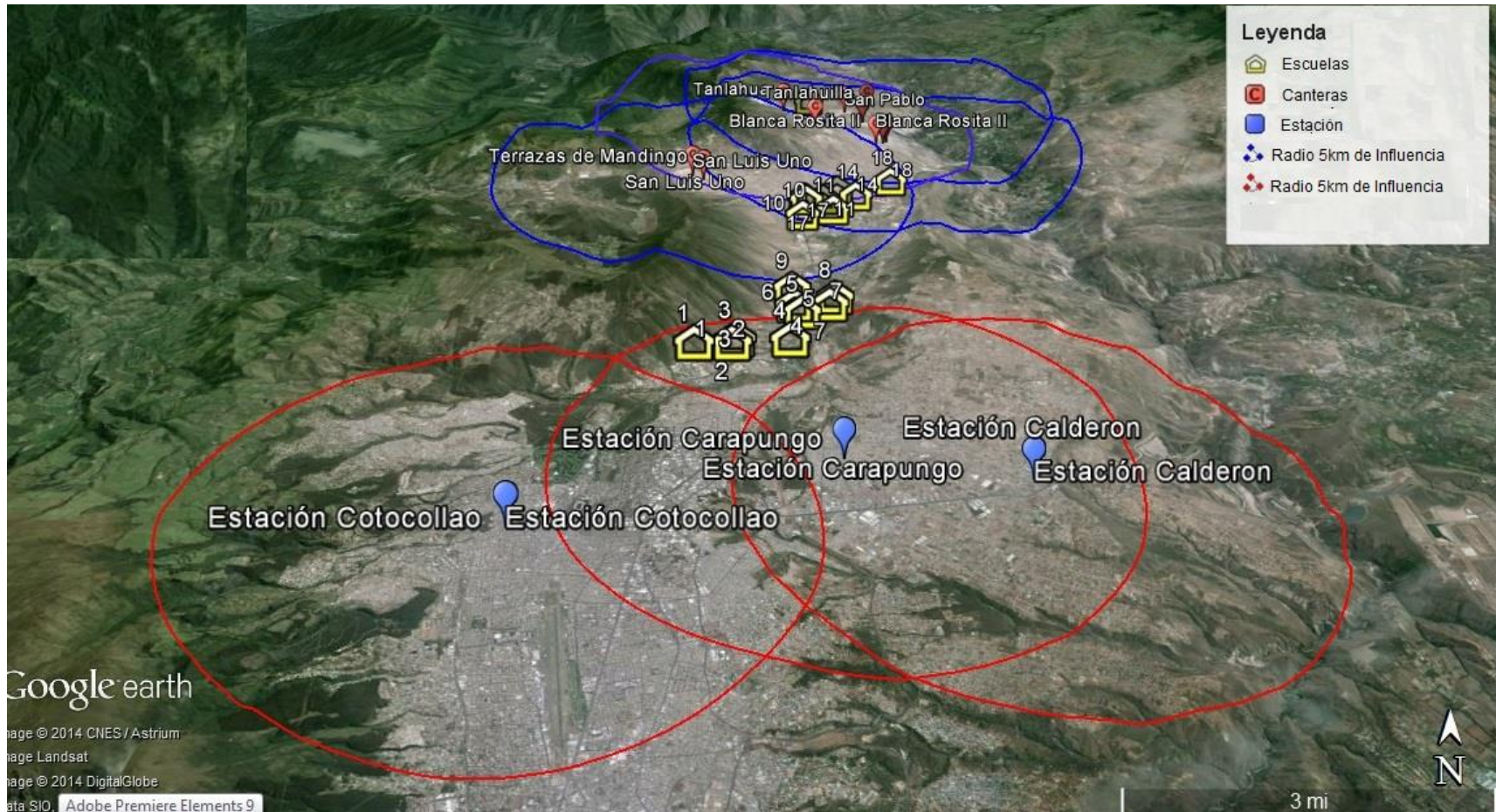


Figura 40. Mapa de radio de influencia de las estaciones y canteras con respecto a las escuelas.

### 3.4. Simulación de material particulado 2.5 $\mu\text{m}$

#### 3.4.1. Distancias

En las siguientes tablas se encuentran las distancias medidas desde las canteras hasta cada una de las 19 escuelas en estudio:

Tabla 7. Distancias desde la cantera Tanlahua hacia las escuelas.

	<b>Tanlahua</b>	<b>Metros (m)</b>
<b>1</b>	Escuela Fiscal Mixta "Simón Rodríguez"	12544
<b>2</b>	Unidad Educativa Experimental "Eugenio Espejo"	12491
<b>3</b>	IESVAL	12244
<b>4</b>	Colegio Francés	12135
<b>5</b>	Colegio "San Antonio de Padua"	11065
<b>6</b>	Colegio Pomasqui	10683
<b>7</b>	Escuela Fiscal "Quiteño Libre"	10814
<b>8</b>	Casa de Formación	10392
<b>9</b>	Joanes Paulus II	9866
<b>10</b>	Werner Heisenberg	6595
<b>11</b>	Alexander Von Humboldt	6416
<b>12</b>	Misión Geodésica	5912
<b>13</b>	Unidad Educativa Mitad del Mundo	5755
<b>14</b>	Clemente Vallejo Larrea	5565
<b>15</b>	Scotland School	5131
<b>16</b>	Dos Hemisferios	5478
<b>17</b>	Centro Educativo Mitad del Mundo	5897
<b>18</b>	29 de Junio	5176
<b>19</b>	La Libertad	678

Se han medido las distancias desde las canteras San Pablo y Guanin hacia las escuelas, aunque esta información no sea de utilidad para las simulaciones de

las 6 áreas en esta investigación. Pero fue necesaria ya que nos da una pauta para poder excluirlas de dicho proceso, puesto que se encuentran más lejanas de la población de la parroquia.

Tabla 8. Distancias desde la cantera San Pablo hacia las escuelas.

	<b>San Pablo</b>	<b>Metros (m)</b>
<b>1</b>	Escuela Fiscal Mixta "Simón Rodríguez"	13415
<b>2</b>	Unidad Educativa Experimental "Eugenio Espejo"	13134
<b>3</b>	IESVAL	13086
<b>4</b>	Colegio Francés	12768
<b>5</b>	Colegio "San Antonio de Padua"	11653
<b>6</b>	Colegio Pomasqui	11429
<b>7</b>	Escuela Fiscal "Quiteño Libre"	11276
<b>8</b>	Casa de Formación	11008
<b>9</b>	Joanes Paulus II	10749
<b>10</b>	Werner Heisenberg	7299
<b>11</b>	Alexander Von Humboldt	6810
<b>12</b>	Misión Geodésica	6413
<b>13</b>	Unidad Educativa Mitad del Mundo	6431
<b>14</b>	Clemente Vallejo Larrea	6123
<b>15</b>	Scotland School	5900
<b>16</b>	Dos Hemisferios	5793
<b>17</b>	Centro Educativo Mitad del Mundo	6520
<b>18</b>	29 de Junio	5320
<b>19</b>	La Libertad	1157



Tabla 9. Distancias desde la cantera Guanin hacia las escuelas.

	<b>Guanin</b>	<b>Metros (m)</b>
<b>1</b>	Escuela Fiscal Mixta "Simón Rodríguez"	14078
<b>2</b>	Unidad Educativa Experimental "Eugenio Espejo"	13852
<b>3</b>	IESVAL	13641
<b>4</b>	Colegio Francés	13452
<b>5</b>	Colegio "San Antonio de Padua"	12512
<b>6</b>	Colegio Pomasqui	12365
<b>7</b>	Escuela Fiscal "Quiteño Libre"	12172
<b>8</b>	Casa de Formación	11869
<b>9</b>	Joanes Paulus II	11576
<b>10</b>	Werner Heisenberg	7945
<b>11</b>	Alexander Von Humboldt	7664
<b>12</b>	Misión Geodésica	7176
<b>13</b>	Unidad Educativa Mitad del Mundo	7205
<b>14</b>	Clemente Vallejo Larrea	6939
<b>15</b>	Scotland School	6711
<b>16</b>	Dos Hemisferios	6521
<b>17</b>	Centro Educativo Mitad del Mundo	7315
<b>18</b>	29 de Junio	6017
<b>19</b>	La Libertad	2149

Tabla 10. Distancias desde la cantera Fucusucu V hacia las escuelas.

	<b>Fucusucu V</b>	<b>Metros (m)</b>
<b>1</b>	Escuela Fiscal Mixta "Simón Rodríguez"	13012
<b>2</b>	Unidad Educativa Experimental "Eugenio Espejo"	12232
<b>3</b>	IESVAL	12159
<b>4</b>	Colegio Francés	11919
<b>5</b>	Colegio "San Antonio de Padua"	10749
<b>6</b>	Colegio Pomasqui	10633
<b>7</b>	Escuela Fiscal "Quiteño Libre"	10407
<b>8</b>	Casa de Formación	9879
<b>9</b>	Joanes Paulus II	10188
<b>10</b>	Werner Heisenberg	6252
<b>11</b>	Alexander Von Humboldt	5917
<b>12</b>	Misión Geodésica	5620
<b>13</b>	Unidad Educativa Mitad del Mundo	5699
<b>14</b>	Clemente Vallejo Larrea	5310
<b>15</b>	Scotland School	4950
<b>16</b>	Dos Hemisferios	4785
<b>17</b>	Centro Educativo Mitad del Mundo	5794
<b>18</b>	29 de Junio	4247
<b>19</b>	La Libertad	1435

Tabla 11. Distancias desde la unión en un radio de las canteras Fucusucu III / Blanca II / Rosita / El Guabo hacia las escuelas.

	<b>Fucusucu III / Blanca II / Rosita / El Guabo</b>	<b>Metros (m)</b>
<b>1</b>	Escuela Fiscal Mixta "Simón Rodríguez"	11788
<b>2</b>	Unidad Educativa Experimental "Eugenio Espejo"	11511
<b>3</b>	IESVAL	11153
<b>4</b>	Colegio Francés	10599
<b>5</b>	Colegio "San Antonio de Padua"	9445
<b>6</b>	Colegio Pomasqui	9308
<b>7</b>	Escuela Fiscal "Quiteño Libre"	8945
<b>8</b>	Casa de Formación	8513
<b>9</b>	Joanes Paulus II	8749
<b>10</b>	Werner Heisenberg	5165
<b>11</b>	Alexander Von Humboldt	4461
<b>12</b>	Misión Geodésica	4076
<b>13</b>	Unidad Educativa Mitad del Mundo	4649
<b>14</b>	Clemente Vallejo Larrea	4129
<b>15</b>	Scotland School	4002
<b>16</b>	Dos Hemisferios	3833
<b>17</b>	Centro Educativo Mitad del Mundo	4234
<b>18</b>	29 de Junio	2727
<b>19</b>	La Libertad	1726

Tabla 12. Distancias desde las canteras Terrazas de Mandingo y San Luis I hacia las escuelas.

	<b>Terrazas de Mandingo / San Luis I</b>	<b>Metros (m)</b>
<b>1</b>	Escuela Fiscal Mixta "Simón Rodríguez"	8114
<b>2</b>	Unidad Educativa Experimental "Eugenio Espejo"	8125
<b>3</b>	IESVAL	7958
<b>4</b>	Colegio Francés	8079
<b>5</b>	Colegio "San Antonio de Padua"	7072
<b>6</b>	Colegio Pomasqui	6778
<b>7</b>	Escuela Fiscal "Quiteño Libre"	7003
<b>8</b>	Casa de Formación	6815
<b>9</b>	Joanes Paulus II	6131
<b>10</b>	Werner Heisenberg	3406
<b>11</b>	Alexander Von Humboldt	3774
<b>12</b>	Misión Geodésica	3356
<b>13</b>	Unidad Educativa Mitad del Mundo	2994
<b>14</b>	Clemente Vallejo Larrea	3975
<b>15</b>	Scotland School	3483
<b>16</b>	Dos Hemisferios	3702
<b>17</b>	Centro Educativo Mitad del Mundo	3007
<b>18</b>	29 de Junio	4650
<b>19</b>	La Libertad	5023

Tabla 13. Distancias desde la cantera Santa Fe II hacia las escuelas.

	<b>Santa Fe II</b>	<b>Metros (m)</b>
<b>1</b>	Escuela Fiscal Mixta "Simón Rodríguez"	7135
<b>2</b>	Unidad Educativa Experimental "Eugenio Espejo"	7198
<b>3</b>	IESVAL	7026
<b>4</b>	Colegio Francés	7243
<b>5</b>	Colegio "San Antonio de Padua"	6321
<b>6</b>	Colegio Pomasqui	5931
<b>7</b>	Escuela Fiscal "Quiteño Libre"	6172
<b>8</b>	Casa de Formación	5977
<b>9</b>	Joanes Paulus II	5279
<b>10</b>	Werner Heisenberg	2871
<b>11</b>	Alexander Von Humboldt	3407
<b>12</b>	Misión Geodésica	3074
<b>13</b>	Unidad Educativa Mitad del Mundo	2638
<b>14</b>	Clemente Vallejo Larrea	3832
<b>15</b>	Scotland School	3376
<b>16</b>	Dos Hemisferios	3615
<b>17</b>	Centro Educativo Mitad del Mundo	2676
<b>18</b>	29 de Junio	4770
<b>19</b>	La Libertad	5870

Tabla 14. Distancias desde la cantera Favito hacia las escuelas.

	<b>Favito</b>	<b>Metros (m)</b>
<b>1</b>	Escuela Fiscal Mixta "Simón Rodríguez"	7553
<b>2</b>	Unidad Educativa Experimental "Eugenio Espejo"	7546
<b>3</b>	IESVAL	7323
<b>4</b>	Colegio Francés	7416
<b>5</b>	Colegio "San Antonio de Padua"	6345
<b>6</b>	Colegio Pomasqui	6109
<b>7</b>	Escuela Fiscal "Quiteño Libre"	6247
<b>8</b>	Casa de Formación	6074
<b>9</b>	Joanes Paulus II	5401
<b>10</b>	Werner Heisenberg	2498
<b>11</b>	Alexander Von Humboldt	2943
<b>12</b>	Misión Geodésica	2471
<b>13</b>	Unidad Educativa Mitad del Mundo	2077
<b>14</b>	Clemente Vallejo Larrea	3186
<b>15</b>	Scotland School	2724
<b>16</b>	Dos Hemisferios	2951
<b>17</b>	Centro Educativo Mitad del Mundo	2187
<b>18</b>	29 de Junio	3996
<b>19</b>	La Libertad	5101

Las tablas previamente presentadas contienen las distancias que se introdujeron al software de simulación. Esto con el fin de saber con precisión cuanta concentración del particulado existe en cada una de las escuelas.

### 3.4.2. Longitudes de las canteras

Seguidamente se presenta una tabla con las longitudes más cortas y más largas de las áreas de las canteras con las que se simulará posteriormente la concentración de material particulado.

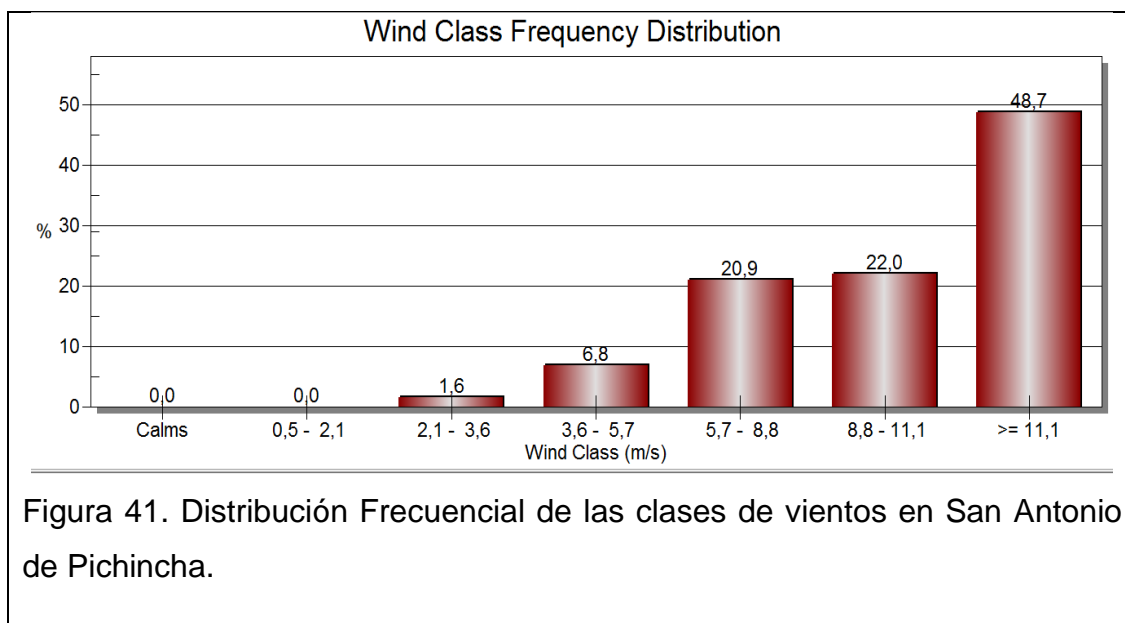
Se observa que aunque las 4 canteras (Fucusucu III, El Guabo, Blanca II y Rosita) han sido unidas para poder promediar las longitudes, el área de éstas, sigue siendo menor al área de una sola cantera (Tanlahua) que según este estudio es la más grande de todo el sector.

Tabla 15. Longitudes de las canteras.

	<b>CANTERA</b>	<b>Longitud más corta (m)</b>	<b>Longitud más larga (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>
<b>1</b>	Tanlahua	180	1250	488.495,00
<b>2</b>	Fucusuco V	230	1040	319.996,64
<b>3</b>	Fucusuco III, El Guabo, Blanca II, Rosita	300	1110	459.995,32
<b>4</b>	Terrazas de Mandingo, San Luis I	510	210	95.953,86
<b>5</b>	Santa Fe II	190	190	39.999,56
<b>6</b>	Favito	290	90	43.441,53

### 3.4.3. Recurso Viento

En esta sección se describe los resultados generados a través del software WRPLOT VIEW;



La distribución de frecuencia de clases de vientos indica que en la parroquia de San Antonio de Pichincha existen vientos mayoritariamente fuertes. Teniendo valores mayores a los 11 m/s de velocidad, específicamente un 48% en comparación a los vientos suaves o calmados.

Los vientos entre 7.3 m/s y 11.9 m/s según la escala de Beaufort, que es una escala numérica adoptada internacionalmente para medir la fuerza de los vientos, es de grado 6, llamada “Fresco”, es decir una brisa fuerte. (MET OFFICE, 2014) En teoría sería un grado medio del total de 12 niveles que tiene la escala. Debido a estas fuertes brisas el material particulado viaja junto al viento varias distancias y es factible decir que por esta misma razón exista un alto número de erosión del suelo, así como también un alto desprendimiento de material suelto y muy fino proveniente de los lugares de explotación minera.

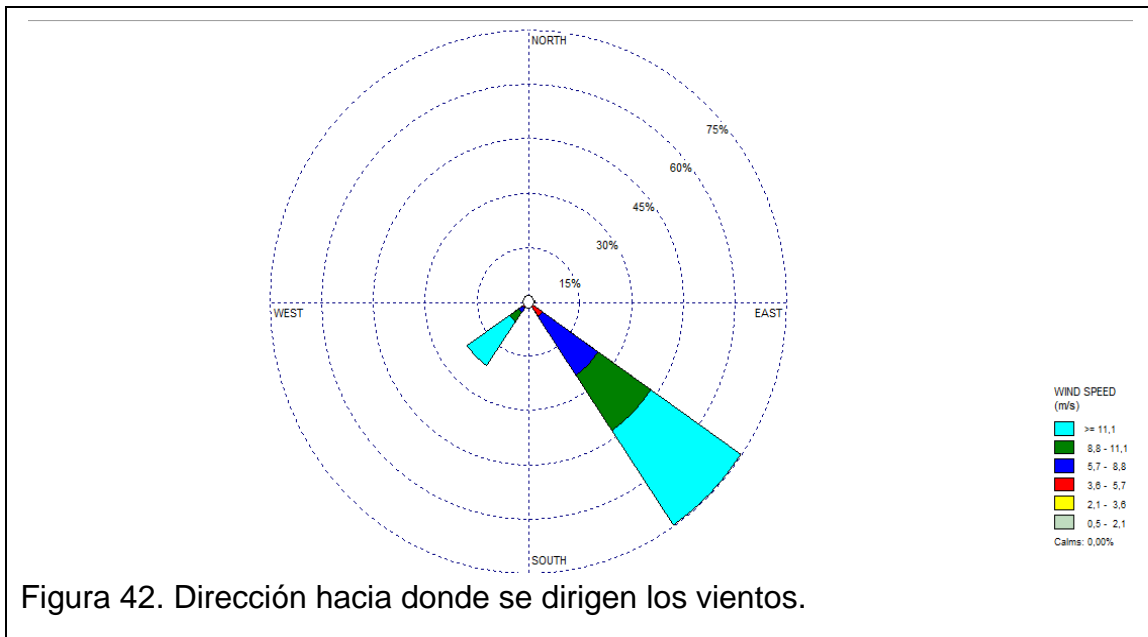


Existe un porcentaje entre 20.9% y 22.0% para vientos de 5.7m/s a 8.8m/s y 88.8m/s a 11.1m/s respectivamente, que de igual forma no se consideran ser vientos realmente fuertes. Los vientos comienzan a cesar a una velocidad de 3.6m/s a 5.7m/s con un porcentaje de 6.8% y los vientos más calmados que presenta la parroquia es de 2.1m/s a 3.6m/s con un bajo porcentaje de 1.6%.

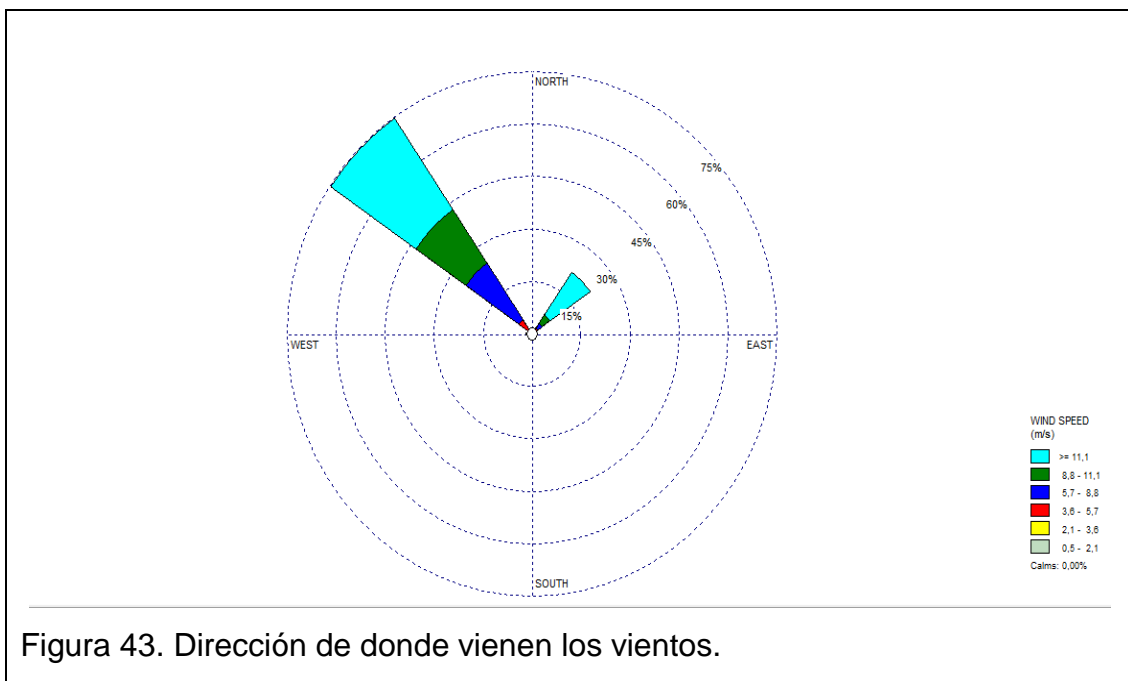
Se debe señalar que San Antonio de Pichincha está rodeado de elevaciones y los vientos de montañas circulan a través de los valles ya que el viento es descendente, pero este comportamiento se presenta mayoritariamente en las tardes y noches ya que los vientos se enfrían y mueven por debajo de las montañas. En las mañanas por lo general los vientos son ascendentes y fluyen hacia las montañas (Astudillo, Cochancela, 2012, p.20), esto puede significar que el viento hace que el material particulado se eleve nuevamente por la montaña en las mañanas y se reduzca su dispersión de alguna manera hacia los poblados.

En las figuras 42 y 43 se exhibe dos rosas de vientos realizadas con WRPLOT VIEW, en donde se aprecia las direcciones de los vientos y una escala a colores de las velocidades de estos.

El resultado de la primera rosa de los vientos muestra que prácticamente la totalidad de los vientos se dirigen hacia el sur este (SE) ó (135°);



En la segunda rosa de los vientos se observa que las corrientes de aire llegan de noroeste (NW) o en grado (315°);



La siguiente imagen satelital (figura 44) muestra el grado de importancia que se le da a esta información, ya que claramente se observa que todo el viento

proviene desde la parte de atrás de las concesiones mineras, es decir desde el noreste, y llevando gran proporción de material particulado hasta el poblado.

En la figura 45, en imagen satelital se puede apreciar que el viento que llega desde atrás de las canteras tiene influencia directa en las escuelas del poblado. Esto significa que todo el material particulado que recoge el viento de las áreas de explotación de material pétreo viaja a través de él e indudablemente puede llegar a depositarse en las escuelas del sector.

El punto de donde sale la rosa de los vientos en el mapa, es la coordenada geográfica de la estación M0115 del INAMHI:

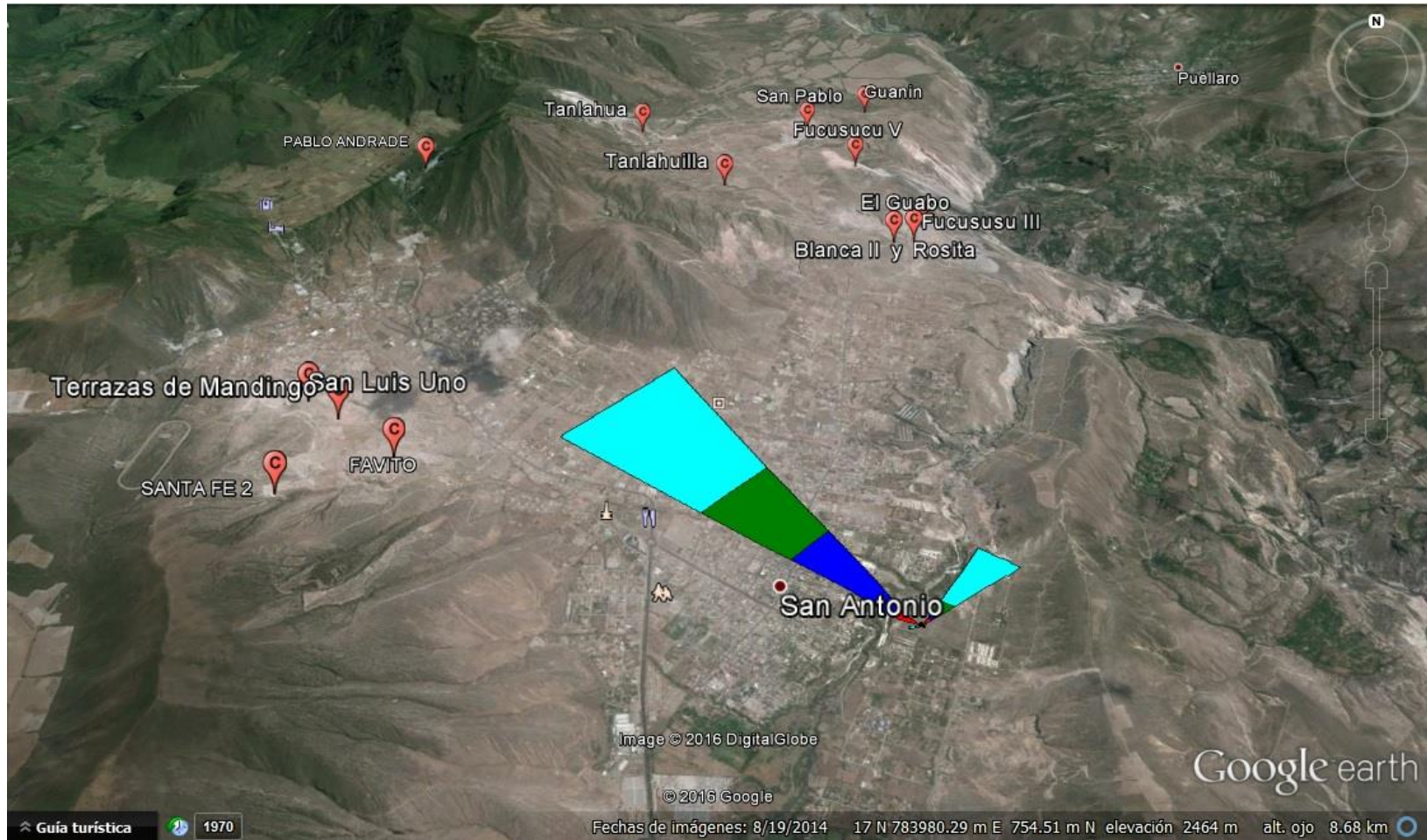


Figura 44. Dirección de entrada del viento a la parroquia de San Antonio de Pichincha.



Figura 45. Dirección de entrada del viento a la parroquia de San Antonio de Pichincha.

### 3.4.4. Tasa de emisión

En esta sección se presentan los cálculos realizados para poder determinar la tasa de emisión del material particulado de 2.5  $\mu\text{m}$  generados por las canteras de San Antonio de Pichincha.

#### 3.4.4.1. Tasa de actividad

Mediante la ecuación 2 ( $m = d \times v$ ) se llegó a determinar la cantidad de material pétreo que se extrae en promedio de las canteras en estudio.

En la tabla 17 es posible apreciar los valores promedio de volumen extraído anualmente de cada concesión y su equivalente en masa.

Tabla 16. Densidades promedio de material pétreo.

<b>Material Pétreo</b>	<b>(kg/m<sup>3</sup>)</b>
<b>Arena</b>	<b>1897,5</b>
<b>Grava</b>	1800
<b>Piedra Molida</b>	1350
<b>Promedio</b>	1682,5

Explicación: Este promedio se identificó con el fin de expresar en unidades de masa la cantidad de material pétreo extraído.

Tabla 17. Resumen de la tasa de actividad (masa en (kg)) en cada cantera.

<b>Cantera</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Masa (kg)</b>
Tanlahua (I/SEM)	61881.74	104116027.6
Fucusucu V (II/SEM)	128854.03	216796905.5
Fucusucu III / El Guabo / Blanca II/ Rosita	61746.40	103888318.0
Terrazas de Mandingo / San Luis I	81631.03	137344199.6
Santa fe II	83528.30	140536362.6
Favito	83528.30	140536362.6

La tabla 17 muestra que la mayor tasa de actividad reportada a la ARCOM se encuentra en la cantera Fucusucu V con 2167969905.5 kg de extracción de material pétreo en un año. En segundo puesto están las cantera Favito y Santa Fe II con 140536362.6 kg, analizando esta cantidad con el tamaño de sus áreas se puede decir que dichas canteras tienen una tasa de actividad exponencialmente alta en comparación a otras y que están en su nivel máximo de rendimiento. Después, en cuarto nivel están las canteras Terrazas de Mandingo y San Luis I, seguidas de la cantera Tanlahua, que acorde a su tamaño de área no ha reportado una tasa de actividad alta y por último están las canteras Fucusucu III, El Guabo, Blanca II y Rosita, que pese a estar unidas para los cálculos, generan un tasa de actividad baja.

#### 3.4.4.2. Factor de emisión

Tabla 18. Factor de emisión promedio.

<b>Proceso</b>	<b>Promedio del Factor de Emisión (kg/Mg) ó (lb/ton)</b>
Trituración terciaria	$5 \times 10^{-5}$
Cribado	$2.5 \times 10^{-5}$
Transferencia/Clasificado	$6.5 \times 10^{-6}$
Trituración fina	$3.5 \times 10^{-5}$
Promedio	$2.9125 \times 10^{-5}$

Explicación: Este dato se promedió con el fin de integrar cada uno de los procesos de extracción de material pétreo en la simulación del contaminante.

La eficacia de reducción de la emisión global (ER) debido a la suposición de que no existen medidas de abatimiento de emisión del contaminante a la atmósfera, se lo calcula con valor de cero.

El factor de emisión para los cálculos es transformado de unidades para que pueda ser factible la multiplicación dentro de la ecuación.

Debido a que el volumen de extracción de material pétreo está en unidades de  $m^3/año$ , la unidad de tiempo es transformada a segundos para poder ingresar de manera correcta los datos al software de simulación SCREEN VIEW. Así como también se divide el resultado de la ecuación de la tasa de emisión por el área de la cantera.

La tabla 19 muestra un resumen de los cálculos que se realizaron con la ecuación número 1 para poder determinar la tasa de emisión de  $PM\ 2.5\ \mu m$  en cada cantera en estudio.

En dicha tabla es posible ver que la tasa de emisión más alta es la de la cantera Santa Fe II con  $3.24 \times 10^{-11}$ , cuya área es menor a la cantera Tanlahua que es la más grande pero tiene la menor tasa de emisión de  $2 \times 10^{-12}$ . La segunda tasa de emisión más baja corresponde a la agrupación de canteras Fucusucu III, El Guabo, Blanca II y Rosita con  $2.1 \times 10^{-12}$ . A éstas le siguen las canteras Fucusucu V con  $6.3 \times 10^{-12}$ , la agrupación de canteras Terrazas de Mandingo y San Luis I con  $1.32 \times 10^{-11}$  y la cantera Favito con  $2.99 \times 10^{-11}$  que también posee una de las tasas de emisión más altas, pero su área es pequeña en comparación de las otras concesiones mineras.



Tabla 19. Resumen del cálculo de la ecuación de la tasa de emisión para cada cantera.

Cantera	Tasa de Actividad (kg)	E (kg/año)	Área (m <sup>2</sup> )	E (kg/(año.m <sup>2</sup> ))	E (kg/(s.m <sup>2</sup> ))	E (g/(s.m <sup>2</sup> ))
Tanlahua	104116027.6	30.3237 x10 <sup>-3</sup>	488495.00	6.2x10 <sup>-8</sup>	2x10 <sup>-15</sup>	2x10 <sup>-12</sup>
Fucusucu V	216796905.5	63.1421 x10 <sup>-3</sup>	319996.64	1.97x10 <sup>-7</sup>	6.3x10 <sup>-15</sup>	6.3x10 <sup>-12</sup>
Fucusucu III / El Guabo / Blanca II/ Rosita	103888318.0	30.2575 x10 <sup>-3</sup>	459995.32	6.6x10 <sup>-8</sup>	2.1x10 <sup>-15</sup>	2.1 x10 <sup>-12</sup>
Terrazas De Mandingo / San Luis I	137344199,6	40.0015 x10 <sup>-3</sup>	95953.86	4.17x10 <sup>-7</sup>	1.32x10 <sup>-14</sup>	1.32 x10 <sup>-11</sup>
Santa Fe II	140536362.6	40.9312 x10 <sup>-3</sup>	39999.56	1.023x10 <sup>-6</sup>	3.24x10 <sup>-14</sup>	3.24 x10 <sup>-11</sup>
Favito	140536362.6	40.9312 x10 <sup>-3</sup>	43441.53	9.42x10 <sup>-7</sup>	2.99x10 <sup>-14</sup>	2.99x10 <sup>-11</sup>

### 3.4.5. Corrida del software SCREEN VIEW

A continuación se presentan los informes obtenidos de la simulación del PM 2.5  $\mu\text{m}$  realizada con el software SCREEN VIEW para cada cantera considerada en el presente estudio. Cada dato evaluado por el programa ha sido determinado con respecto a la distancia entre cada cantera y las diferentes escuelas del sector.

#### a) Simulación de PM 2.5 $\mu\text{m}$ proveniente de la cantera Tanlahua

01/21/16

19:23:17

```
*** SCREEN3 MODEL RUN ***
*** VERSION DATED 96043 ***
```

C:\Lakes\Screen View\TANLAHUA.scr

SIMPLE TERRAIN INPUTS:

```
SOURCE TYPE = AREA
EMISSION RATE (G/(S-M**2)) = 0.200000E-10
SOURCE HEIGHT (M) = 200.0000
LENGTH OF LARGER SIDE (M) = 1250.0000
LENGTH OF SMALLER SIDE (M) = 180.0000
RECEPTOR HEIGHT (M) = 3.0000
URBAN/RURAL OPTION = RURAL
```

THE REGULATORY (DEFAULT) MIXING HEIGHT OPTION WAS SELECTED.

THE REGULATORY (DEFAULT) ANEMOMETER HEIGHT OF 10.0 METERS WAS ENTERED.

```
ANGLE RELATIVE TO LONG AXIS = 135.0000
```

```
BUOY. FLUX = 0.000 M**4/S**3; MOM. FLUX = 0.000
M**4/S**2.
```

```
*** FULL METEOROLOGY ***
```

```
*****
*** SCREEN DISCRETE DISTANCES ***
*****
```

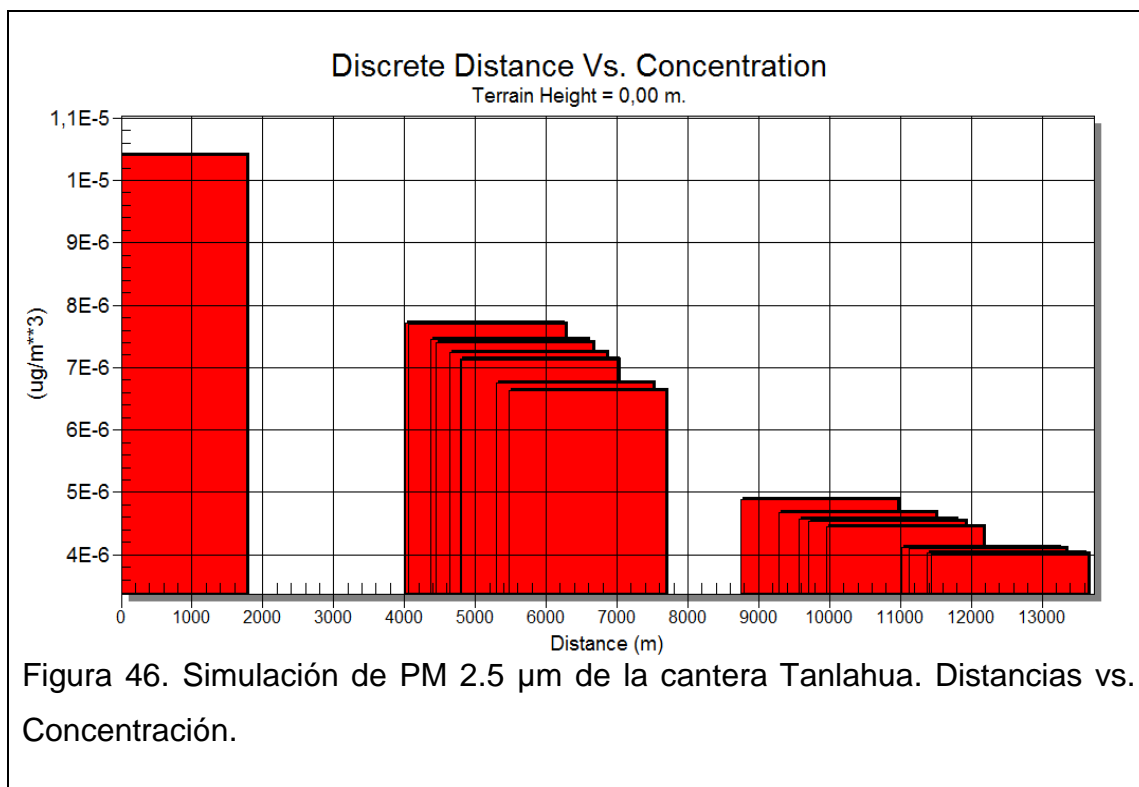
```
*** TERRAIN HEIGHT OF 0. M ABOVE STACK BASE USED FOR
FOLLOWING DISTANCES ***
```

DIST	CONC	U10M	USTK	MIX HT	PLUME	MAX
(M)	(UG/M**3)	STAB	(M/S)	(M/S)	(M)	DIR
(M) (DEG)					HT	
-----	-----	----	-----	-----	-----	-
678.	0.1040E-04	1	1.0	1.2	320.0	200.00
135.						
5131.	0.7722E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
5176.	0.7689E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
5478.	0.7458E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
5565.	0.7391E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
5755.	0.7244E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
5897.	0.7138E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
5912.	0.7127E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
6416.	0.6757E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
6595.	0.6630E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
9866.	0.4884E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
10392.	0.4682E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
10683.	0.4578E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
10814.	0.4533E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
11065.	0.4449E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
12135.	0.4126E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
12244.	0.4096E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
12491.	0.4029E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
12544.	0.4015E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						

\*\*\*\*\*  
 \*\*\* SUMMARY OF SCREEN MODEL RESULTS \*\*\*  
 \*\*\*\*\*

CALCULATION PROCEDURE	MAX CONC (UG/M**3)	DIST TO MAX (M)	TERRAIN HT (M)
SIMPLE TERRAIN	0.1040E-04	678.	0.

\*\*\*\*\*



En la figura 46 se puede observar que la concentración más alta simulada proveniente de la cantera Tanlahua es de  $1.04 \times 10^{-5} \mu\text{g}/\text{m}^3$  a una distancia de 678m, perteneciente a la “Escuela La Libertada”.

La segunda concentración más alta de  $7.722 \times 10^{-6} \mu\text{g}/\text{m}^3$  está situada a una distancia de 5131m perteneciente a la “Unidad Educativa Scotland School”, seguida de la “Escuela Fiscal 29 de Junio” a una distancia de 5176m y concentración de  $7.689 \times 10^{-5} \mu\text{g}/\text{m}^3$ . El cuarto punto más afectado es la Unidad Educativa Dos Hemisferios con  $7.458 \times 10^{-6} \mu\text{g}/\text{m}^3$  y 5478m.

La pluma de concentración va bajando conforme la distancia se aleja de la fuente de emisión. Es así como la “Escuela Fiscal Mixta Simón Rodríguez”

tiene la menor concentración de PM 2.5  $\mu\text{m}$  proveniente de la cantera en estudio con  $4.015 \times 10^{-5} \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

### b) Simulación de PM 2.5 $\mu\text{m}$ proveniente de la cantera Fucusucu V

01/21/16

21:21:26

\*\*\* SCREEN3 MODEL RUN \*\*\*  
 \*\*\* VERSION DATED 96043 \*\*\*

C:\Lakes\Screen View\Fucusucu V.scr

#### SIMPLE TERRAIN INPUTS:

SOURCE TYPE	=	AREA
EMISSION RATE (G/(S-M**2))	=	0.630000E-11
SOURCE HEIGHT (M)	=	200.0000
LENGTH OF LARGER SIDE (M)	=	1040.0000
LENGTH OF SMALLER SIDE (M)	=	230.0000
RECEPTOR HEIGHT (M)	=	1.0000
URBAN/RURAL OPTION	=	RURAL

THE REGULATORY (DEFAULT) MIXING HEIGHT OPTION WAS SELECTED.

THE REGULATORY (DEFAULT) ANEMOMETER HEIGHT OF 10.0 METERS WAS ENTERED.

ANGLE RELATIVE TO LONG AXIS = 135.0000

BUOY. FLUX = 0.000 M\*\*4/S\*\*3; MOM. FLUX = 0.000 M\*\*4/S\*\*2.

\*\*\* FULL METEOROLOGY \*\*\*

\*\*\*\*\*  
 \*\*\* SCREEN DISCRETE DISTANCES \*\*\*  
 \*\*\*\*\*

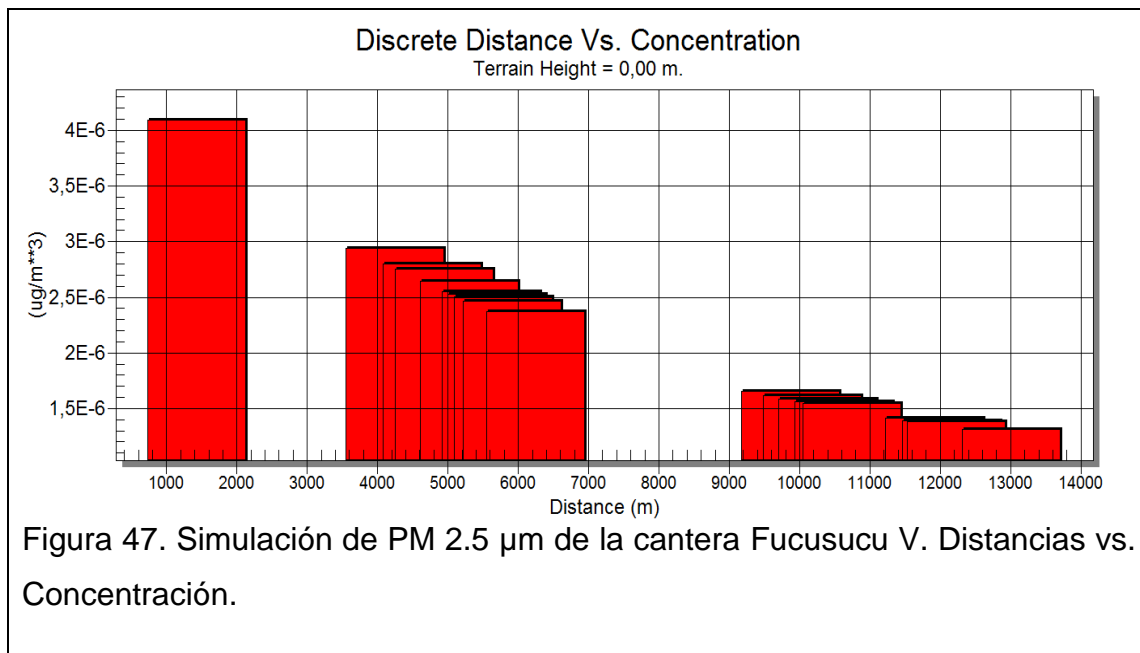
\*\*\* TERRAIN HEIGHT OF 0. M ABOVE STACK BASE USED FOR FOLLOWING DISTANCES \*\*\*

DIST	CONC	U10M	USTK	MIX HT	PLUME
(M)	(UG/M**3)	STAB	(M/S)	(M/S)	(M) HT
(M) (DEG)					MAX DIR

Distance (m)	Concentration (ug/m <sup>3</sup> )	Screening Level	Distance (m)	Distance (m)	Distance (m)	Distance (m)
1435.	0.4091E-05	1	1.0	1.2	320.0	200.00
135.						
4247.	0.2942E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
4785.	0.2800E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
4950.	0.2752E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
5310.	0.2645E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
5620.	0.2553E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
5699.	0.2530E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
5794.	0.2503E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
5917.	0.2467E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
6252.	0.2375E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
9879.	0.1656E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
10188.	0.1615E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
10407.	0.1587E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
10633.	0.1559E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
10749.	0.1545E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
11919.	0.1416E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
12159.	0.1392E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
12232.	0.1385E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
13012.	0.1314E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						

\*\*\*\*\*  
 \*\*\* SUMMARY OF SCREEN MODEL RESULTS \*\*\*  
 \*\*\*\*\*

CALCULATION PROCEDURE	MAX CONC (UG/M**3)	DIST TO MAX (M)	TERRAIN HT (M)
SIMPLE TERRAIN	0.4091E-05	1435.	0.



Es posible ver en la figura 47 que la distribución del contaminante proveniente de la cantera Fucusucu V, es muy parecida a la de la cantera Tanlahua.

La concentración más alta de  $4.091 \times 10^{-6} \mu\text{g}/\text{m}^3$  la tiene la escuela La Libertad a 1435m de distancia con respecto a la cantera Fucusucu V. Seguida de la “Escuela Fiscal 29 de Junio” con  $2.942 \times 10^{-6} \mu\text{g}/\text{m}^3$  y una distancia de 4247m. En tercer lugar está la “Unidad Educativa Dos Hemisferios” con  $2.800 \times 10^{-6} \mu\text{g}/\text{m}^3$  y 4785m y en cuarto puesto está la “Unidad Educativa Scotland School” con  $2.752 \times 10^{-6} \mu\text{g}/\text{m}^3$  y 4950m.

La concentración más baja nuevamente la tiene la “Escuela Fiscal Mixta Simón Rodríguez” a una distancia de 13012m y  $1.314 \times 10^{-6} \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

### c) Simulación de PM 2.5 $\mu\text{m}$ proveniente de las canteras Fucusucu III, El Guabo, Blanca II y Rosita.

01/21/16

21:41:22

\*\*\* SCREEN3 MODEL RUN \*\*\*  
\*\*\* VERSION DATED 96043 \*\*\*

C:\Lakes\Screen View\FucusucuIII ElGuabo BlancaII  
Rosita.scr

SIMPLE TERRAIN INPUTS:

SOURCE TYPE = AREA  
EMISSION RATE (G/(S-M\*\*2)) = 0.630000E-11  
SOURCE HEIGHT (M) = 2.0000  
LENGTH OF LARGER SIDE (M) = 1110.0000  
LENGTH OF SMALLER SIDE (M) = 300.0000  
RECEPTOR HEIGHT (M) = 200.0000  
URBAN/RURAL OPTION = RURAL

THE REGULATORY (DEFAULT) MIXING HEIGHT OPTION WAS  
SELECTED.

THE REGULATORY (DEFAULT) ANEMOMETER HEIGHT OF 10.0 METERS  
WAS ENTERED.

ANGLE RELATIVE TO LONG AXIS = 135.0000

BUOY. FLUX = 0.000 M\*\*4/S\*\*3; MOM. FLUX = 0.000  
M\*\*4/S\*\*2.

\*\*\* FULL METEOROLOGY \*\*\*

\*\*\*\*\*  
\*\*\* SCREEN DISCRETE DISTANCES \*\*\*  
\*\*\*\*\*

\*\*\* TERRAIN HEIGHT OF 0. M ABOVE STACK BASE USED FOR  
FOLLOWING DISTANCES \*\*\*

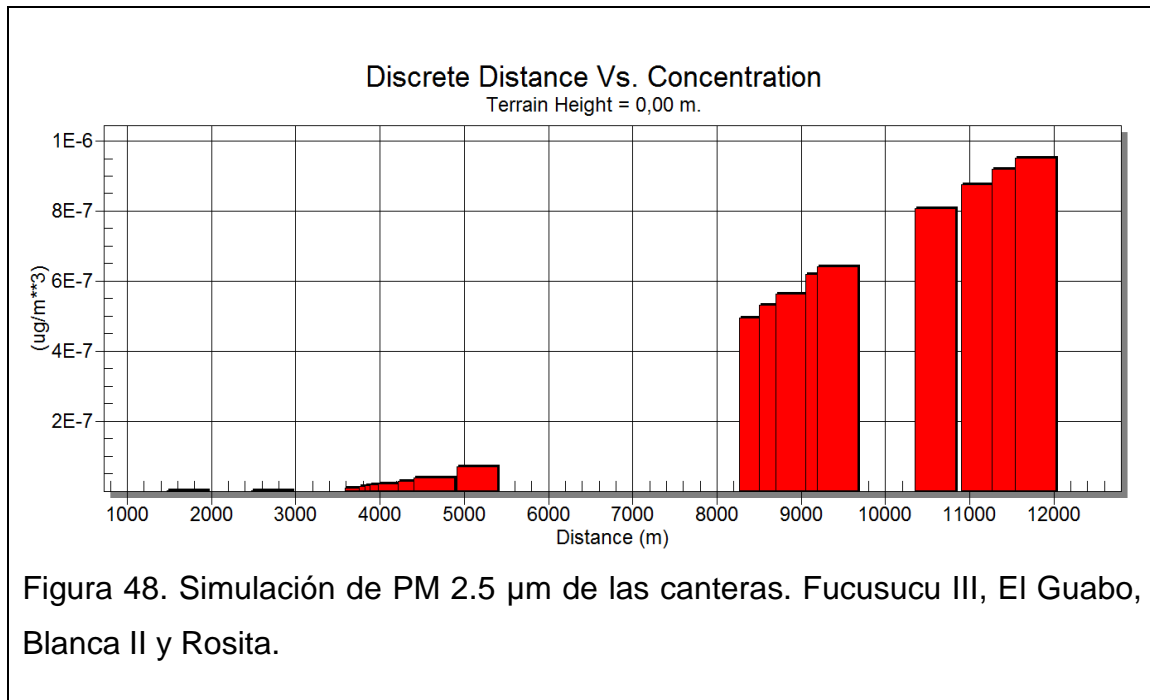
DIST	CONC		U10M	USTK	MIX HT	PLUME
(M)	(UG/M**3)	STAB	(M/S)	(M/S)	(M)	MAX DIR
(M) (DEG)					HT	
1726.	0.2092E-12	5	1.0	1.0	10000.0	2.00
135.						
2727.	0.2779E-09	5	1.0	1.0	10000.0	2.00
135.						
3833.	0.9668E-08	5	1.0	1.0	10000.0	2.00
135.						
4002.	0.1361E-07	5	1.0	1.0	10000.0	2.00
135.						
4076.	0.1560E-07	5	1.0	1.0	10000.0	2.00
135.						
4129.	0.1713E-07	5	1.0	1.0	10000.0	2.00
135.						



4234.	0.2043E-07	5	1.0	1.0	10000.0	2.00
135.						
4461.	0.2888E-07	5	1.0	1.0	10000.0	2.00
135.						
4649.	0.3740E-07	5	1.0	1.0	10000.0	2.00
135.						
5165.	0.6847E-07	5	1.0	1.0	10000.0	2.00
135.						
8513.	0.4945E-06	5	1.0	1.0	10000.0	2.00
135.						
8749.	0.5318E-06	5	1.0	1.0	10000.0	2.00
135.						
8945.	0.5628E-06	5	1.0	1.0	10000.0	2.00
135.						
9308.	0.6198E-06	5	1.0	1.0	10000.0	2.00
135.						
9445.	0.6412E-06	5	1.0	1.0	10000.0	2.00
135.						
10599.	0.8062E-06	5	1.0	1.0	10000.0	2.00
135.						
11153.	0.8758E-06	5	1.0	1.0	10000.0	2.00
135.						
11511.	0.9185E-06	5	1.0	1.0	10000.0	2.00
135.						
11788.	0.9503E-06	5	1.0	1.0	10000.0	2.00
135.						

\*\*\*\*\*  
 \*\*\* SUMMARY OF SCREEN MODEL RESULTS \*\*\*  
 \*\*\*\*\*

CALCULATION PROCEDURE	MAX CONC (UG/M**3)	DIST TO MAX (M)	TERRAIN HT (M)
-----	-----	-----	-----
SIMPLE TERRAIN	0.9503E-06	11788.	0.



En este caso, la altura de la fuente es menor, ya que en promedio, las canteras agrupadas se no encuentran en elevaciones geológicas, sino por debajo de la altura de los poblados. La figura 48 muestra la pluma de distribución del PM 2.5 µm que es emitido desde las canteras Fucusucu III, El Guabo, Blanca II y Rosita.

Al contrario de las dos simulaciones anteriores, ésta presenta más concentración del contaminante en distancias más lejanas a la fuente de emisión. El motivo de esta diferencia principalmente se debe a la altura a la cual está situada la cantera. La “Escuela Fiscal Mixta Simón Rodríguez” es la más afectada con  $9.503 \times 10^{-7} \mu\text{g}/\text{m}^3$  a una distancia de 11788m, seguida de la “Unidad Educativa Experimental Eugenio Espejo” con  $9.185 \times 10^{-7} \mu\text{g}/\text{m}^3$  y 11511m. En tercer lugar está el Instituto Educativo Shyris Valdivia “IESVAL” con  $8.758 \times 10^{-7} \mu\text{g}/\text{m}^3$  y 11153m. En cuarta posición está el “Colegio Francés” con  $8.062 \times 10^{-7} \mu\text{g}/\text{m}^3$  y 10599m.

La escuela menos afectada en ésta simulación es la Escuela La Libertad con  $2.092 \times 10^{-13} \mu\text{g}/\text{m}^3$  a una distancia de 1726m.

**d) Simulación de PM 2.5  $\mu\text{m}$  proveniente de las canteras Terrazas de Mandingo y San Luis I**

01/21/16

22:03:31

\*\*\* SCREEN3 MODEL RUN \*\*\*  
 \*\*\* VERSION DATED 96043 \*\*\*

C:\Lakes\Screen View\TERRAZAS DE MANDINGO SAN LUIS1.scr

SIMPLE TERRAIN INPUTS:

SOURCE TYPE = AREA  
 EMISSION RATE (G/(S-M\*\*2)) = 0.132000E-10  
 SOURCE HEIGHT (M) = 200.0000  
 LENGTH OF LARGER SIDE (M) = 510.0000  
 LENGTH OF SMALLER SIDE (M) = 210.0000  
 RECEPTOR HEIGHT (M) = 2.0000  
 URBAN/RURAL OPTION = RURAL

THE REGULATORY (DEFAULT) MIXING HEIGHT OPTION WAS  
 SELECTED.

THE REGULATORY (DEFAULT) ANEMOMETER HEIGHT OF 10.0 METERS  
 WAS ENTERED.

ANGLE RELATIVE TO LONG AXIS = 135.0000

BUOY. FLUX = 0.000 M\*\*4/S\*\*3; MOM. FLUX = 0.000  
 M\*\*4/S\*\*2.

\*\*\* FULL METEOROLOGY \*\*\*

\*\*\*\*\*  
 \*\*\* SCREEN DISCRETE DISTANCES \*\*\*  
 \*\*\*\*\*

\*\*\* TERRAIN HEIGHT OF 0. M ABOVE STACK BASE USED FOR  
 FOLLOWING DISTANCES \*\*\*

DIST	CONC		U10M	USTK	MIX HT	PLUME
(M)	(UG/M**3)	STAB	(M/S)	(M/S)	(M)	MAX DIR
(M) (DEG)					HT	
2994.	0.3432E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00

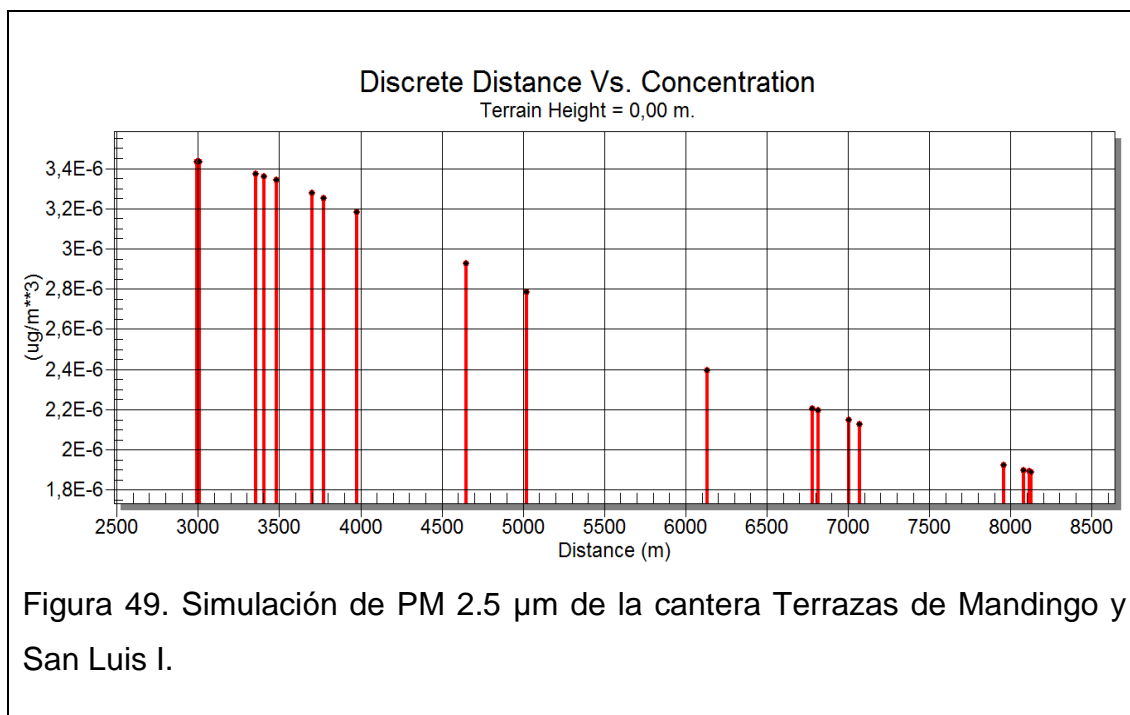
135.

3007.	0.3431E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
3356.	0.3374E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
3406.	0.3361E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
3483.	0.3341E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
3702.	0.3275E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
3774.	0.3252E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
3975.	0.3182E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
4650.	0.2927E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
5023.	0.2783E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
6131.	0.2396E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
6778.	0.2206E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
6815.	0.2196E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
7003.	0.2146E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
7072.	0.2128E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
7958.	0.1923E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
8079.	0.1898E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
8114.	0.1891E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
8125.	0.1889E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						

\*\*\*\*\*  
 \*\*\* SUMMARY OF SCREEN MODEL RESULTS \*\*\*  
 \*\*\*\*\*

CALCULATION PROCEDURE	MAX CONC (UG/M**3)	DIST TO MAX (M)	TERRAIN HT (M)
-----	-----	-----	-----
SIMPLE TERRAIN	0.3432E-05	2994.	0.

\*\*\*\*\*



La figura 49 muestra la pluma de distribución de PM 2.5 μm emitido por las canteras Terrazas de Mandigo y San Luis I, quienes según ésta simulación afectan más a la Unidad Educativa Mitad del Mundo, concentrando en promedio  $3.432 \times 10^{-6} \mu\text{g}/\text{m}^3$  en sus instalaciones, ésta escuela está ubicada a 2994m de las canteras mencionadas. El Centro Educativo Mitad del Mundo, es el segundo lugar de mayor incidencia de contaminación con  $3.431 \times 10^{-6} \mu\text{g}/\text{m}^3$ , en tercer lugar está la Unidad Educativa Misión Geodésica con  $3.374 \times 10^{-6} \mu\text{g}/\text{m}^3$  y en cuarto lugar la Escuela Werner Heisenberg con  $3.361 \times 10^{-6} \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

La escuela con menor concentración de PM 2.5μm proveniente de dichas canteras es la Unidad Educativa Experimental Eugenio Espejo con tan solo  $1.889 \times 10^{-6} \mu\text{g}/\text{m}^3$ . En éste caso, una vez más se comprueba que a mayor distancia de la fuente emisora, la concentración del contaminante cesa.

### e) Simulación de PM 2.5 $\mu\text{m}$ proveniente de la cantera Santa Fe II

01/21/16

22:21:10

\*\*\* SCREEN3 MODEL RUN \*\*\*  
 \*\*\* VERSION DATED 96043 \*\*\*

C:\Lakes\Screen View\Santa Fe II .scr

## SIMPLE TERRAIN INPUTS:

SOURCE TYPE = AREA  
 EMISSION RATE (G/(S-M\*\*2)) = 0.324000E-10  
 SOURCE HEIGHT (M) = 200.0000  
 LENGTH OF LARGER SIDE (M) = 190.0000  
 LENGTH OF SMALLER SIDE (M) = 190.0000  
 RECEPTOR HEIGHT (M) = 2.0000  
 URBAN/RURAL OPTION = RURAL

THE REGULATORY (DEFAULT) MIXING HEIGHT OPTION WAS  
 SELECTED.

THE REGULATORY (DEFAULT) ANEMOMETER HEIGHT OF 10.0 METERS  
 WAS ENTERED.

ANGLE RELATIVE TO LONG AXIS = 135.0000

BUOY. FLUX = 0.000 M\*\*4/S\*\*3; MOM. FLUX = 0.000  
 M\*\*4/S\*\*2.

\*\*\* FULL METEOROLOGY \*\*\*

\*\*\*\*\*  
 \*\*\* SCREEN DISCRETE DISTANCES \*\*\*  
 \*\*\*\*\*

\*\*\* TERRAIN HEIGHT OF 0. M ABOVE STACK BASE USED FOR  
 FOLLOWING DISTANCES \*\*\*

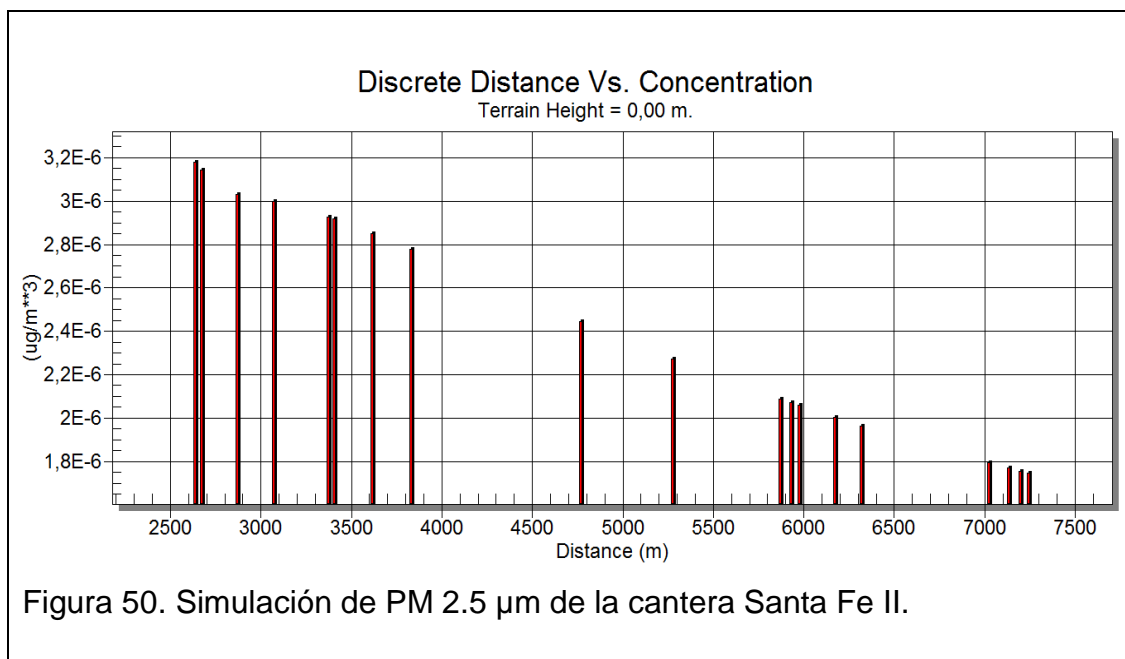
DIST (M) (DEG)	CONC (UG/M**3)	STAB	U10M (M/S)	USTK (M/S)	MIX HT (M)	PLUME HT	MAX DIR (M)
2638. 135.	0.3179E-05	2	1.0	1.2	320.0	200.00	
2676. 135.	0.3143E-05	2	1.0	1.2	320.0	200.00	

2871.	0.3032E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
3074.	0.3001E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
3376.	0.2926E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
3407.	0.2917E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
3615.	0.2852E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
3832.	0.2779E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
4770.	0.2446E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
5279.	0.2272E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
5870.	0.2089E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
5931.	0.2072E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
5977.	0.2058E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
6172.	0.2004E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
6321.	0.1964E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
7026.	0.1794E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
7135.	0.1770E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
7198.	0.1756E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
7243.	0.1747E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						

\*\*\*\*\*  
 \*\*\* SUMMARY OF SCREEN MODEL RESULTS \*\*\*  
 \*\*\*\*\*

CALCULATION PROCEDURE	MAX CONC (UG/M**3)	DIST TO MAX (M)	TERRAIN HT (M)
-----	-----	-----	-----
SIMPLE TERRAIN	0.3179E-05	2638.	0.

\*\*\*\*\*



Ésta vez, el contaminante se dispersa en la atmósfera concentrándose principalmente en los sectores más próximos a la fuente de emisión. Aquí, la escuela más cercana a la cantera San Fe II es la “Unidad Educativa Mitad del Mundo” a 2638m y con una concentración de  $3.179 \times 10^{-6} \mu\text{g}/\text{m}^3$ . En segundo puesto está el “Centro Educativo Mitad del Mundo” a 2676m y  $3.143 \times 10^{-6} \mu\text{g}/\text{m}^3$ . En tercer lugar está la escuela “Werner Heisenberg” a 2871m y  $3.032 \times 10^{-6} \mu\text{g}/\text{m}^3$ , seguida de la “Unidad Educativa Misión Geodésica” a 3074m y  $3.001 \times 10^{-6} \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

El punto con menos concentración es  $1.747 \times 10^{-6} \mu\text{g}/\text{m}^3$  del “Colegio Francés” a una distancia de 7243.

#### f) Simulación de PM 2.5 µm proveniente de la cantera Favito

01/21/16

22:34:36

```
*** SCREEN3 MODEL RUN ***
*** VERSION DATED 96043 ***
```

C:\Lakes\Screen View\Favito .scr

SIMPLE TERRAIN INPUTS:

SOURCE TYPE	=	AREA
-------------	---	------



EMISSION RATE (G/(S-M\*\*2)) = 0.299000E-10  
 SOURCE HEIGHT (M) = 200.0000  
 LENGTH OF LARGER SIDE (M) = 290.0000  
 LENGTH OF SMALLER SIDE (M) = 90.0000  
 RECEPTOR HEIGHT (M) = 2.0000  
 URBAN/RURAL OPTION = RURAL

THE REGULATORY (DEFAULT) MIXING HEIGHT OPTION WAS SELECTED.

THE REGULATORY (DEFAULT) ANEMOMETER HEIGHT OF 10.0 METERS WAS ENTERED.

ANGLE RELATIVE TO LONG AXIS = 135.0000

BUOY. FLUX = 0.000 M\*\*4/S\*\*3; MOM. FLUX = 0.000  
 M\*\*4/S\*\*2.

\*\*\* FULL METEOROLOGY \*\*\*

\*\*\*\*\*  
 \*\*\* SCREEN DISCRETE DISTANCES \*\*\*  
 \*\*\*\*\*

\*\*\* TERRAIN HEIGHT OF 0. M ABOVE STACK BASE USED FOR  
 FOLLOWING DISTANCES \*\*\*

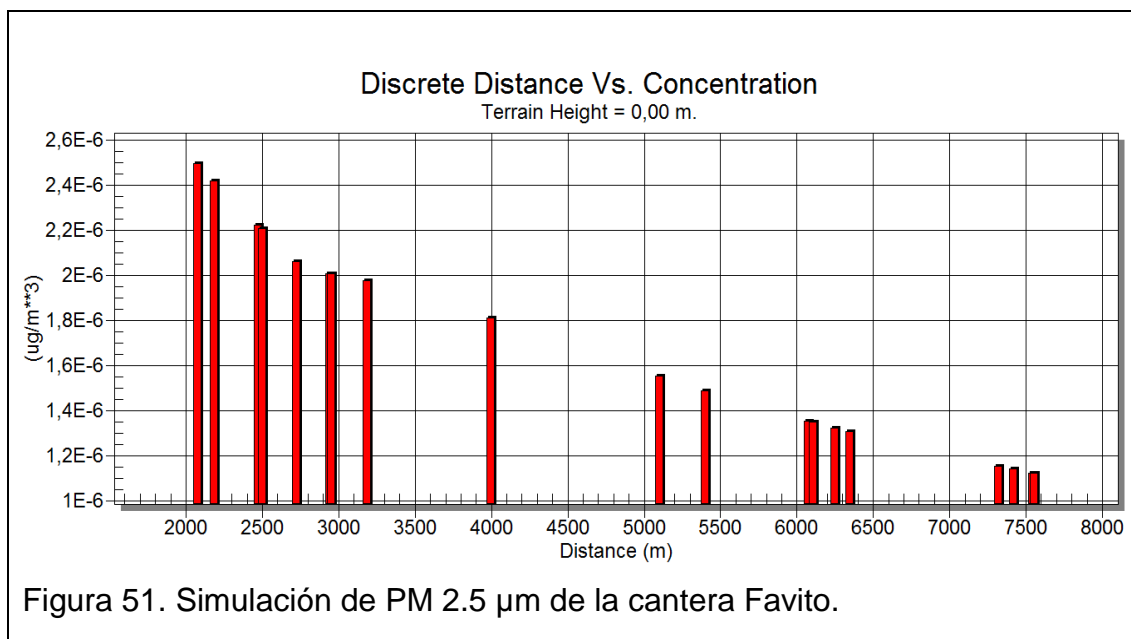
DIST (M) (M) (DEG)	CONC (UG/M**3)	STAB	U10M (M/S)	USTK (M/S)	MIX HT (M)	PLUME MAX DIR HT
2077. 135.	0.2496E-05	2	1.0	1.2	320.0	200.00
2187. 135.	0.2421E-05	2	1.0	1.2	320.0	200.00
2471. 135.	0.2225E-05	2	1.0	1.2	320.0	200.00
2498. 135.	0.2207E-05	2	1.0	1.2	320.0	200.00
2724. 135.	0.2061E-05	2	1.0	1.2	320.0	200.00
2943. 135.	0.2007E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
2951. 135.	0.2006E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
3186. 135.	0.1977E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00

3996.	0.1811E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
5101.	0.1552E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
5401.	0.1487E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
6074.	0.1354E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
6109.	0.1347E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
6247.	0.1322E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
6345.	0.1305E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
7323.	0.1153E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
7416.	0.1141E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
7546.	0.1123E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						
7553.	0.1122E-05	3	1.0	1.3	320.0	200.00
135.						

\*\*\*\*\*  
 \*\*\* SUMMARY OF SCREEN MODEL RESULTS \*\*\*  
 \*\*\*\*\*

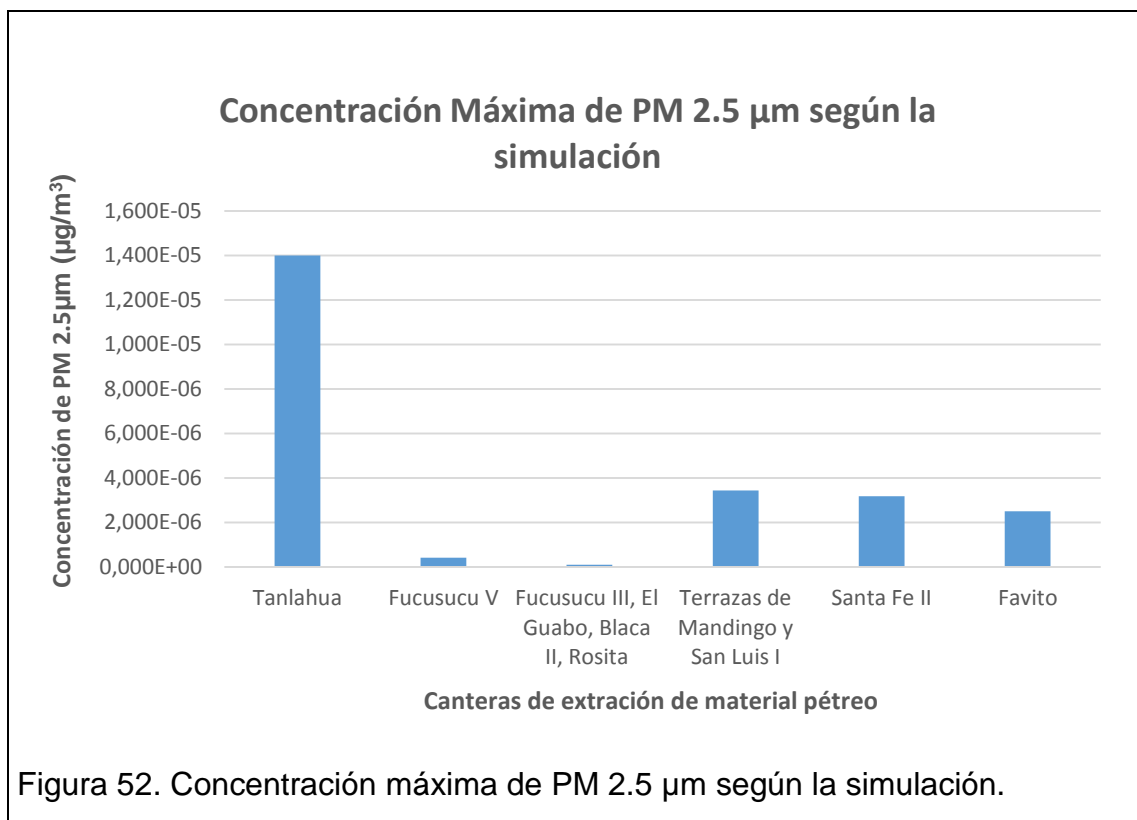
CALCULATION PROCEDURE	MAX CONC (UG/M**3)	DIST TO MAX (M)	TERRAIN HT (M)
-----	-----	-----	-----
SIMPLE TERRAIN	0.2496E-05	2077.	0.

\*\*\*\*\*



En este último modelo de dispersión, el comportamiento del PM 2.5  $\mu\text{m}$  es el mismo que en la mayoría de simulaciones realizadas anteriormente. Esto significa que a mayor distancia de dispersión del contaminante, la concentración del mismo disminuye. Es así como la mayor concentración la tiene la “Unidad Educativa Mitad del Mundo” con  $2.496 \times 10^{-6} \mu\text{g}/\text{m}^3$  a una distancia de 2077, seguida del “Centro Educativo Mitad del Mundo” con  $2.421 \times 10^{-6} \mu\text{g}/\text{m}^3$  y 2187m de distancias. En tercer lugar se sitúa la “Unidad Educativa Misión Geodésica” con  $2.225 \times 10^{-6} \mu\text{g}/\text{m}^3$  y 2471m y en cuarto puesto se posiciona nuevamente la “Escuela Werner Heisenberg” con  $2.207 \times 10^{-6} \mu\text{g}/\text{m}^3$  a una distancia de 2498m.

La concentración mínima está en el punto más lejano a 7553m, que es la “Escuela Fiscal Mixta Simón Rodríguez” con solo  $1.122 \times 10^{-6} \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



De acuerdo a la simulación de las 6 canteras mencionadas en la gráfica 52, la concesión minera Tanlahua es la más influyente dentro de la parroquia, sobrepasando más de 10 veces las concentraciones emitidas en las otras fuentes del sector. Es posible que el software haya evaluado de esta manera la concentración debido al tamaño de área extractiva que dispone dicha concesión. Por ello, es un hecho que la escuela más afectada es La Libertad, ya que es la más cercana no solo a esta singular cantera, sino a todo el sector extractivo de la zona. Siguiendo la misma línea investigativa de Bustillos y Velastegui (2011), en donde la mayor concentración simulada se encuentra a la distancia más cercana a la fuente.

En otros estudios realizados usando modelos gaussianos, se ha encontrado que la pluma de dispersión de los contaminantes de fuentes fijas a nivel de suelo concentran más sus emisiones a distancias más cercas (Buitrago, 2006). Ésta misma situación se valida con este estudio, ya que de las 6 canteras simuladas, solo una presentó una concentración de contaminante diferente, el

resto sigue una pluma de dispersión de mayor a menor concentración, según se va alejando el contaminante de la fuente.

### **3.5. Monitoreo atmosférico**

#### **3.5.1. Descripción de las escuelas seleccionadas para el monitoreo**

Dado el análisis de dispersión de PM 2.5  $\mu\text{m}$  de las diferentes fuentes de emisión con respecto a las escuelas, se determinó los puntos en donde se realizó el monitoreo atmosférico. Se consideró el constante posicionamiento en el ranking de concentraciones más altas alrededor de todas las simulaciones analizadas.

En las 4 escuelas seleccionadas para el muestreo descritas a continuación, estudian un aproximado de 150 niños en edades entre 4 y 6 años.

El primer punto monitoreado fue la “Escuela La Libertad”, una institución rural, de bajos recursos económicos. Usualmente existe un solo maestro para dos niveles de educación básica. Esta es la escuela más próxima a la concesión minera Tanlahua a tan solo 678m de distancia. Es común en este lugar la presencia de ventarrones junto a tormentas de polvo.

El segundo lugar monitoreado fue la “Escuela Fiscal 29 de Junio”. Aquí estudia un 80% más de niños en comparación con la primera escuela en donde se realizó la investigación. Es común apreciar en este lugar grandes corrientes de viento y polvo que afectan gravemente a los ojos de los estudiantes, y se presume que ésta sea la causa de las frecuentes afecciones respiratorias que los niños tienen alrededor de todo el año. Esta escuela está situada muy cerca a las Ruinas de Rumicucho que es uno de los lugares más turísticos de la parroquia.

La “Unidad Educativa Misión Geodésica”, fue el tercer lugar del monitoreo. Esta escuela está ubicada dentro del poblado y es una unidad particular. El número de alumnos por grado no llega a ser mayor de 20. En este lugar se puede

observar que se reduce de cierta forma las tormentas de polvo, características del sector.

La “Escuela Werner Heisenberg” fue la última en ser monitoreada y también es una unidad educativa particular. Su localidad está mucho más cerca de la carretera principal de la parroquia y por esta razón no solo el material particulado de las canteras le puede afectar, sino también el proveniente del parque vehicular que transita todos los días por dicho lugar.

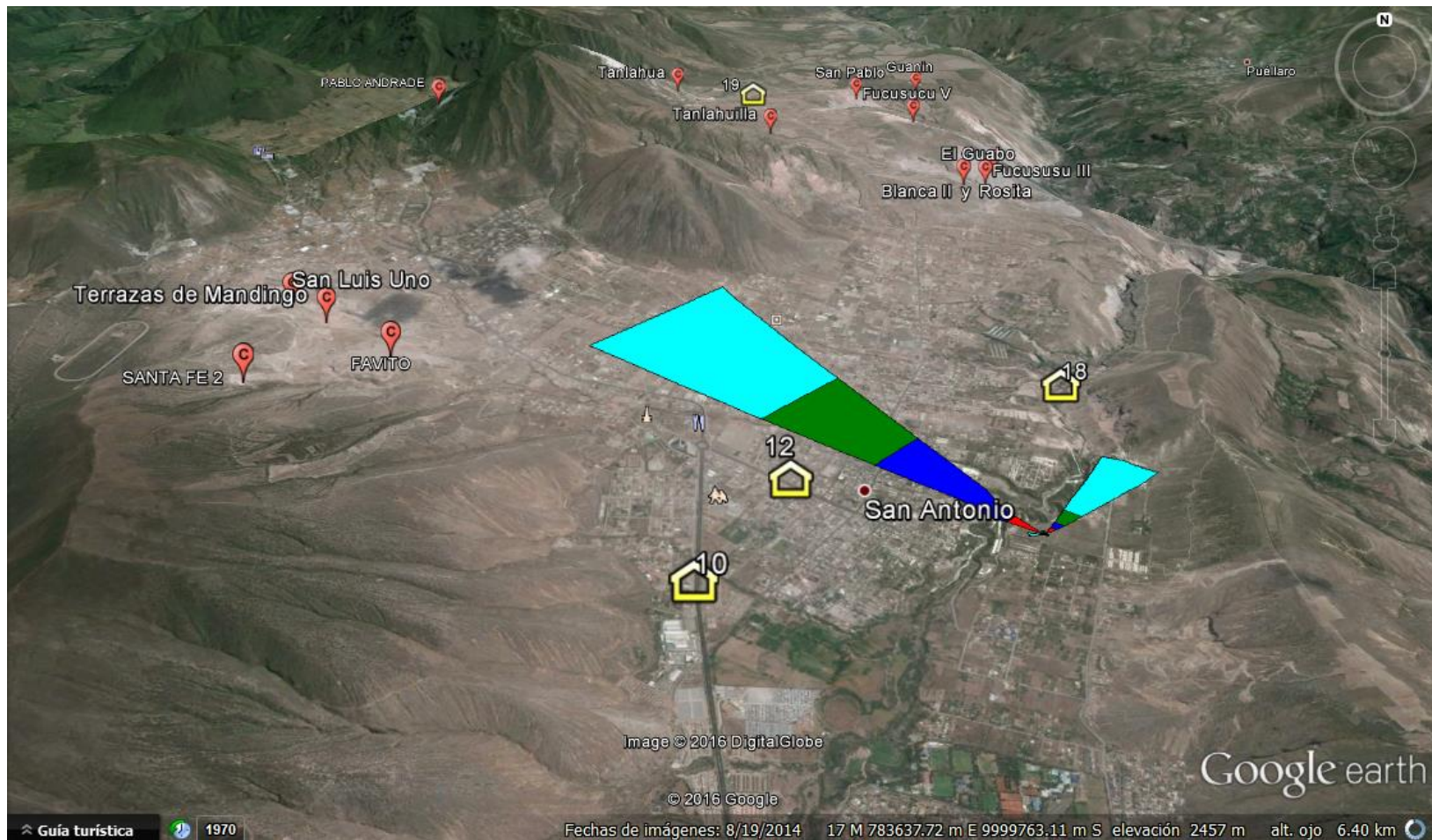


Figura 53. Imagen satelital de escuelas seleccionadas para el monitoreo.

### 3.5.2. Cálculos de determinación de concentración de PM 2.5 $\mu\text{m}$

Las ecuaciones para el análisis del caso son;

- Determinación de volumen de entrada de aire;

$$\text{Volumen} = \text{Caudal} \times \text{Tiempo} \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$\text{Volumen} = 3.5 \frac{l}{\text{min}} \times 8h$$

$$\text{Volumen} = 3.5 \frac{l}{\text{min}} \times 480 \text{ min}$$

$$\text{Volumen} = 1680 \text{ l}$$

$$\text{Volumen} = 1.68 \text{ m}^3$$

- Determinación del área del filtro, (radio del filtro dada por el proveedor “Zefon”);

$$\text{Área del filtro} = \pi \times r^2 \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$\text{Área del filtro} = \pi \times (3.7 \text{ cm})^2$$

$$\text{Área del filtro} = 25.50$$

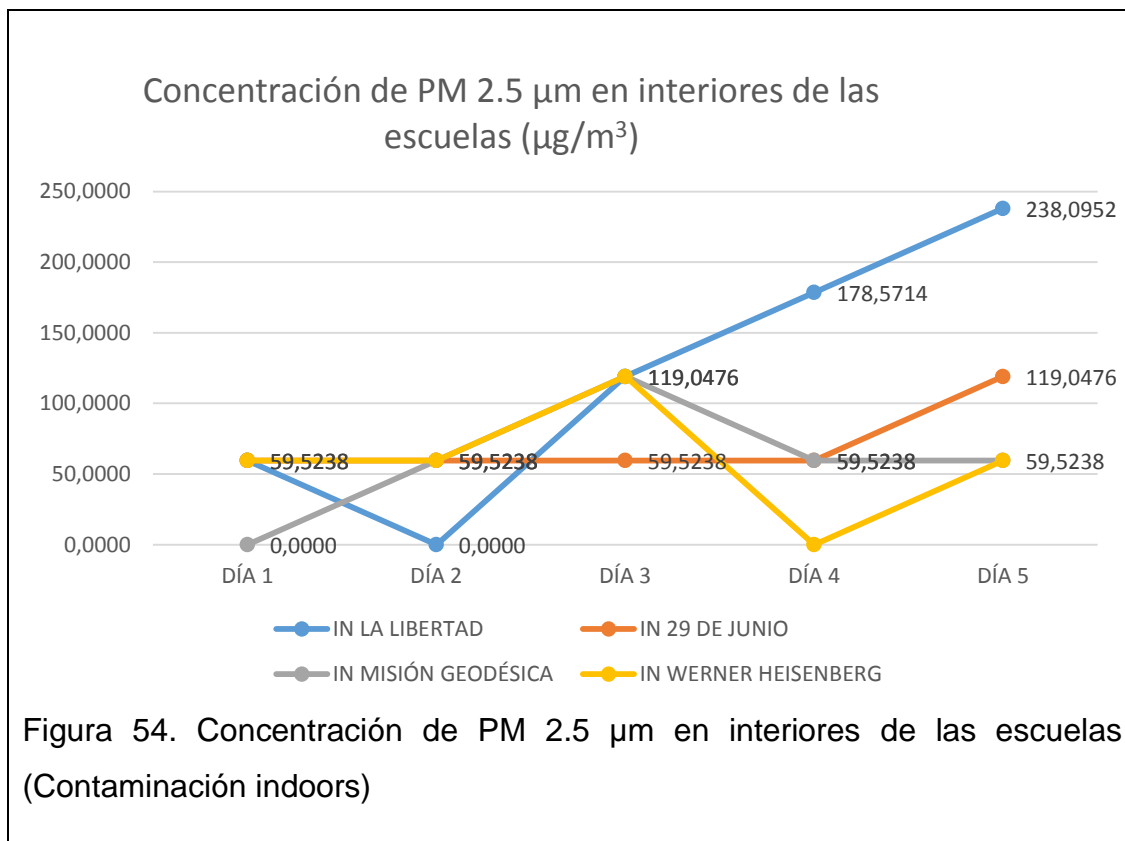
### 3.5.3. Determinación de la masa de partículas recogidas sobre el filtro

Para la determinación de concentración final de PM 2.5  $\mu\text{m}$  en cada día monitoreado durante 8 horas se usaron las ecuaciones 6 ( $m = (\text{diferencia de pesos de los filtros}) \times (\text{Área del filtro})$ ) y 7 ( $\text{Concentración} = \frac{m}{v}$ ). Éste procedimiento se realizó conforme al dictamen de la legislación vigente en el Ecuador, acerca de los métodos de medición de concentraciones de contaminantes criterios del aire. (Acuerdo 050, 2011)



Seguidamente se presentan las gráficas de los resultados obtenidos del monitoreo atmosférico determinado bajo el análisis gravimétrico.

Existen valores de 0 en algunas concentraciones. Esto es porque algunas partículas acumuladas en el filtro no fueron capaces de ser medidas por la balanza analítica por cuestiones de sensibilidad del equipo y la fracción tan pequeña del particulado en investigación.



En la figura 54 se muestran las concentraciones promedio medidas en cada día durante 8 horas dentro de las aulas en las escuelas escogidas.

En la “Escuela La Libertad” el primer día se registró  $59.5238 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de concentración, cantidad que el siguiente día bajó considerablemente, hasta llegar a rangos aproximados a cero. Desde el tercer día en adelante las concentraciones de PM 2.5  $\mu\text{m}$  aumentaron, en éste día la concentración llegó a  $119.0476 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , cantidad que aumentó en el cuarto día y finalmente en el día quinto de medición llegó a su punto más alto de  $238.0952 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

La “Escuela Fiscal 29 de Junio” presentó concentraciones los 4 primeros días de  $59.5238 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y tan solo el último día intensificó su valor llegando a su punto más alto con  $119.0476 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Esto significa que existe un estado de alerta en la calidad del aire en este lugar, según la “Norma de Calidad del Aire Ambiente o Nivel de Inmisión, libro VI Anexo 4” (2011), en donde  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de PM 2.5  $\mu\text{m}$  representa estado de alerta,  $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$  estado de alarma y  $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$  estado de emergencia.

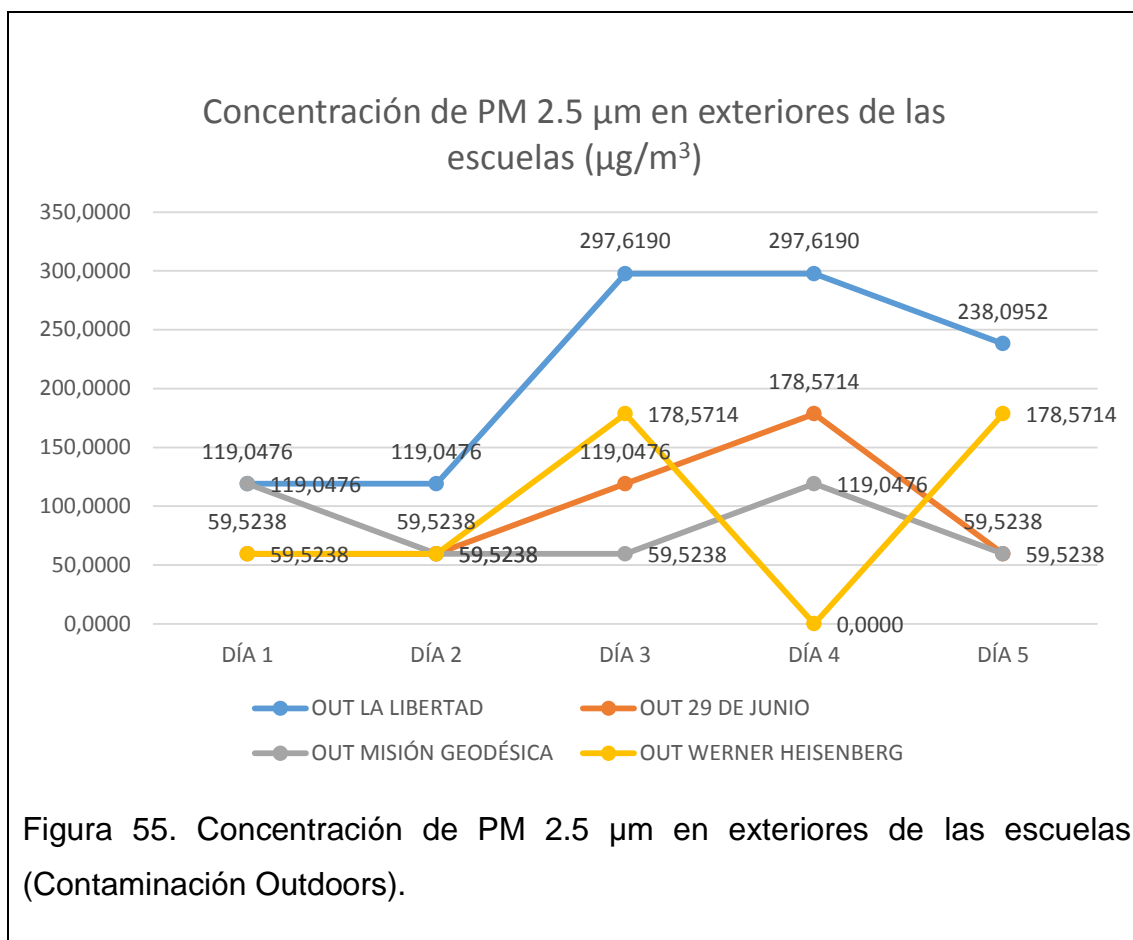
En la “Unidad Educativa Misión Geodésica” el primer día de medición se evidenció una cantidad muy baja de PM 2.5  $\mu\text{m}$ . Por éste motivo, la balanza analítica no logró medir dichos valores y se los representó en la gráfica 54 como cero. Pero no quiere decir que no haya existido concentración del contaminante. Los siguientes 4 días el valor se mantuvo en  $59.5238 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

La “Escuela Werner Heisenberg” tuvo los 2 primeros días concentraciones iguales a  $59.5238 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . El tercer día presentó un pico de  $119,0476 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . El cuarto día llegó a un nivel muy bajo de PM 2.5  $\mu\text{m}$ . Y el quinto día regreso a tener la concentración inicial, igual a los 2 primeros días de monitoreo.

En dicha gráfica también se puede observar un comportamiento similar para todos los días viernes, ya que presentan una línea de tendencia creciente. Esto puede deberse a la transferencia de material pétreo de las canteras, ya que según lo visto durante el monitoreo, éste día de la semana las volquetas tienden a transportar mayor cantidad de producto y el material particulado emitido se evidencia como contaminación indoors.

Los promedios de contaminación medidos (de  $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a  $238.0952 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) son similares a los determinados por Fromme et al., (2013) en su investigación de material particulado en escuelas elementares en Munich, con concentraciones que oscilaron entre  $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $390 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Estos autores también llegaron a la conclusión de que dicha concentración de PM no tiene relación con la cantidad de  $\text{CO}_2$  en el ambiente, pero si con la cantidad de alérgenos, como ácaros o metales dentro del aula. Por otra parte, estas mediciones indoors son excesivamente altas en comparación al PM 2.5  $\mu\text{m}$  investigado por Mahmoud y Abdel (2013), en donde las concentraciones más elevadas son de  $53.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,

esto puede darse por la diferencia de sitios de muestreo, tal como lo señala el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente del Gobierno de España (2013) puesto que en este caso se monitoreó en residencias urbanas y no en escuelas., ésta variación se debe al tipo de actividades que se realizan en cada sitio de monitoreo.



En la figura 55 se muestran las concentraciones promedio medidas en cada día durante 8 horas en los patios de las escuelas escogidas.

En la primera escuela monitoreada, “La Libertad”, se observa que los dos primeros días, la concentración se mantuvo en  $119.0476 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . El tercer y cuarto día presentaron valores de  $297.6190 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , siendo éste el punto más alto de todas las mediciones realizadas de contaminación outdoors. El último día de medición la concentración disminuyó a  $238.0952 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Éstos valores

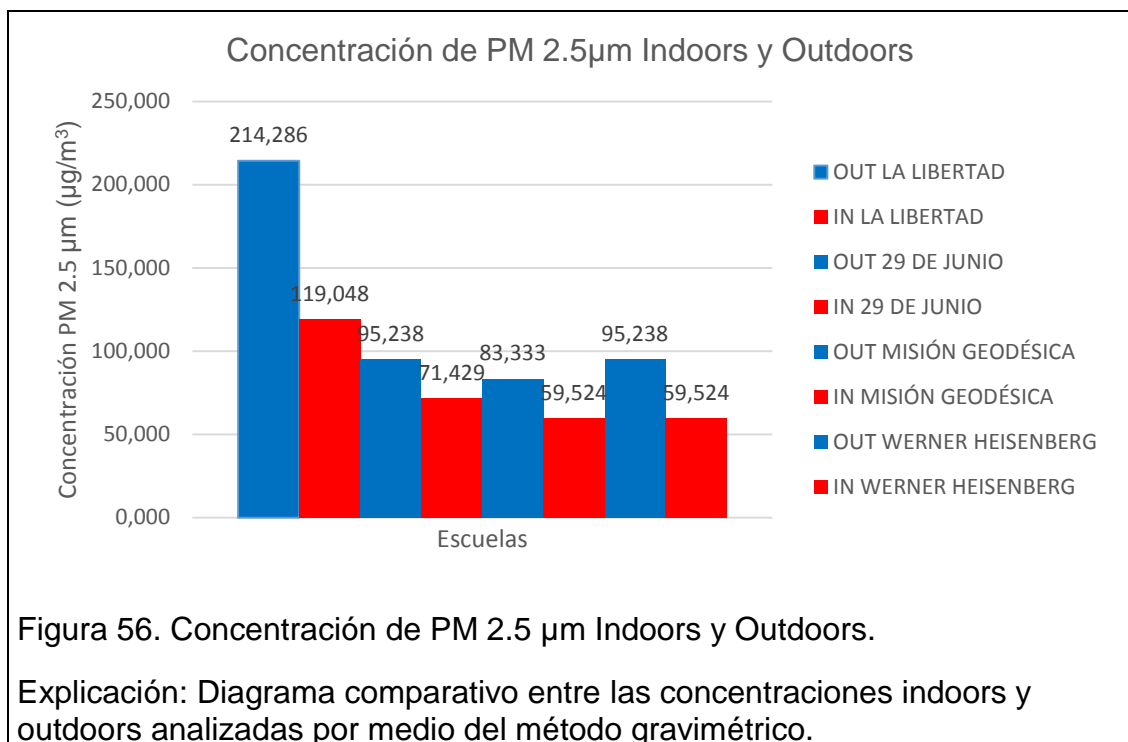
altos de PM 2.5  $\mu\text{m}$  en los exteriores de las aulas, no solamente están ligados a fuentes industriales como las canteras, sino también al desprendimiento de PM de los patios de tierra o no asfaltados dentro de las instituciones educativas según BREATHE (2015), tal como lo tenían todas las escuelas monitoreadas en ésta investigación. Además en el mencionado estudio las concentraciones de PM fino fueron mayores en ambientes outdoors en comparación con los indoors, lo que sugiere que las partículas medidas dentro de las aulas, son generadas por fuentes outdoors y no a partir de fuentes de interior.

La “Escuela Fiscal 29 de Junio” presentó el primero y segundo día una concentración de  $59.5238 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , aumentando el tercer día a  $119.0476 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y el cuarto día a  $178.5714 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , siendo esta la medición más alta de contaminación indoors registrada en ésta escuela. El quinto día nuevamente registró  $59.5238 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

La “Unidad Educativa Misión Geodésica” registró el primer día  $119.0476 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , disminuyendo ésta concentración el segundo y tercer día a  $59.5238 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . El cuarto día volvió a presentar  $119.0476 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y el último día de monitoreo otra vez alcanzó una concentración de  $59.5238 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

La última escuela monitoreada, “Werner Heisenberg”, mantuvo los dos primeros días concentraciones de  $59.5238 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . El tercer y quinto día llegaron a  $178.5714 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y tan solo el cuarto día se evidenció una baja de concentración de PM 2.5  $\mu\text{m}$ .

Estos resultados se pueden comparar con los obtenidos en un estudio realizado en las escuelas cercanas a industrias de diferente tipo, especialmente de extracción de metales pesados en Delhi, (Mathew, Goyal, Taneja y Arora, 2014) ya que la mayor cantidad de material particulado es detectado en el interior de las aulas. Esto se pueda dar ya que no existen muchas corrientes de aire en lugares cerrados y en dichos casos las partículas tienden a permanecer más tiempo en suspensión y afectan a la calidad de aire del interior de la edificación.



En la figura 56 se visualiza que la mayor concentración registrada en este análisis gravimétrico es de 214.286  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  perteneciente a la “Escuela La Libertad” y el dato más bajo es de 59.524  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de la “Escuela Werner Heisenberg” y “Misión Geodésica”. Con este monitoreo se comprueba la pluma de dispersión del contaminante simulada previamente. Es decir que a medida que la distancia aumenta con respecto a la fuente de emisión, la concentración del contaminante disminuye, tal como lo comprobaron Pai, Vijayaraghavan y Segneur (2011) en su modelo de dispersión usando el software SAM-AERO. Según Goetz, Viney y Zhang (2012) se debe considerar que éste tipo de dispersión depende también de factores meteorológicos del sitio de monitoreo.

### **3.5.4. Resultados del monitoreo atmosférico a tiempo real en interiores y exteriores de las escuelas**

En este apartado se muestran gráficas de dispersión de las concentraciones medidas por el MICRODUST PRO a tiempo real en cada una de las escuelas y en cada modalidad, es decir mediciones outdoors y mediciones indoors.

Es posible notar que todos los días las concentraciones llegan a ser mayores a las recomendaciones de la EPA (2016) de  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en 24 horas, aunque con esta norma no es viable realizar un análisis de comparación, ya que en el presente estudio se habla de concentraciones medidas al instante cada 10 minutos durante 8 horas. Por otra parte es importante conocer por medio de éste método, las cantidades de PM 2.5  $\mu\text{m}$  a las que están expuestos los niños todos los días durante sus clases.

Durante las mediciones se constató que la incidencia de problemas respiratorios, irritaciones a los ojos y acelerado desgaste de la piel, se dan por la constante exposición a los aerosoles en el ambiente.

En el monitoreo a tiempo real se evidenció una gran variabilidad de datos, existiendo picos altos entre  $161 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $258 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a medida que transcurría el día. A continuación se describen dichos datos:

La figura 57 muestra la distribución del contaminante medida durante 8 horas desde las 8 am hasta las 4 pm durante los 5 días de medición dentro de las aulas de la “Escuela La Libertad”.

El día con mayor concentración registrada dentro de las aulas de clase de la escuela “La Libertad” fue el día 1 con  $179 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a las 9 de mañana.

La figura 58 muestra la distribución del material particulado fino medido a tiempo real en la “Escuela Fiscal 29 de Junio”. La concentración más alta se calculó el día cuarto con  $258 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a las 2:10 pm dentro de las aulas.

En el caso de la “Unidad Educativa Misión Geodésica”, tal como se muestra en la figura 59, el nivel más alto de contaminación indoors fue de  $256 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en el día cuarto de monitoreo hacia las 4 de la tarde.

La concentración de contaminación por material particulado fino en la “Escuela Werner Heisenberg” registró su punto más alto el día cuarto hacia las 10 de la mañana con  $161 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , como se puede ver en la figura 60.

El hecho de que las dos últimas escuelas mencionadas hayan registrado el cuarto día las concentraciones más altas, puede deberse a que los días jueves las actividades en las canteras próximas a los sitios de muestreo tengan mayor énfasis, es decir que quizá éste día sea de despacho o cribado del material pétreo extraído.

En una sala de clase, según Gaidajis y Angelakoglou (2009) las concentraciones de PM 2.5  $\mu\text{m}$ , medidas por medio de atenuación de luz infrarroja, pueden llegar a ser de hasta  $1260 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en el peor de los casos y regularmente se encuentran entre 7 y  $357 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Al igual que en la investigación presente, dichos autores obtuvieron la mayor cantidad de concentración entre las 9 y las 10 de la mañana. Esto se da, según los últimos autores mencionados, por el tipo de actividad que se realice en el lugar del monitoreo, y en estos horarios al momento de las mediciones los niños se movilizaban para poder salir o ingresar a las aulas, lo cual resulta en una resuspensión del contaminante.

Es importante señalar que los valores más altos registrados en ésta sección pertenecen a la segunda escuela monitoreada (“Escuela Fiscal 29 de Junio”), que a su vez está un poco más alejada de las canteras en comparación con la primera escuela estudiada, lo que contradice al análisis realizado por Belis et al., (2015) en donde la distancia del eje horizontal de la fuente y el receptor son proporcionales a la masa de PM.

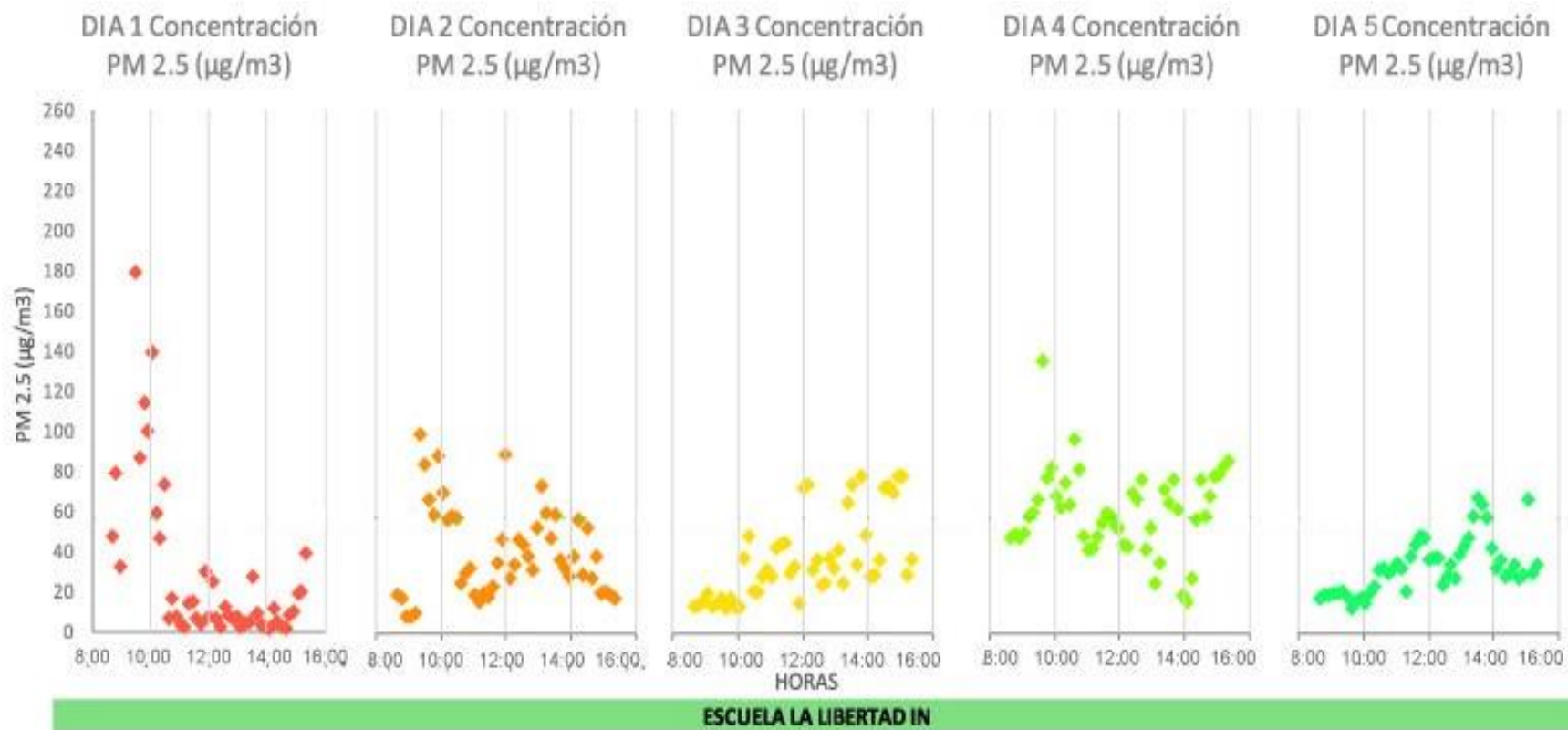


Figura 57. Tiempo de medición en (horas) de material particulado  $2.5 \mu\text{m}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de la “Escuela La Libertad”, correspondiente al monitoreo dentro de las aulas (indoors).



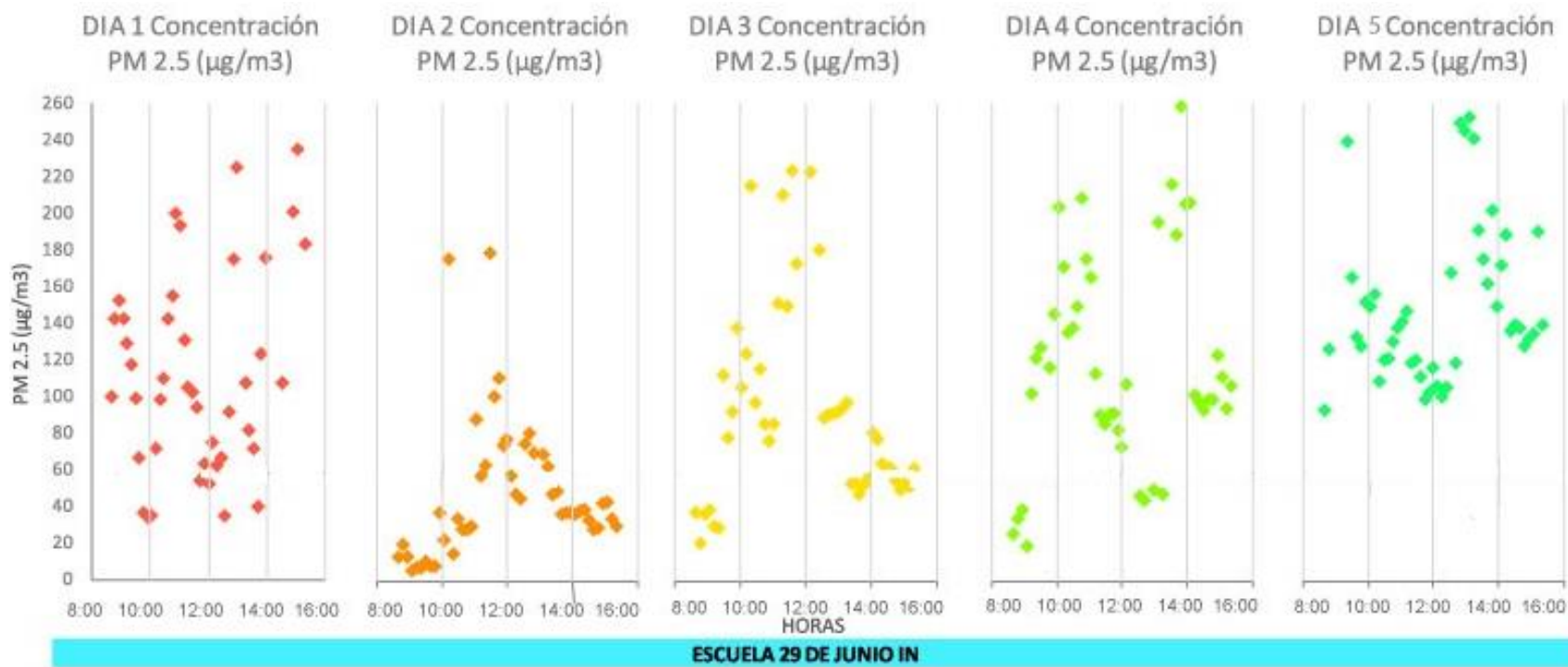


Figura 58. Tiempo de medición en (horas) de material particulado 2.5  $\mu\text{m}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de la “Escuela 29 de Junio”, correspondiente al monitoreo dentro de las aulas (indoors)

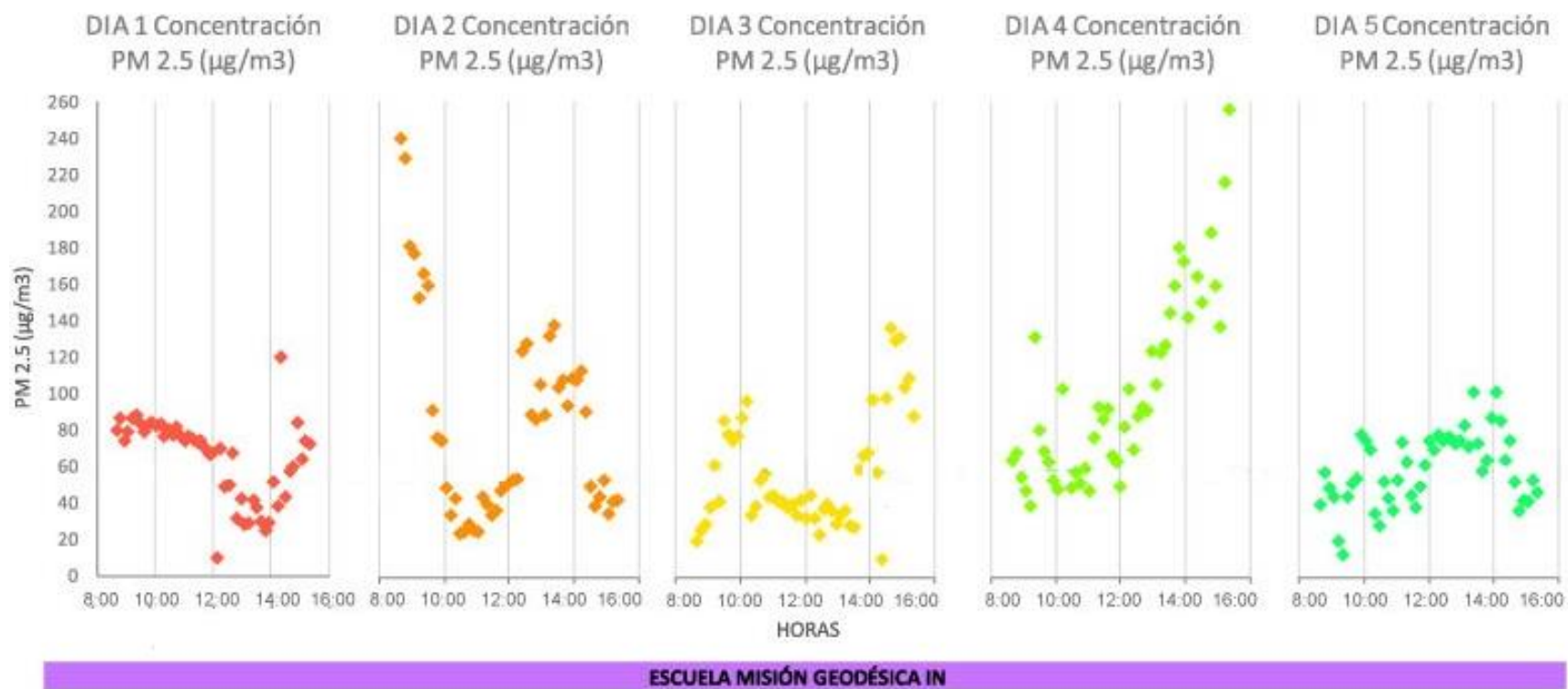


Figura 59. Tiempo de medición en (horas) de material particulado 2.5  $\mu\text{m}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de la “Unidad Educativa Misión Geodésica”, correspondiente al monitoreo dentro de las aulas (indoors)

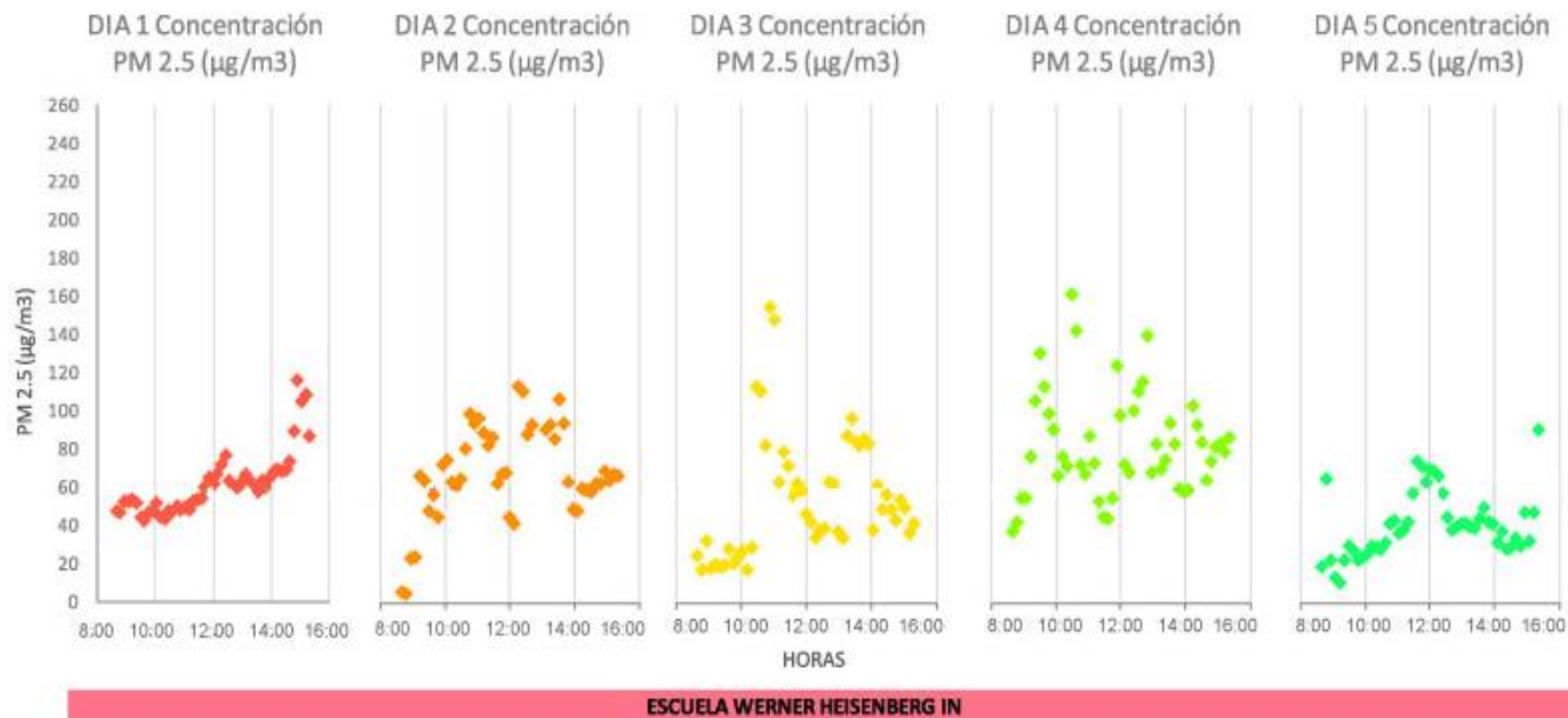


Figura 60. Tiempo de medición en (horas) de material particulado  $2.5 \mu\text{m}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de la “Escuela Werner Heisenberg”, correspondiente al monitoreo dentro de las aulas (indoors)

Las siguientes gráficas pertenecen a la distribución del material particulado fino medido en tiempo real en los exteriores de las aulas.

El día con mayor concentración registrada en la escuela “La Libertad” fue el día 2 con  $164 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a las 11:40 de mañana (figura 61), probablemente debido a actividades de fuentes emisoras cercanas, en este caso las canteras de material pétreo y las condiciones climáticas del momento.

La figura 62 muestra la distribución del material particulado fino medido a tiempo real en la “Escuela Fiscal 29 de Junio”. La concentración más alta se calculó el día cuarto con  $252 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a las 12:40 am.

En el caso de la “Unidad Educativa Misión Geodésica”, tal como se muestra en la figura 63, el nivel más alto de contaminación outdoors fue de  $152 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en el día 3 hacia las 1:10 de la tarde.

La concentración de contaminación por material particulado fino en la “Escuela Werner Heisenberg” registró su punto más alto el día cuarto hacia las 12:10 de la mañana con  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , como se puede ver en la figura 64.

Una vez más, la “Escuela Fiscal 29 de Junio” es la que presenta picos más altos de PM 2.5  $\mu\text{m}$ . Para Li, et al., (2015) estas dimensiones de partículas no solamente son productos de la actividad industrial, sino también residencial, dando un aporte cada uno de un 50%. En su estudio realizado en Beijing, el nivel alarmante de contaminación fue de  $135.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , si se compara éste dato con los obtenidos en ésta investigación, se puede observar que las concentraciones en las escuelas de San Antonio de Pichincha sobrepasan dicho nivel en un 53%.

Derbyshire (2007), describe que el micro polvo mineral inhalado proveniente de fuentes como canteras, ha ocupado un 75% en peso del total de los pulmones. Por ello, las personas que están expuestas a un ambiente con concentración altas de PM 2.5  $\mu\text{m}$  son más vulnerables a adquirir problemas de respiración crónica. Para él, este tipo de particulado puede viajar más de 20000 km desde la fuente.

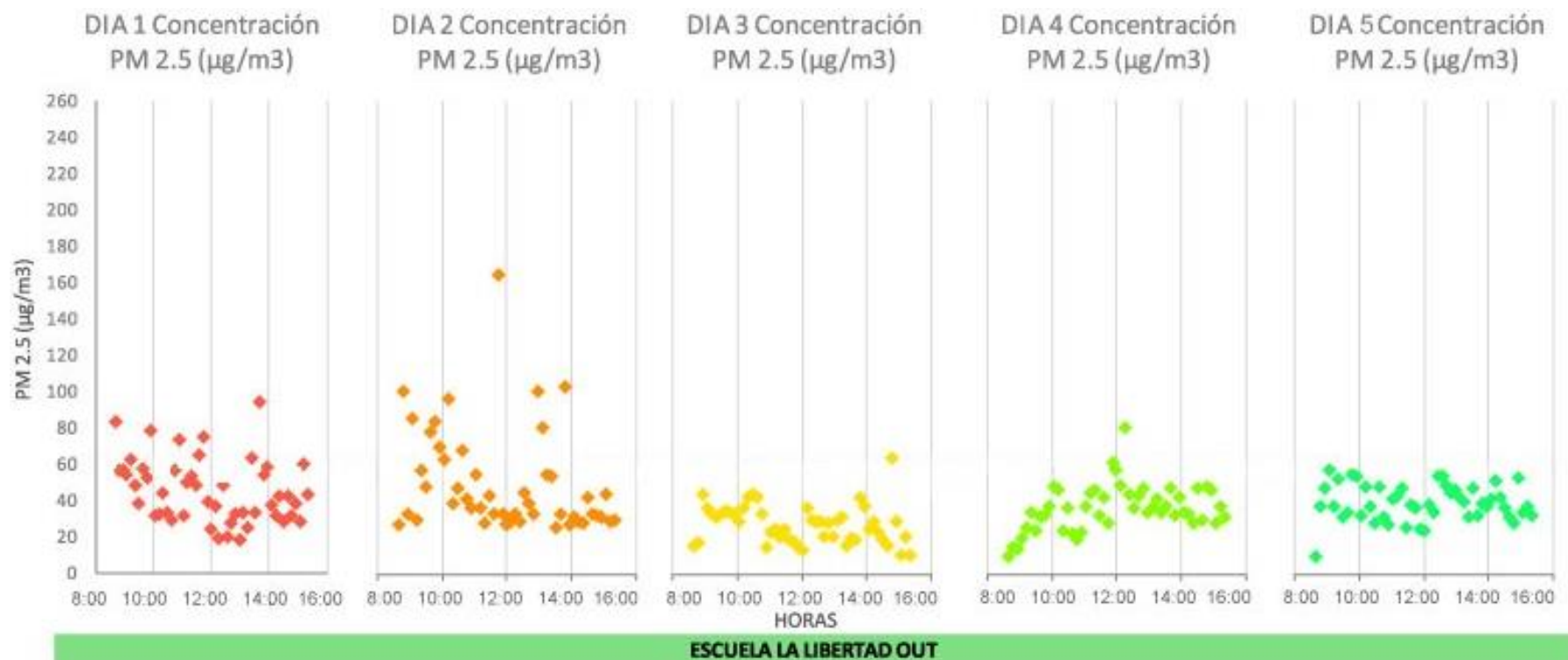


Figura 61. Tiempo de medición en (horas) de material particulado 2.5 µm (µg/m<sup>3</sup>) de la “Escuela La Libertad”, correspondiente al monitoreo fuera de las aulas (outdoors)

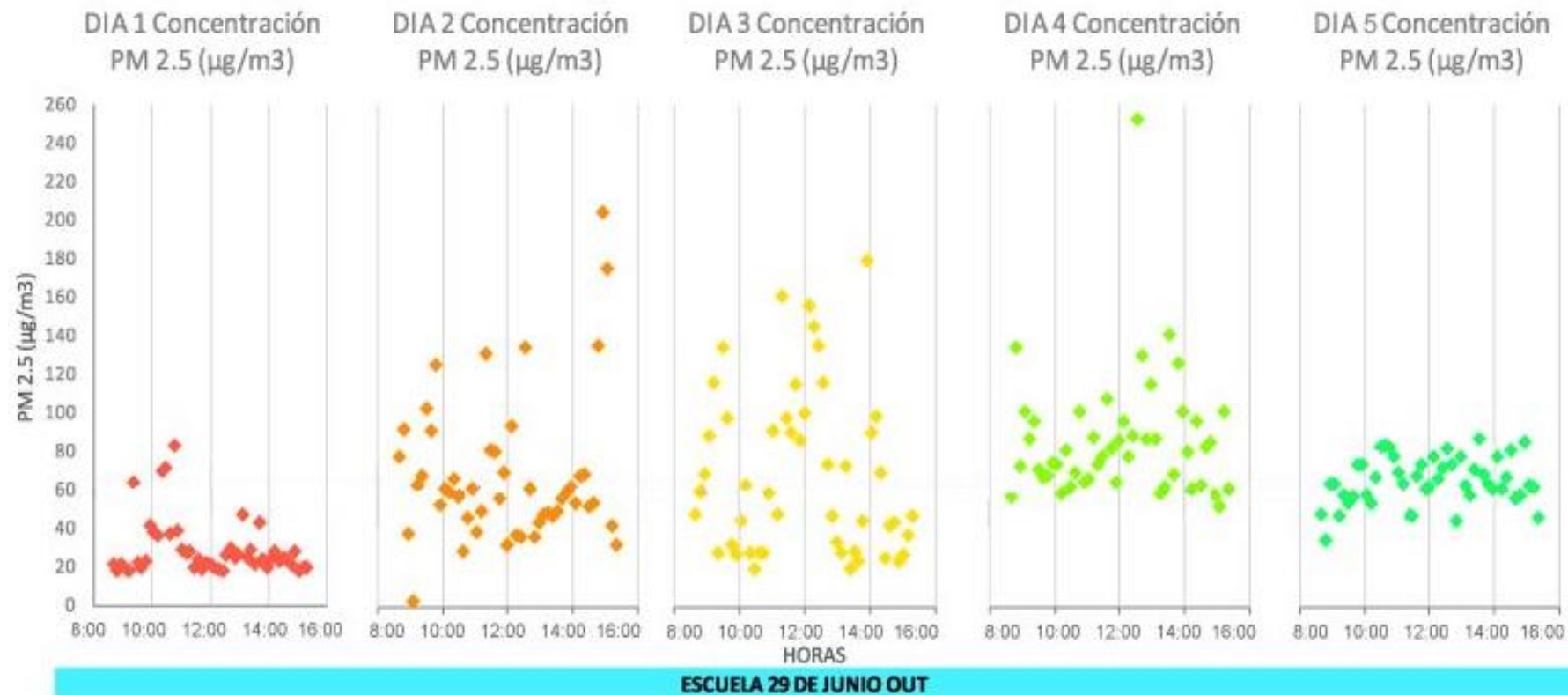


Figura 62. Tiempo de medición en (horas) de material particulado 2.5 µm (µg/m3) de la “Escuela Fiscal 29 de Junio”, correspondiente al monitoreo fuera de las aulas (outdoors)

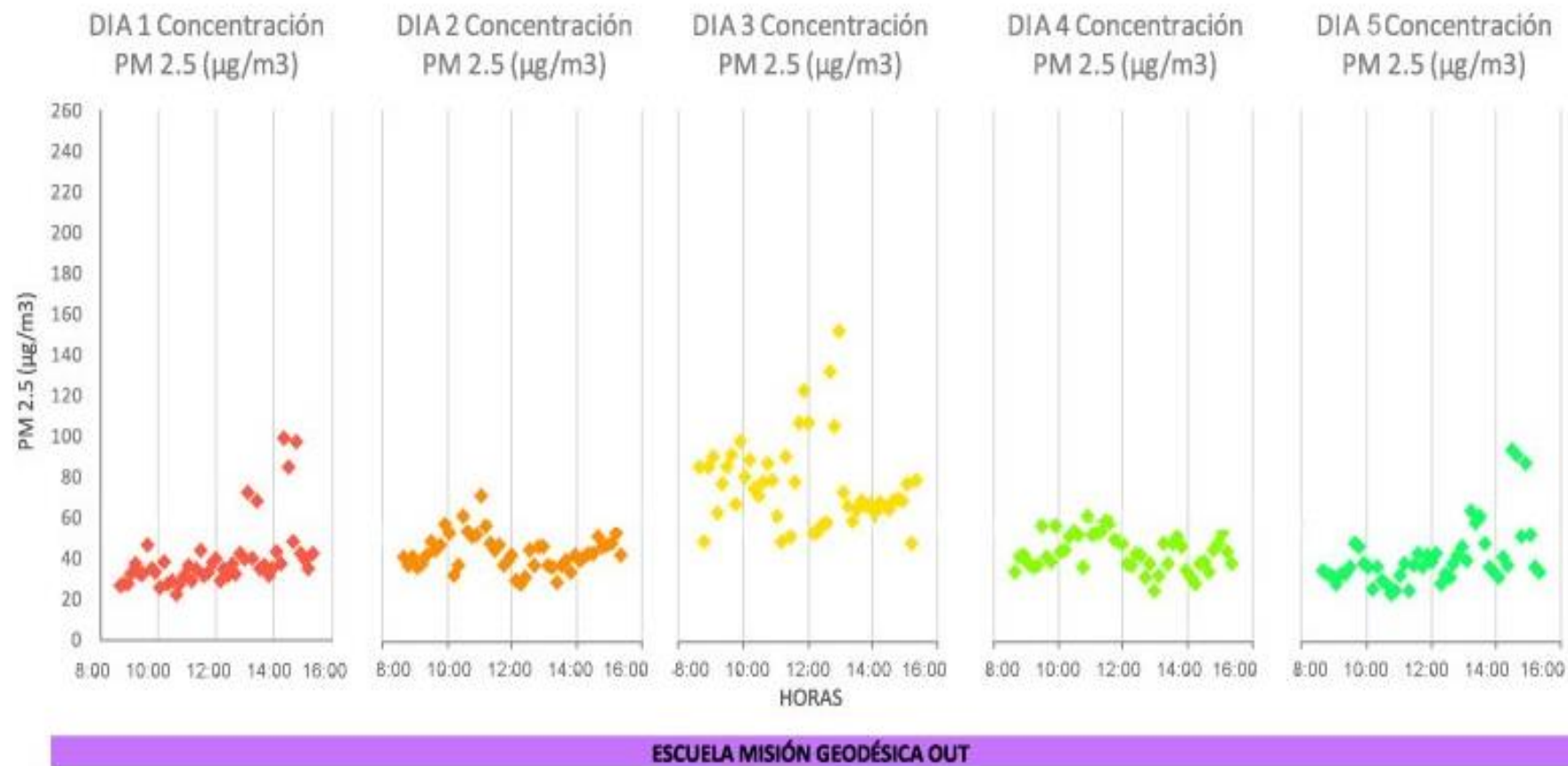


Figura 63. Tiempo de medición en (horas) de material particulado 2.5  $\mu\text{m}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de la “Unidad Educativa Misión Geodésica”, correspondiente al monitoreo fuera de las aulas (outdoors)

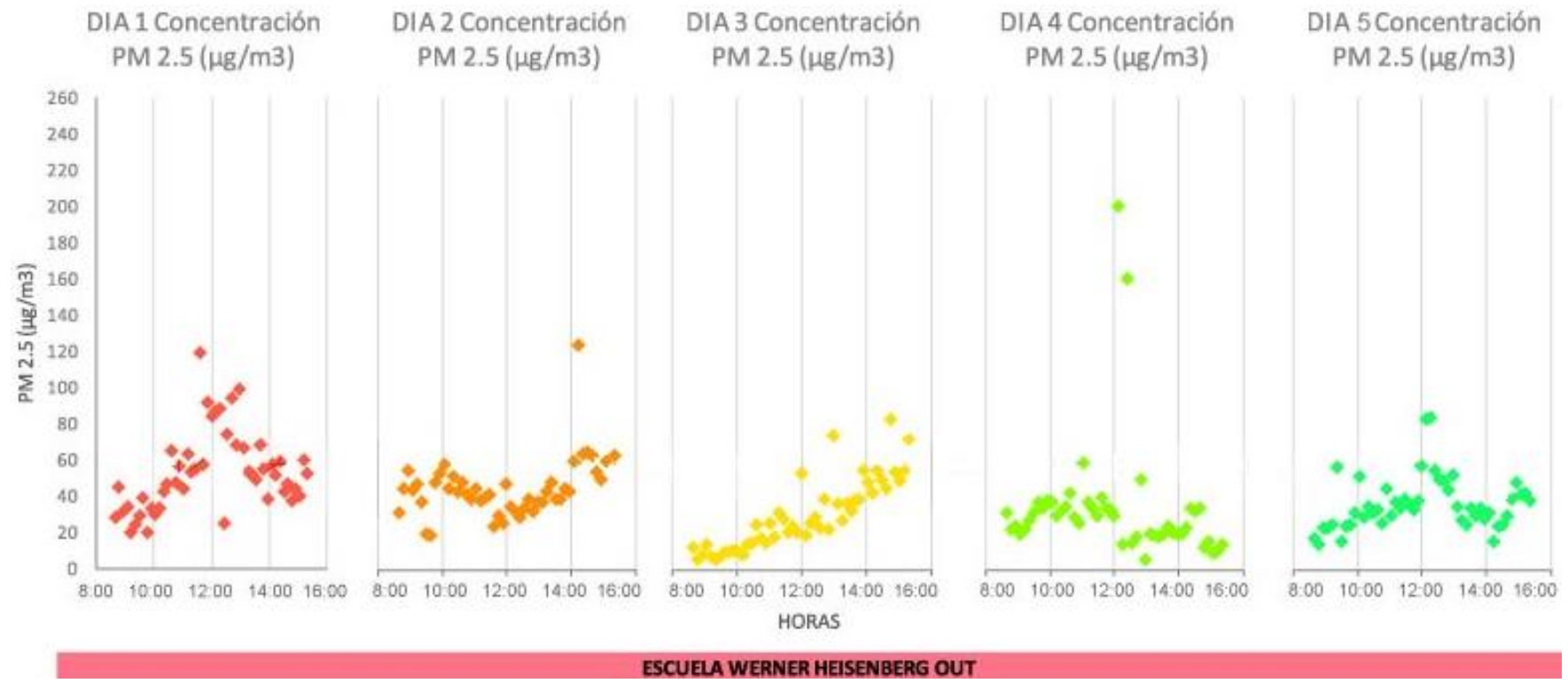


Figura 64. Tiempo de medición en (horas) de material particulado 2.5  $\mu\text{m}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de la “Escuela Werner Heisenberg”, correspondiente al monitoreo fuera de las aulas (outdoors)



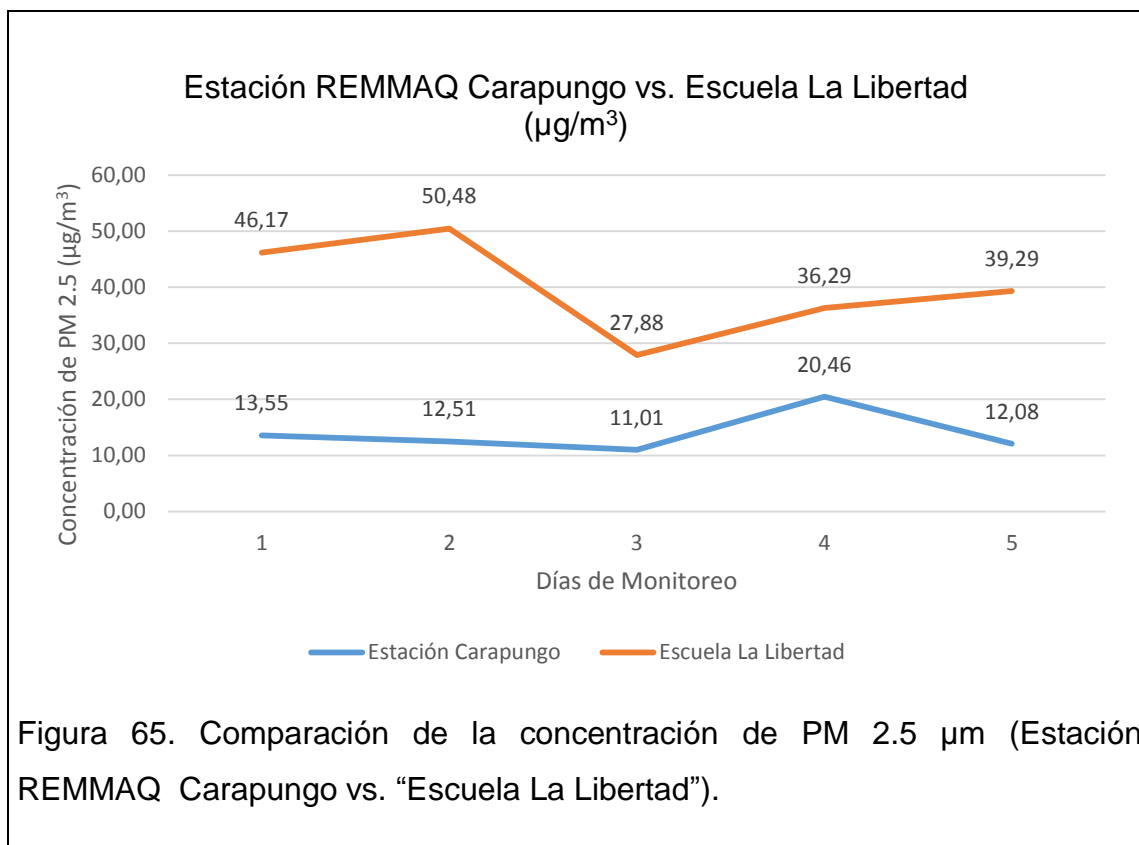
### **3.5.5. Comparación de valores medidos de concentración de PM 2.5 $\mu\text{m}$ con los generados por la estación de la Secretaría de Ambiente del DMQ.**

En esta sección se comparan los datos generados a través de la estación Carapungo de la Secretaría de Ambiente de DMQ y los obtenidos en la presente investigación cada 10 minutos durante 8 horas de monitoreo diario en los exteriores de las escuelas. Para una mejor apreciación de las variables, se han sacado los promedios por hora y luego por día de las concentraciones de PM 2.5  $\mu\text{m}$ .

A continuación se presentan 4 gráficos comparativos de las 4 escuelas monitoreadas versus la estación Carapungo:

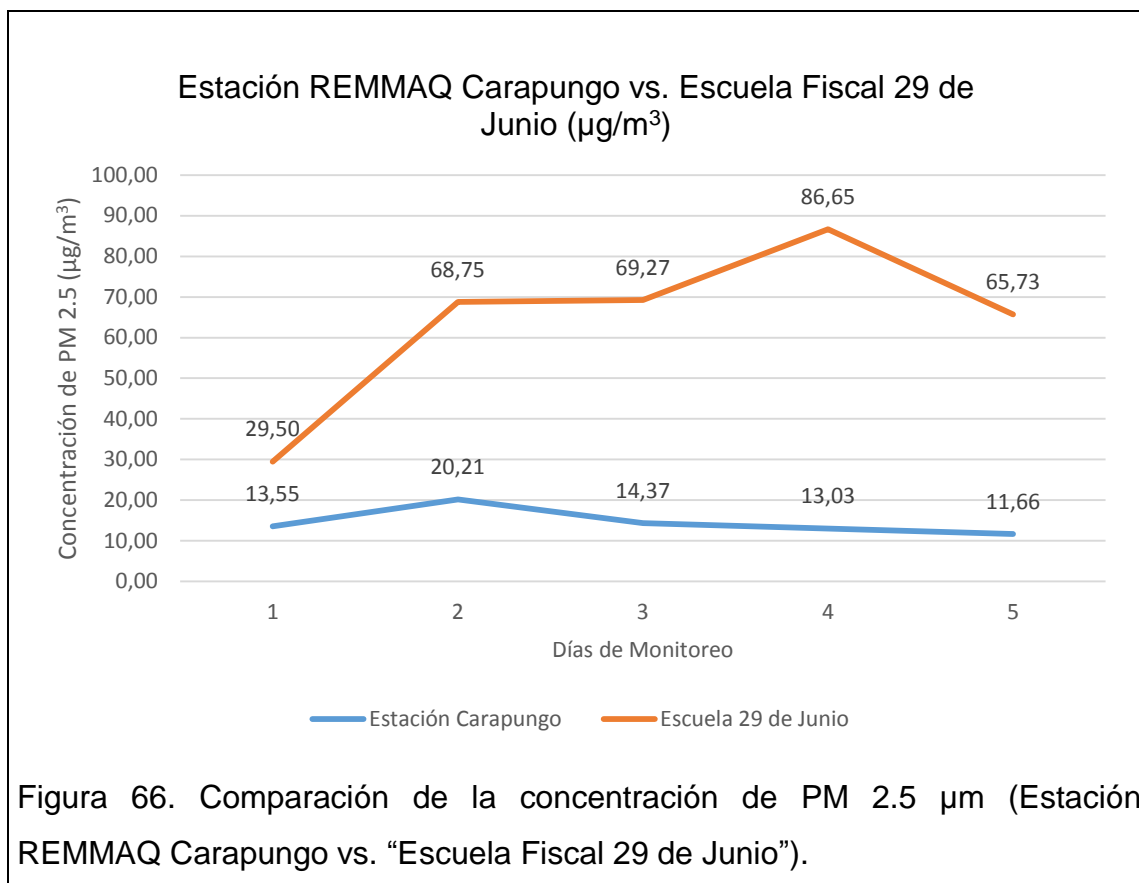
La figura 65 corresponde a las concentraciones medidas por la Secretaría de Ambiente en la estación Carapungo y las realizadas en la “Escuela La Libertad”. Es posible apreciar que el PM 2.5  $\mu\text{m}$  promediado de los 48 datos medidos diariamente, se mantiene más elevado en la escuela que en la estación, con un pico máximo el segundo día de 50.48  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Los siguientes días el comportamiento del contaminante aumenta simultáneamente en los dos puntos de monitoreo.

En comparación con el estudio hecho en los exteriores de escuelas de UK por Wheeler, Williams, Beaumont y Hamilton (2006) en donde el pico más alto fue de 22  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , las concentraciones registradas en el presente estudio son superadas en casi 30% más. Es posible que pase esto debido a la localización tan cercana de la escuela al sector de extracción minera, en comparación al estudio en UK mencionado, en donde la zona industrial estaba situada aproximadamente un 40% más lejana de las escuelas que en este estudio.



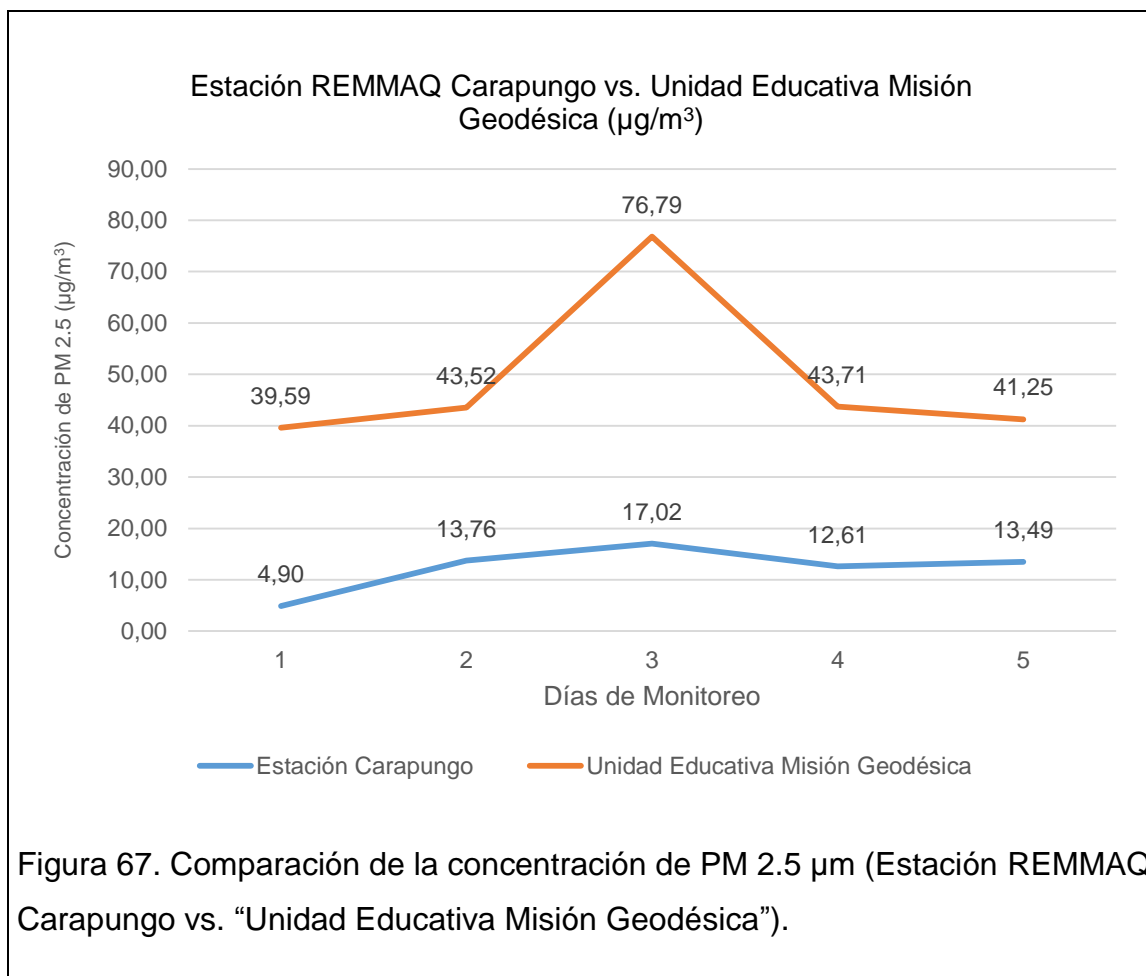
La figura 66 representa las concentraciones medidas en la estación Carapungo versus las de la “Escuela Fiscal 29 de Junio”. Las concentraciones medidas en la escuela son mayores a las de la estación. En estos dos sitios el material particulado se comporta durante el primero y segundo día de manera similar aumentando la concentración (en la escuela aumentando  $4.31 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y en la estación aumentando  $1.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Por otro lado, el día cuarto se evidencia una variación alta entre los puntos de mediación, ya que en la escuela se presenta un pico máximo de  $85,65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mientras que en la estación este día se registró uno de los picos más bajos con  $13.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Ésta desigualdad de datos, se los atribuye al tipo de emisión fugitiva dentro de un área urbana y su diferencia en un área rural (Pouliot, 2012). Puesto que la estación se encuentra en el perímetro urbano, es obvio creer que las concentraciones no serán similares a las medidas en las escuelas situadas en un área rural.

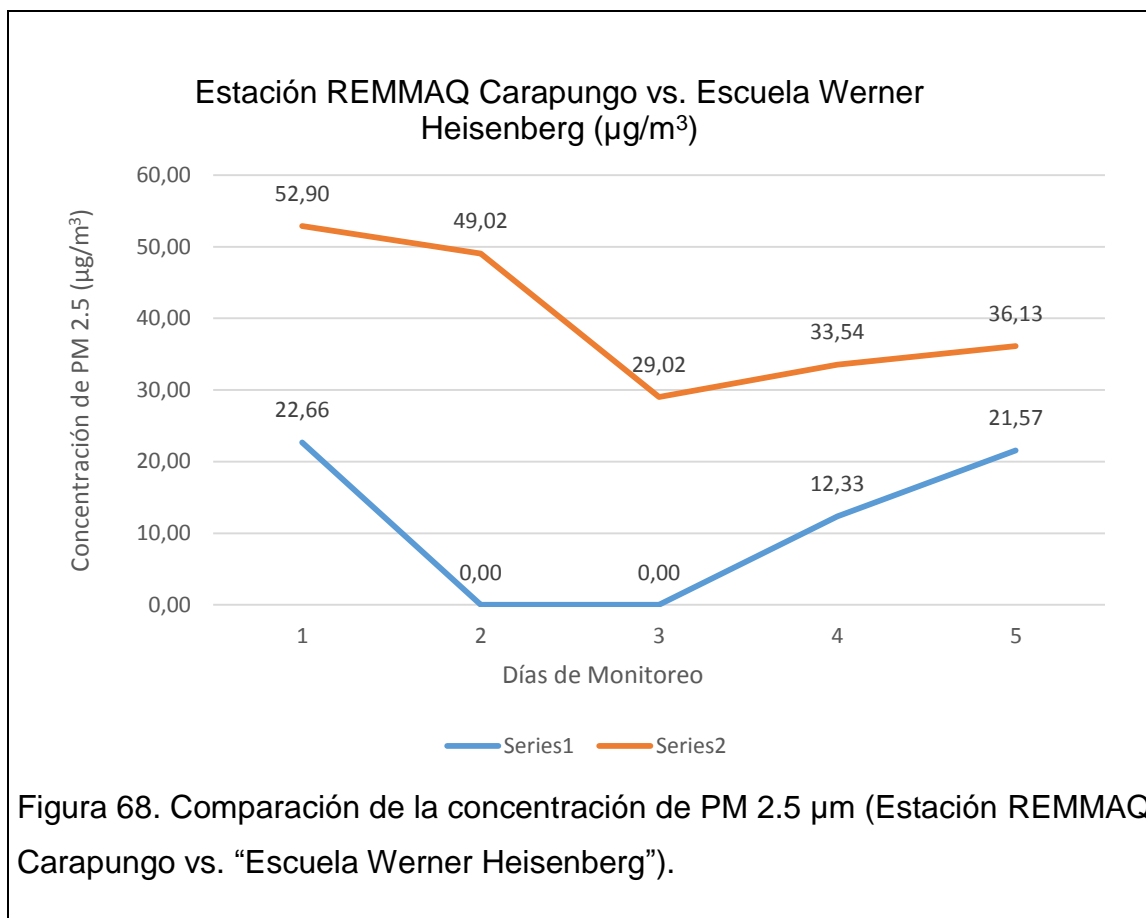


La figura 67 se refiere a la comparación de concentraciones entre la estación Carapungo y la “Unidad Educativa Misión Geodésica”. Esta gráfica nuevamente dibuja los valores más elevados en la Unidad Educativa. Durante ésta medición, el comportamiento del contaminante hasta el día 4 fue similar, evidenciando el día 3 un variación significativa respecto a la medición en la estación, ya que se presenta un pico máximo de  $76.79 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en la institución educativa y un pico máximo en la estación de  $17.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

En un estudio asociado a metales en el material particulado fino de fuentes industriales en Turquía, se determinó que el valor máximo de concentración de PM 2.5  $\mu\text{m}$  medido diariamente es aproximadamente  $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , además este valor está ampliamente correlacionado con la concentración de PM 10  $\mu\text{m}$ , es decir que los dos tipos de PM son directamente proporcionales, además esta asociación aumenta en épocas de calor, tal como se puede evidenciar en los registros analizados en la presente investigación. (Kendall, Pala, Ucakli y Gucer, 2011)



En la figura 68 se muestra la comparación de la estación Carapungo con la “Escuela Werner Heisenberg”. En éste caso no se dispone de los datos de los días 2 y 3 de medición de la estación ya que no fueron registradas por los detectores de PM fino y por éste motivo se representa como cero éstos promedios. Sin embargo, es posible notar una vez más, que las concentraciones en la escuela son mayores a las de la estación Carapungo. Teniendo así la escuela un pico máximo de  $52.90 \mu\text{g}/\text{m}^3$  el primer día de medición. El comportamiento del PM 2.5  $\mu\text{m}$  parece ser igual en los dos puntos de monitoreo, ya que las tendencias lineales son similares.



### 3.5.6. Evaluación del PM 2.5 $\mu\text{m}$ respecto a las variables meteorológicas

Este análisis se realizó con las variables meteorológicas de velocidad del viento (m/s), temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), humedad relativa (%) y punto de rocío ( $^{\circ}\text{C}$ ) medidas simultáneamente con la concentración de material particulado fino cada 10 minutos durante 8 horas por todos los días de monitoreo. Se utilizó el coeficiente de correlación de Person para poder conocer la medida de similitud entre las muestras de cada variable. Este coeficiente de asociación es una covarianza utilizada estadísticamente para determinar si existe una relación lineal entre dos variables. (Cáceres, 2007, pp. 562)

Se tomaron como variables independientes a las características climatológicas, ya que lo que se busca, es determinar si de éstas depende la concentración de PM 2.5  $\mu\text{m}$ .

Para la realización de los gráficos se utilizaron los promedios de los 48 datos diarios de cada variable.

#### **a) Contaminación outdoors en la “Escuela la Libertad”**

La concentración del aerosol atmosférico registrado con respecto a la variable de la velocidad del viento, durante los 5 días de monitoreo fuera de las aulas de la escuela, tiene una correlación positiva fuerte de 0.6012, lo que significa que mientras más velocidad de viento hay, más concentración de particulado existe, tal como lo menciona Derbyshire (2007) en su estudio de análisis de micro polvo minerogénico natural.

En cuanto a la temperatura, la correlación sigue siendo positiva fuerte con un  $r^2$  de 0.637. En este caso, la pendiente de la recta es negativa, lo que quiere decir que mientras más temperatura hay, la concentración del contaminante baja. Así mismo en un estudio en la ciudad de Ankara realizado por Genc, Yesilyurt y Tuncel (2009) la concentración más alta del PM se dio en temporadas de temperatura baja y no en las épocas de verano.

Por otro lado, la humedad relativa o cantidad de agua transportada en el aire tiene una pendiente similar a la velocidad del viento, además de una correlación positiva fuerte de 0.6862 respecto al PM 2.5  $\mu\text{m}$ . Lo que difiere a lo determinado por Clavijo (2006) en donde su estudio demuestra que la humedad relativa debería tener una relación inversa entre las variables.

Finalmente el punto de rocío presenta un coeficiente de correlación positivo débil de 0.2963, lo que probablemente signifique que la concentración de PM 2.5  $\mu\text{m}$  puede permanecer en el aire durante largo tiempo, sin que la temperatura del punto de rocío intervenga en su comportamiento. Esto coincide con la investigación de Castro et al., (2010) en donde la relación del punto de rocío es también directamente proporcional a la concentración de PM 2.5  $\mu\text{m}$ .

Las gráficas descriptivas para lo mencionado anteriormente se encuentran en la figura 69.

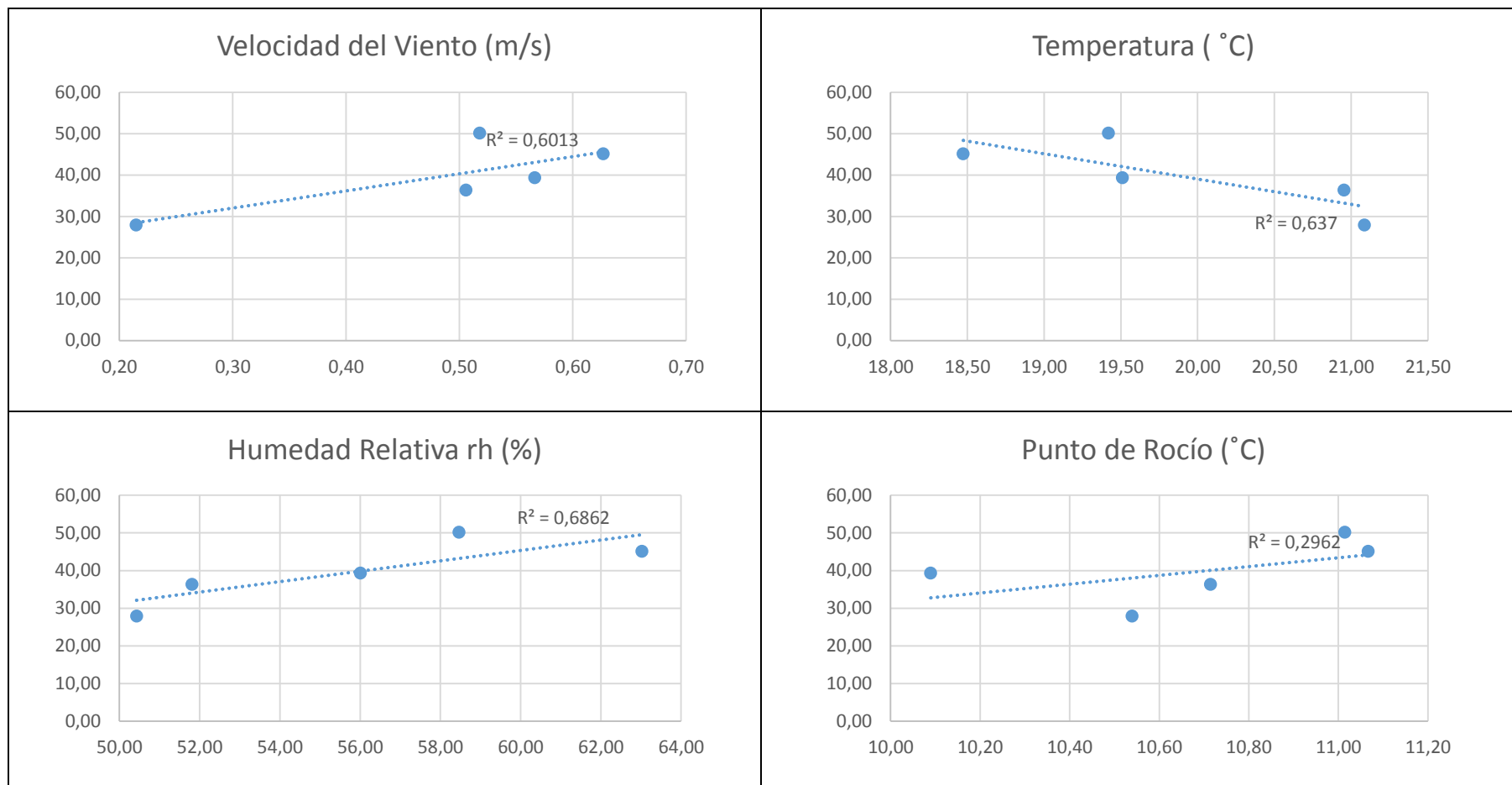


Figura 69. Correlación entre las variables meteorológicas y la concentración de PM 2.5 μm afuera de las aulas de la “Escuela la Libertad”.

## **b) Contaminación indoors en la “Escuela la Libertad”**

La relación lineal de la variable de velocidad del viento y la concentración indoors durante los 5 días de monitoreo genera un  $r^2$  de 0.2118, es decir una correlación positiva baja, que significa que dentro del aula la contaminación no depende de las características climáticas del viento. Esto se produce debido al régimen de circulación del aire dentro de las clases, por falta de ventilación, como lo señala Gaidajis y Angelakoglou (2009), características que se evidenciaron en dicha escuela.

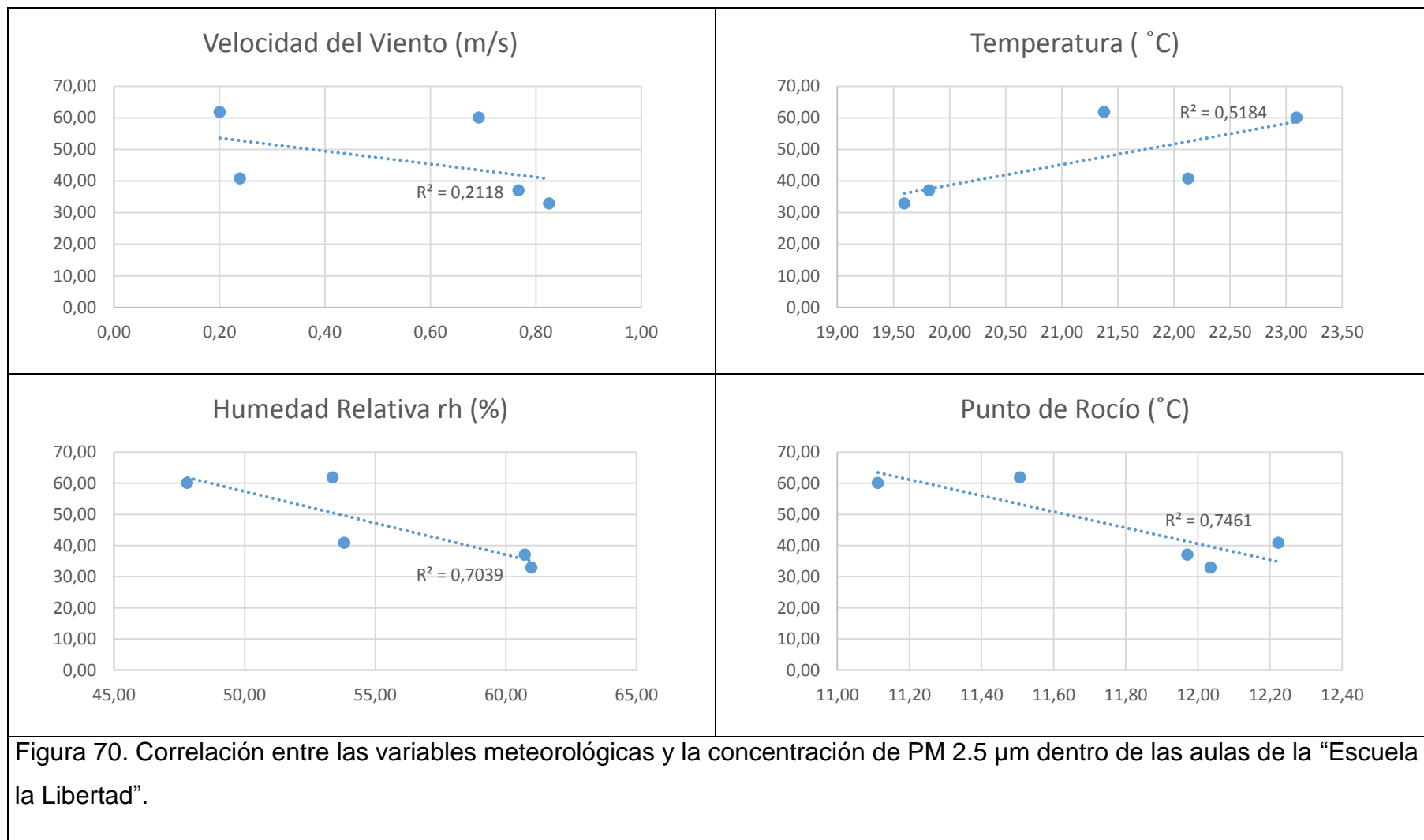
La temperatura, al contrario de la velocidad del viento, si tiene un valor de correlación positivo moderado de 0.518, por lo tanto, esta variable si puede llegar a incidir en la concentración dentro de las aulas de la escuela “La Libertad”. Según Trancoso et al., (2012) este tipo de comportamiento es resultado de la poca recirculación del aire dentro del aula, así que es probable que la concentración medida fuera generada insitu y no necesariamente por fuentes externas, en este caso por las canteras.

El coeficiente de relación de la humedad relativa y el contaminante sugiere una correlación positiva fuerte de 0.7039, aunque su pendiente sea negativa, es decir que a medida que la humedad relativa desciende, la concentración de material particulado fino asciende, tal como se puede ver en la figura 66. Este tipo de correlación también es mostrado por Gupta, Nag y Mukhopadhyay (2006), en su estudio la correlación de rh y PM es perfecta de 1.

Por último, la relación lineal del punto de rocío con el aerosol en estudio, muestra una gráfica similar a la humedad relativa y a la velocidad del viento, con un  $r^2$  de 0.761 de correlación positiva fuerte. Ya que el punto de rocío depende de la humedad relativa, es coherente determinar que éstas dos variables se comportan similarmente respecto al PM. (METAS, 2007)

Las gráficas descriptivas se encuentran en la figura 70.





### c) Contaminación outdoors en la “Escuela Fiscal 29 de Junio”

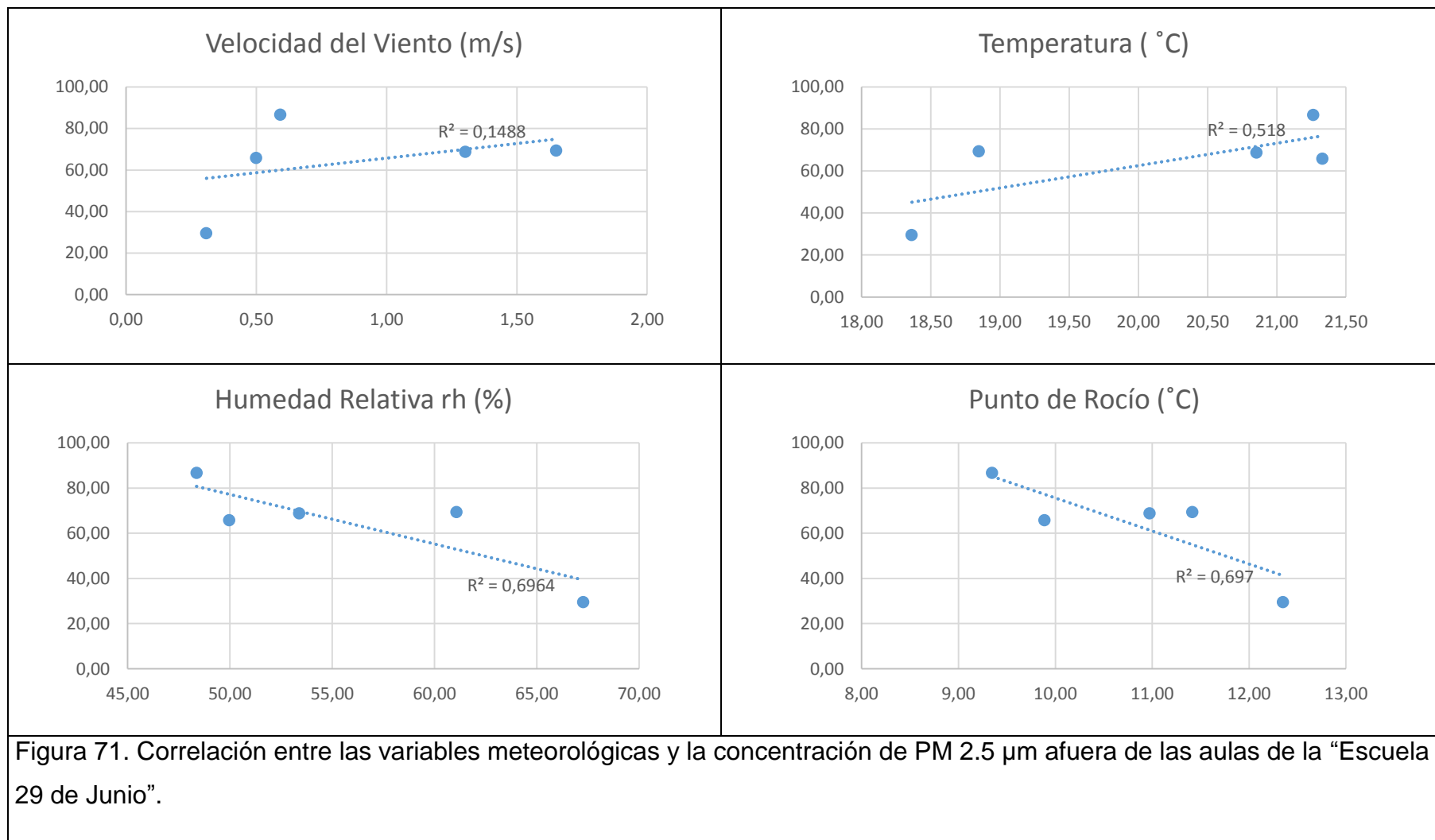
La correlación de la velocidad del viento es positiva y débil de 0.1488 con respecto a la concentración del aerosol durante los 5 días de muestreo fuera de las aulas en la “Escuela Fiscal 29 de Junio”. Lo que quiere decir que el material particulado aquí no depende de este factor meteorológico. Este resultado difiere a las observaciones de Genc, Yesilyurt y Tuncel (2009), donde la relación entre éstas variables es estadísticamente significativa en un 95% cuando la velocidad del viento es igual o mayor a 3 m/s.

La temperatura es proporcional a la concentración del contaminante en la escuela, teniendo como coeficiente de Pearson 0.518 o correlación positiva moderada. En éste caso, si la temperatura aumenta, también lo hace la concentración del PM 2.5  $\mu\text{m}$ . Por el contrario Braniš, Šafránek y Hytychová (2011) determinaron que este tipo de PM aumenta, si la temperatura baja, lo que indica la habilidad de éste diámetro aerodinámico de penetrar a áreas indoors de baja ventilación natural.

Existe una correlación positiva fuerte de 0.6964 con las variables de humedad relativa y concentración del material particulado. Ésta vez la gráfica correspondiente (figura 71) dibuja una pendiente negativa, que infiere en que si la humedad relativa aumenta, la concentración disminuye. Este comportamiento es igual al de la “Escuela la Libertad”. Este factor puede explicar la resuspensión de partículas al ambiente en condiciones ambientales secas y calientes y documenta que a diferencia de las partículas finas las gruesas tienen diferentes fuentes de interior y exterior. (Braniš et al., 2011)

El punto de rocío en este caso es igual a la correlación de la humedad relativa, siendo ésta de 0.697 con pendientes negativas. Lo que concuerda con lo determinado por Gietl y Klemm (2009), en su análisis, la influencia de éstas variables en el PM fueron fuertes, mientras la estabilidad atmosférica era débil.

En la figura 71 se puede apreciar gráficamente lo antes dicho.



#### **d) Contaminación indoors en la “Escuela Fiscal 29 de Junio”**

La relación lineal entre la velocidad del viento y la contaminación dentro de las aulas de la “Escuela Fiscal 29 de Junio” tiene un coeficiente de relación fuerte de 0.724. Muy diferente a la situación de la “Escuela La Libertad”, dado que en ésta última la correlación es débil, aunque la pendiente es la misma. Esto significa que sin circulación de aire dentro del aula, la concentración del particulado aumentará, tal como lo exponen Gaidajis y Angelakoglou (2009) en su estudio de calidad de aire indoors en clases universitarias de Grecia.

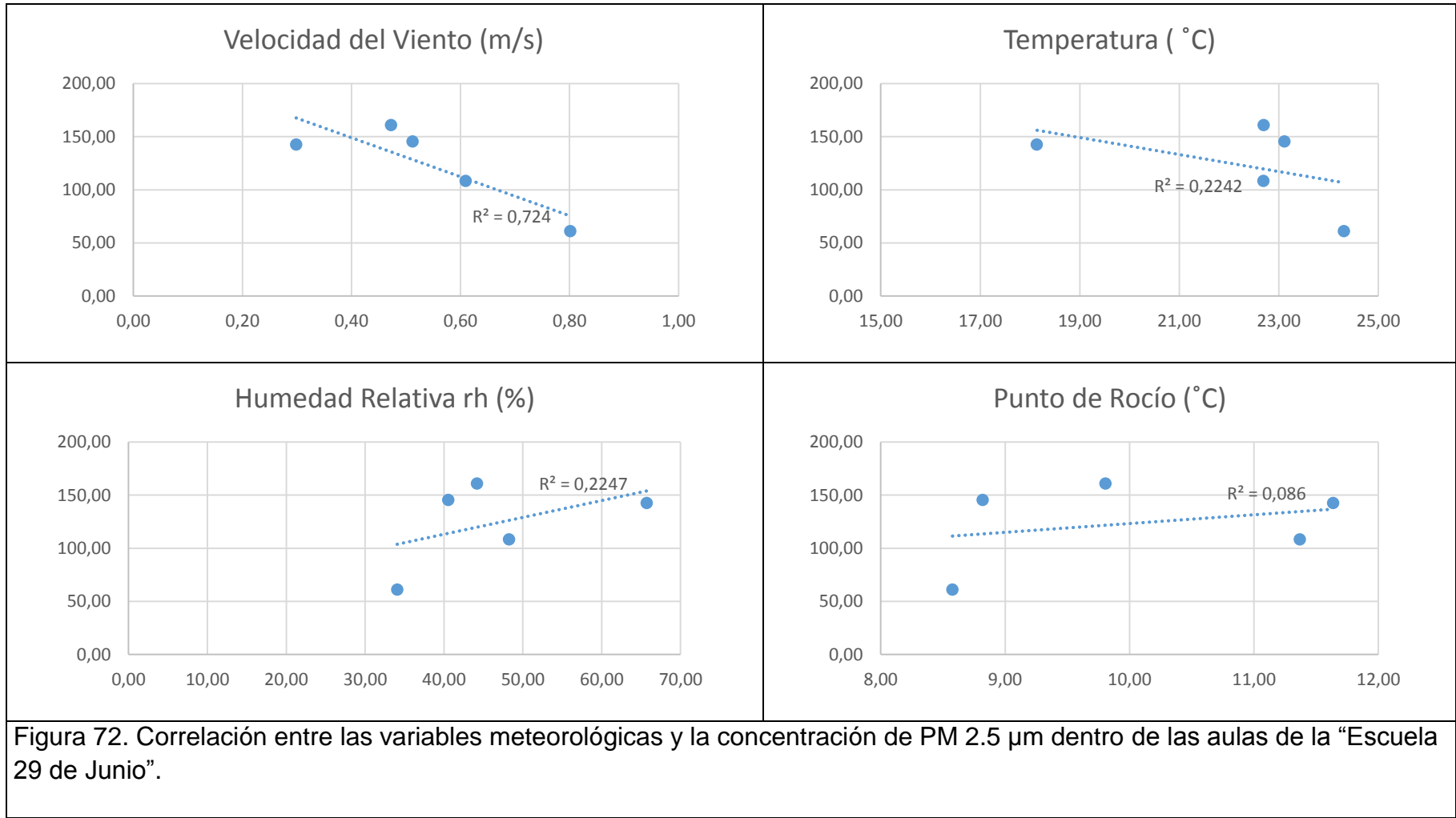
La temperatura por otro lado, tiene una correlación débil positiva de 0.2242 y una pendiente negativa, que difiere a la gráfica de escuela La Libertad. Lo que concuerda a las observaciones hechas por Yong, Jianeng, Jing y Dan, (2015).

Lo mismo sucede con la humedad relativa con 0.2247 de coeficiente de Pearson, pero con una pendiente positiva, también diferente a la escuela antes analizada. Lo que si concuerda con el análisis realizado por Clavijo (2006).

El punto de rocío tiene una muy débil correlación con la concentración PM 2.5  $\mu\text{m}$ , con un  $r^2$  de 0.086. Con una pendiente positiva proporcional, es decir que la variable meteorológica no influye en lo que sucede dentro del aula.

En general en este caso se puede decir que las variables meteorológicas no influyen en la contaminación indoors de la escuela. Siendo así otros factores posibles de incidencia, como la actividad de los niños dentro del aula, los materiales usados en clase, presencia de virus y bacterias, o concentración acumulada del contaminante de días anteriores. (Buiarelli et al., 2015)

La figura 72 muestra lo antes mencionado.



### **e) Contaminación outdoors en la “Unidad Educativa Misión Geodésica”**

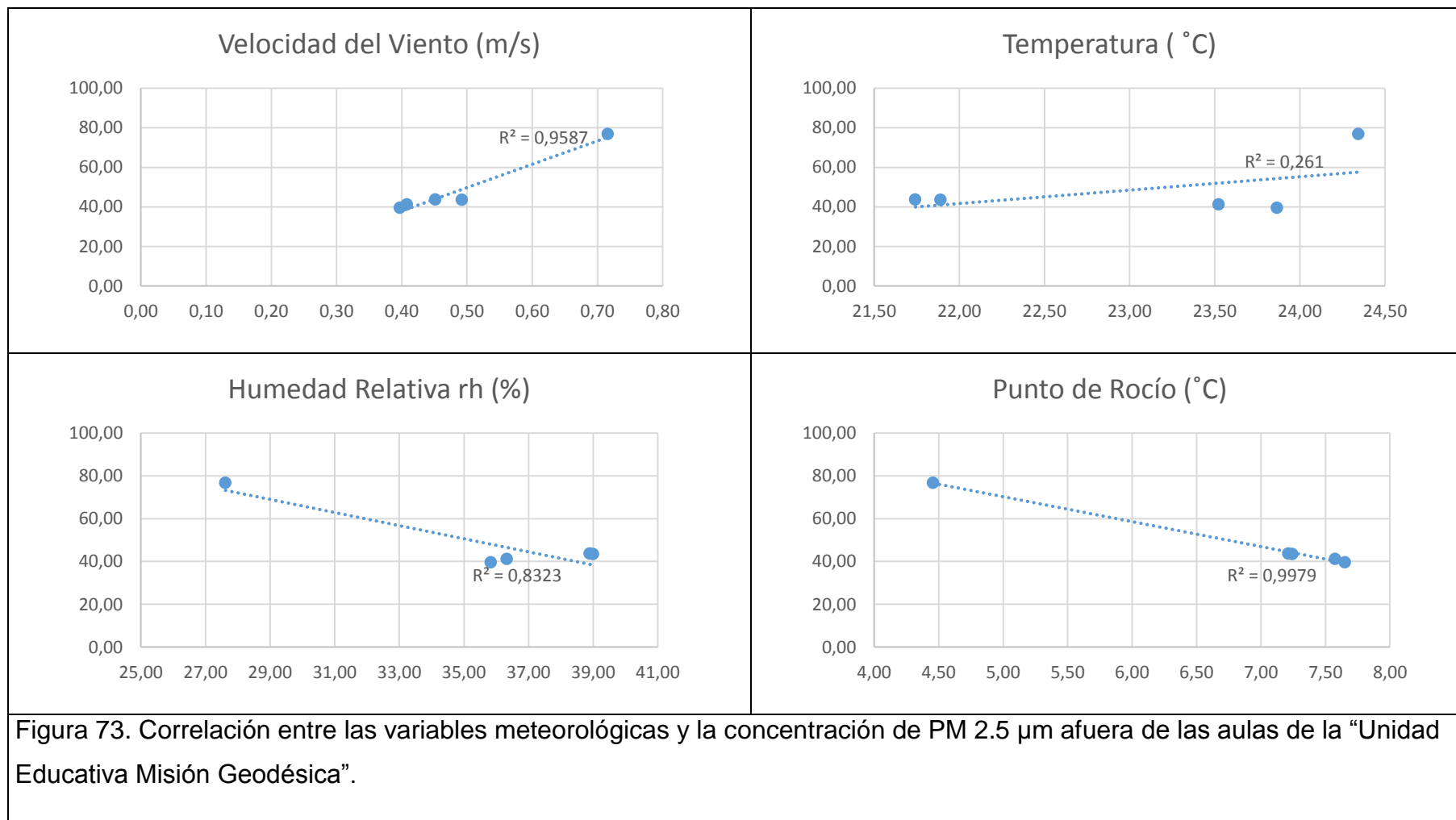
El coeficiente de relación entre la velocidad del viento y la concentración del particulado es muy alta de 0.9587, llegando casi a una correlación positiva perfecta, también se puede evidenciar una pendiente positiva, como se ha visto en las anteriores escuelas. Es por este motivo que Gautam, Byrd, Carder, Banks y Lyons (2008) en su estudio se basan en los análisis de dirección y velocidad del viento para describir la opacidad atmosférica producida por las emisiones de material particulado, ya que dan una visualización amplia de los efectos del viento sobre el PM.

En cuanto a la temperatura, existe una pendiente positiva al igual que en “Escuela Fiscal 29 de Junio”, pero aquí la correlación es débil con 0.261 respecto al contaminante. Es decir que la relación es inversa, como en el estudio realizado en México por Muñoz, Carmona, Pedroza y Granados (2006, pp. 8) en donde la correlación entre la temperatura y la concentración de PM fino también era inversamente proporcional.

La humedad relativa también presenta una pendiente igual a la escuela anterior. En ésta ocasión la correlación es positiva fuerte de 0.8323. En cuanto la humedad relativa aumenta, la concentración disminuye, lo que difiere en la investigación de Muñoz et al. (2006), donde el PM 2.5  $\mu\text{m}$  desciende junto a la rh (%).

El punto de rocío es también fuertemente correlacionado casi perfectamente con  $r^2$  de 0.9979. La pendiente al igual que la escuela anterior es negativa. Es decir que, si el punto de rocío baja, la concentración sube. Esta variable meteorológica puede afectar al ácido sulfúrico encontrado en el PM en un 50%. Es por esto que la relación es negativa, ya que prácticamente no afecta al comportamiento del PM en gran proporción, sino a otros componentes químicos en la atmosfera. (CFR, 2012)

En la figura 73 se visualiza de forma gráfica lo mencionado.



**f) Contaminación indoors en la “Unidad Educativa Misión Geodésica”**

En este análisis se pudo evidenciar la correlación positiva más débil de todo el estudio respecto a la velocidad del viento y la concentración de material particulado fino, teniendo un valor de 0.0033. Para Sarah (2013) cuando no existe un buen sistema de ventilación dentro de un lugar, la concentración de la partículas dependen del diseño de la edificación para que pueda infiltrarse el PM.

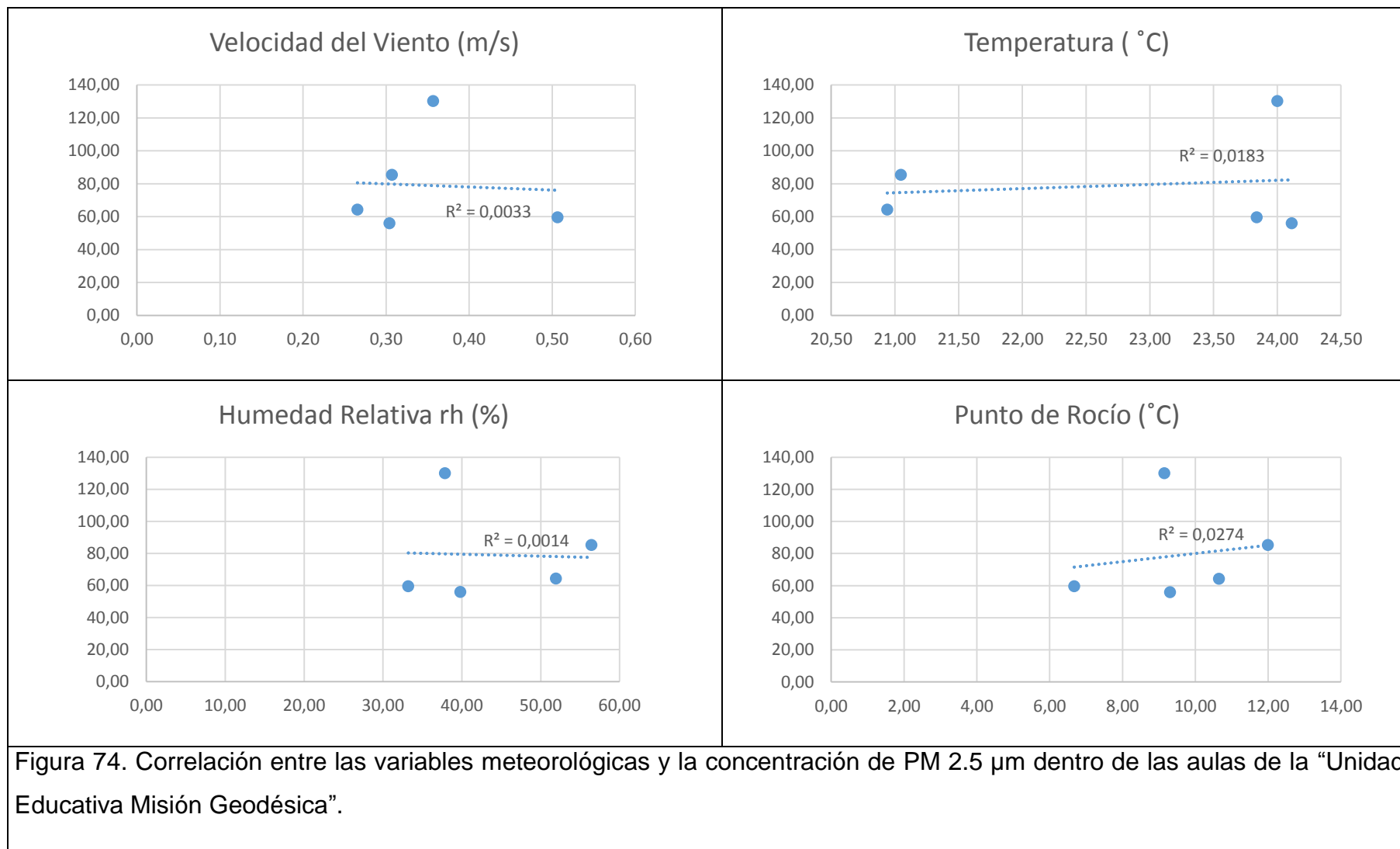
La temperatura también tiene una correlación positiva débil de 0.0183.

Lo mismo pasa con la humedad relativa con 0.0014 y el punto de rocío con 0.0247.

Esto significa que el contaminante dentro del aula no presenta gran influencia con las variables meteorológicas medidas durante los 5 días de monitoreo indoors en ésta unidad educativa. (Alshitawi, Awbi y Mahyuddin, 2009)

La figura 74 indica gráficamente lo mencionado.





### **g) Contaminación outdoors en la “Escuela Werner Heisenberg”**

Durante el monitoreo en el patio de la “Escuela Werner Heisenberg” se determinó que la velocidad del viento tiene una correlación positiva débil de 0.417 respecto al particulado, con una pendiente negativa que indica que a medida que la velocidad del viento aumenta, disminuye la concentración de PM. Esto pasa también en estudios realizados anteriormente. Por ejemplo Csavina et al. (2014) hallaron que las concentraciones del aerosol en investigación no están directamente relacionadas entre la velocidad del viento y la concentración de PM, sin embargo, ésta última tiende a aumentar con velocidades mayores a 4 m/s.

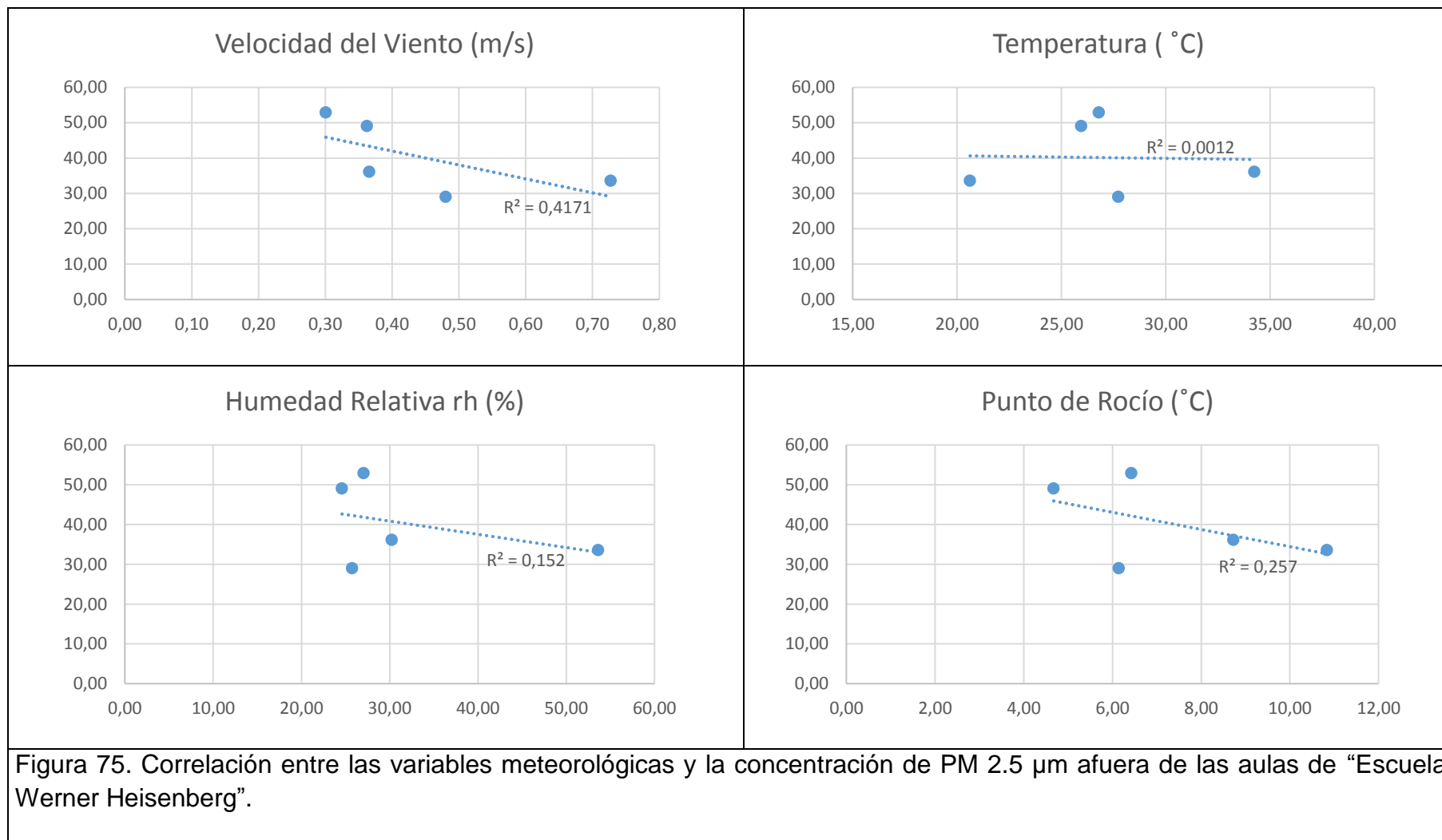
En cuanto a la temperatura la relación lineal existente es casi nula de 0.0012, como sucede en los ambientes indoors en la “Unidad Educativa Misión Geodésica”. Esto puede darse cuando la temperatura se mantiene relativamente constante durante el día según Csavina et al. (2014)

La humedad relativa aumenta un poco la relación lineal con 0.152, pero ésta sigue siendo débil. Al igual que Vajanapoom, Shy, Neas y Loomis (2006) cuyo estudio concluye que la rh es inversamente proporcional al material particulado.

Por último la correlación con el punto de rocío es de 0.257, que también significa que esta variable no incide en la concentración del contaminante.

Es probable que la concentración de PM 2.5  $\mu\text{m}$  en este caso tenga relación directa con las canteras del sector, pero debido a su ubicación cercana a la carretera, la escuela podría también estar siendo afectada por el PM fino proveniente del parque automotor.

La figura 75 muestra lo antes dicho.



#### **h) Contaminación indoors en la “Escuela Werner Heisenberg”**

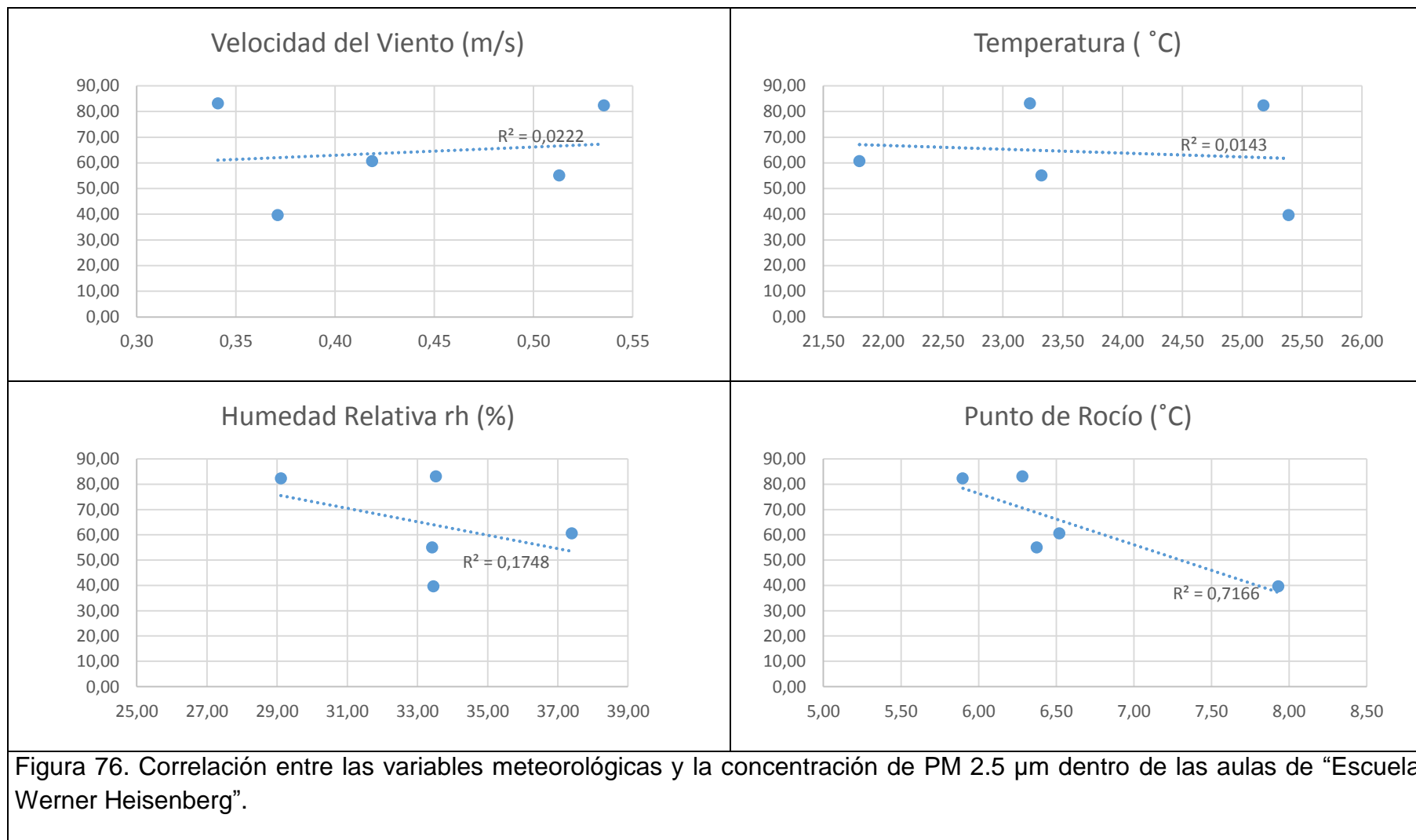
Al igual que el análisis outdoors, la contaminación indoors en esta escuela presenta una correlación positiva débil de 0.022 con respecto a la velocidad del viento. Al igual que lo mencionado anteriormente, esto se debe a la falta de ventilación de las aulas. Los bioaerosoles, bacterias, esporas de hongos, metales, etc., que están concentrados en forma de PM fino, usualmente son arrastrados hacia los interiores de las edificaciones desde fuentes externas y permanecen allí por largos períodos de tiempo. (Tan y Zhang, 2006)

La temperatura al parecer tampoco tiene relación lineal con el aerosol en estudio, ya que presenta una correlación débil de 0.143. Sin embargo en el estudio de Grau-Bové y Strilic (2013) se encontró que a 50 °C existen concentraciones de hasta 2500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , que es una cifra muy elevada si se compara con los límites permisibles de la EPA (2016) de 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en 24 horas y hasta 1535  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en 1 año.

La humedad relativa continúa teniendo correlación débil de 0.178, la igual que lo que se suscita en la “Escuela Fiscal 29 de Junio” y en la “Unidad Educativa Misión Geodésica”.

Por último, el punto de rocío parece tener influencia en la concentración de PM 2.5  $\mu\text{m}$  dentro del aula de la escuela “Werner Heisenberg”, con una correlación positiva fuerte de 0.7166 y su pendiente sigue siendo negativa al igual que en los anteriores casos.

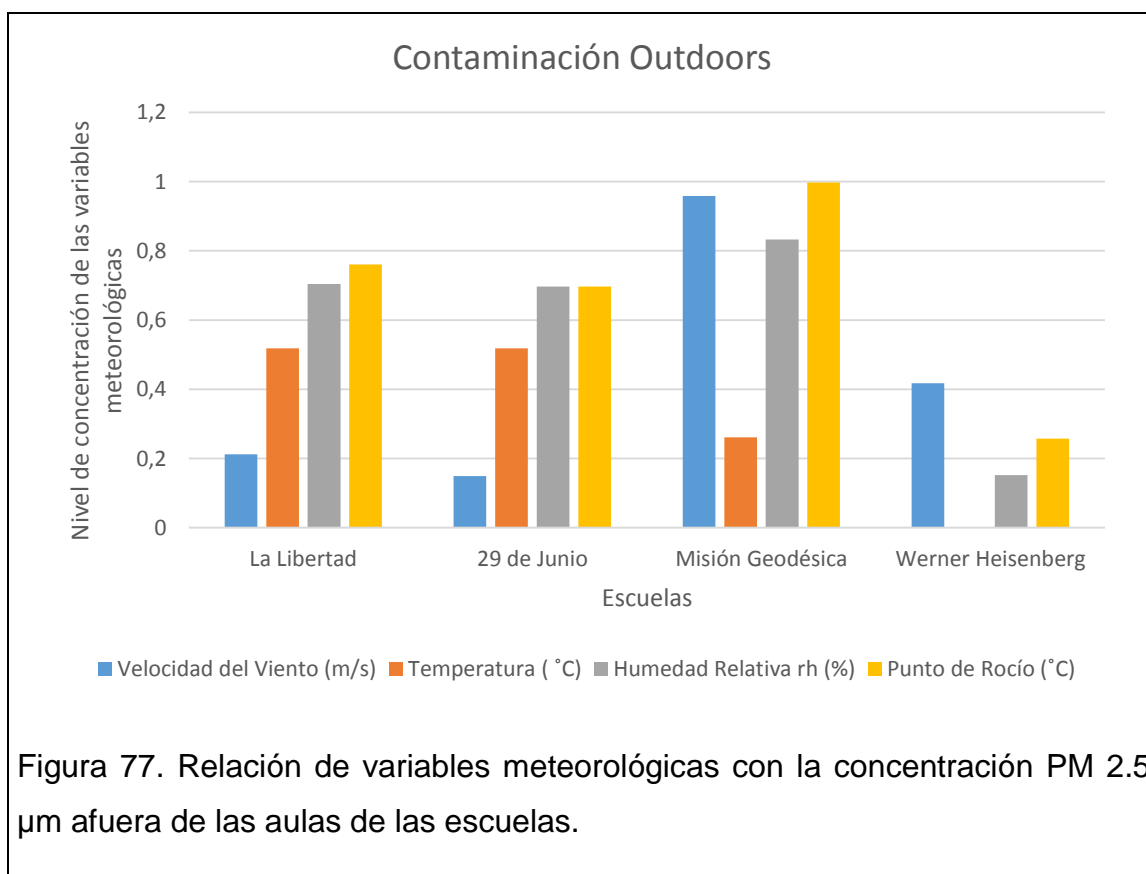
El análisis descrito lo muestra la figura 76.



### 3.5.6.1. Incidencia de las variables meteorológicas respecto al PM 2.5 $\mu\text{m}$

En esta sección se muestra cuál fue la variable meteorológica más influyente en la concentración del aerosol en estudio, según las correlaciones realizadas.

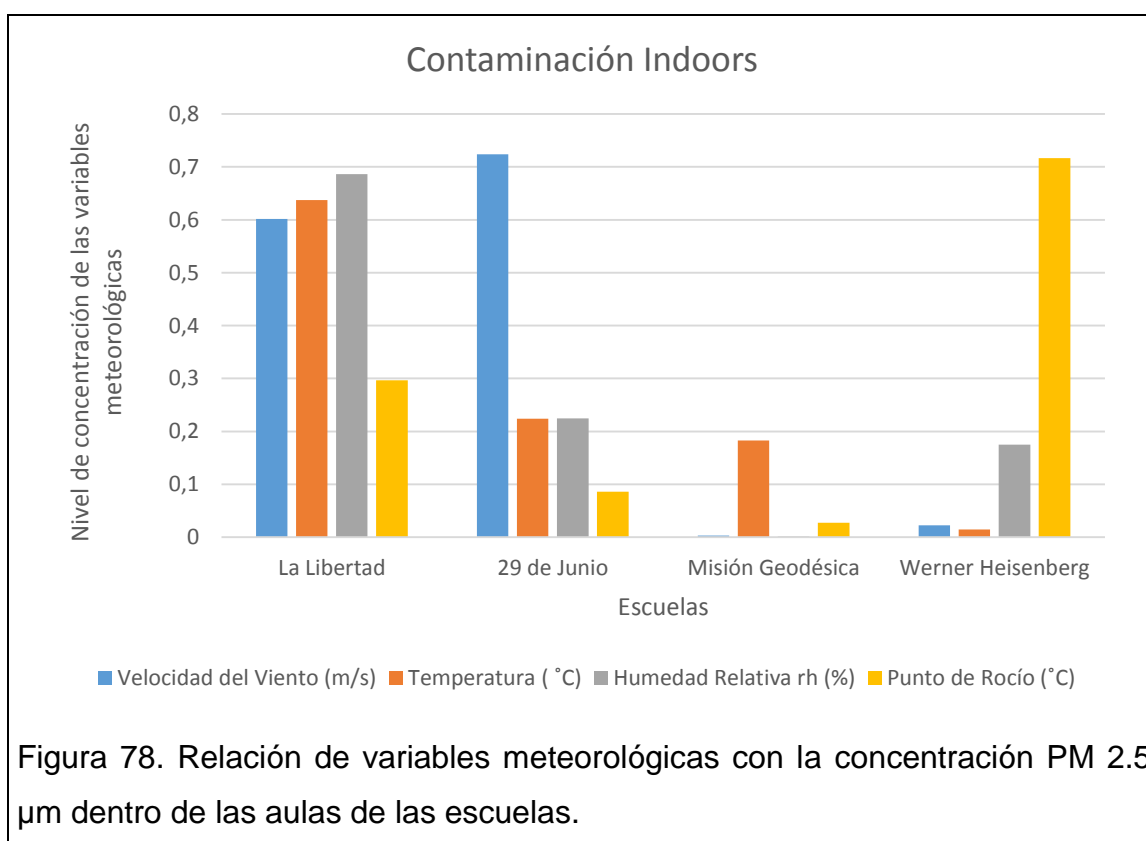
Para la concentración monitoreada fuera de las aulas de clase, la variable de la humedad relativa presenta más influencia en las 3 instituciones primero medidas. Un pico máximo presenta la velocidad del viento en la “Unidad Educativa Misión Geodésica” y en la “Escuela Werner Heisenberg”, en ésta última, la temperatura no está relacionada al contaminante. Esto muestra que el presente estudio sigue la misma línea tendencial de investigación de la mayoría de autores mencionados anteriormente.



La contaminación dentro de las aulas monitoreadas se ve más afectada por la velocidad del viento en las escuelas “La Libertad” y “29 de Junio”. Al contrario de lo mencionado por Goetz, Viney y Zhang (2012), en cuyo estudio la

concentración de PM 2.5  $\mu\text{m}$  está altamente relacionado a la temperatura y no a la velocidad del viento. El punto de rocío es la variable que más influye en la “Escuela Werner Heisenberg”.

Debido a la diversa relación entre las variables en cada escuela, se puede determinar que la contaminación indoors no tiene una elevada asociación con las variables meteorológicas, sino más bien se debe a otros factores, como las actividades de los niños dentro de clases, los materiales que usan, patógenos que existen en el ambiente o emisiones de las concesiones mineras en su alrededor que penetran las edificaciones tal como lo mencionan Rowe, Nouh, Al-Dhowalia y Mansour (2012) en su estudio.



## CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

En el análisis de los datos de material particulado fino PM 2.5  $\mu\text{m}$  de la Red de Monitoreo Atmosférico de la Quito de los últimos años se ha evidenciado que éste contaminante registró picos más altos en las parroquias Cotocollao y Carapungo, siendo en algunos casos valores más altos a la recomendación de la EPA de 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  promediado en 24 horas, para una buena calidad de aire. Para el presente estudio se seleccionó la estación Carapungo y se trazó un radio de influencia (5 km) para determinar por medio del análisis de la dirección del viento que San Antonio de Pichincha abarca gran parte de éste radio y que las mediciones registradas en la estación, son parámetros que competen ser analizados de forma conjunta por las dos parroquias mencionadas.

Mediante el levantamiento de información geográfica y mapas realizados conforme a la dirección y velocidad del viento, se determinó que las escuelas de San Antonio de Pichincha están altamente expuestas a la contaminación proveniente de las canteras de extracción de material pétreo del sector.

En cuanto a la distribución de frecuencia de clases de vientos realizada mediante el software WRPLOT VIEW, se concluye que los vientos predominantes son iguales o mayores a 11 m/s en un 48% según la escala de Beaufort. Es decir que, la fuerza de los vientos, es de grado 6 ó “Fresco”. Además, la dirección del viento analizada con el mismo software, indica que los vientos se dirigen de noroeste (NW) o en grado (315°) hacia el sureste (SE) ó (135°). Lo que sugiere que toda contaminación emitida por el sector extractivo de la zona, incide en toda la parroquia de San Antonio de Pichincha.

Se realizó cálculos de la tasa de emisión de PM 2.5  $\mu\text{m}$  conforme lo determina el AP42 5th Edition Compilation of Air Pollutant Emission Factor para actividades mineras a cielo abierto, las variables analizadas fueron la tasa de actividad de la cantera, el área que dispone y la densidad del material pétreo, determinándose que la mayor tasa de emisión de contaminante medida para



una cantera es la que presenta una mayor relación proporcionalmente positiva entre el área de la cantera y su tasa de actividad, es decir que si el área aumenta, la tasa de actividad también lo hace.

Conforme a la simulación de PM 2.5  $\mu\text{m}$  de las 6 canteras más influyentes en la zona utilizando el software SCREEN VIEW, se determinó que la mayor concentración de material particulado fino respecto a las escuelas, se encuentra en la Escuela La Libertad con  $1.04 \times 10^{-5} \mu\text{g}/\text{m}^3$  cuya fuente principal proviene de la cantera Tanlahua. La concentración más baja para la misma escuela provino de la agrupación de las canteras Fucusucu III, El Guabo, Blanca II y Rosita con  $2.092 \times 10^{-13} \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

De acuerdo al modelamiento, la concesión de extracción de material pétreo Tanlahua es la que más influye en la parroquia de San Antonio de Pichincha con un 58%, es decir que sobrepasa más de 10 veces las concentraciones emitidas por otras fuentes, como la agrupación de canteras Terrazas de Mandingo y San Luis que aportan un 15% de emisiones, seguida de la cantera Sanata Fe II 13%, Favito 11%, Fucusucu V 2% y la agrupación Fucusucu III, El Guabo, Blanca II y Rosita de un 1%.

En base a los datos de simulaciones se identificó 4 escuelas para ser monitoreadas debido a la cercanía de éstas a las concesiones mineras y la concentración modelada en éstos lugares por el software SCREEN VIEW.

Por medio del análisis gravimétrico de PM 2.5  $\mu\text{m}$ , se obtuvo un pico máximo de  $238.0952 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de concentración indoors en la escuela “La Libertad” y un pico mínimo en la “Unidad Educativa Misión Geodésica”, representado como cero, lo cual no quiere decir que sea cero la concentración pero si valores cercanos a dicho valor.

Se observa un comportamiento similar en la distribución del contaminante para todos los días viernes, representado con una línea de tendencia creciente. Es posible que se deba a la transferencia de material pétreo de las canteras, ya que según lo visto durante el monitoreo, éste día de la semana las volquetas

tienden a transportar mayor cantidad de producto y el material particulado emitido se evidencia como contaminación indoors.

La contaminación outdoors analizada gravimétricamente presentó un pico máximo de  $297.6190 \mu\text{g}/\text{m}^3$  durante 8 horas en la “Escuela La Libertad” y un pico mínimo representado como cero, debido a la baja sensibilidad de la balanza analítica en la Escuela Werner Heisenberg.

Con el análisis gravimétrico se comprobó que el comportamiento del contaminante es el mismo que el determinado por medio de la simulación, ya que presenta una pluma de dispersión de mayor a menor, es decir que a medida que la distancia aumenta con respecto a la fuente de emisión, la concentración del contaminante disminuye.

En el monitoreo atmosférico a tiempo real durante 8 horas, se determinó que el 90% de las concentraciones de material particulado fino son mayores a las recomendaciones de la EPA de  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en 24 horas.

Las concentraciones máximas determinadas por medio del monitoreo a tiempo real en ambientes outdoors registran picos máximos en horario de 11:00 a 13:00, en ambientes indoors no se muestra una tendencia máxima o mínima en horarios específicos.

La concentración indoors de  $\text{PM } 2.5 \mu\text{m}$  obtuvo valores más altos ( $258 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) que la concentración outdoors ( $252 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en el análisis de los datos del monitoreo a tiempo real.

Las escuelas monitoreadas registraron mayor concentración del contaminante en comparación con los datos obtenidos en la estación REMMAQ de Carapungo de la Secretaría del Ambiente, pero casi siempre las líneas tendenciales de comportamiento del  $\text{PM } 2.5 \mu\text{m}$  fueron las mismas en ambos sitios.

Se determinó un 50% de correlación alta de la concentración outdoors de  $\text{PM } 2.5 \mu\text{m}$  con respecto a la velocidad del viento, la temperatura y el punto de rocío y un 75% de correlación con la humedad relativa.

A medida que la velocidad del viento aumenta, también lo hace la concentración outdoors del contaminante, lo mismo pasa con la temperatura. Lo contrario sucede con la humedad relativa y el punto de rocío, es decir que, si éstas variables aumentan, disminuye la concentración de PM 2.5  $\mu\text{m}$ , lo que significa que se obtuvo una correlación de un 75% de dichas variables respecto al contaminante.

Para la concentración indoors se determinó un 75% de correlación baja con la velocidad del viento y la humedad relativa, una correlación baja de casi 100% con respecto a la temperatura exterior y un 50% de correlación alta con el punto de rocío.

## 4.2 Recomendaciones

Se sugiere implementar barreras arbóreas en el perímetro de las escuelas, con especies de *Nectandra*, *Ochoroma pyramidale*, *Cedrella montana*, *Cordia alliodora* ó *Chasquea scanden* que son plantas nativas del sector. Dichas cortinas arbóreas además de actuar como una medida de prevención de contaminación por PM fino, también ayudarían a la captura de CO<sub>2</sub>.

Para las autoridades regulatorias pertinentes, se recomienda efectuar una lista de límites permisibles de material particulado para contaminación interior, especialmente para centros educativos, debido a las múltiples enfermedades respiratorias que se presentan en niños por la prolongada exposición de PM 2.5  $\mu\text{m}$ .

Debido a la alta incidencia de vientos fuertes de grado 6 en la escala Beaufort, se recomienda realizar estudios de potencial eólico, para así poder hacer uso de éste recurso en el sector energético.

## REFERENCIAS

- Alshitawi M., Awbi H. y Mahyuddin N. (2009). The effect of outdoor conditions and air change rate on particulate matter (PM10) concentration in a classroom equipped with a windcatcher. University of Reading, UK.
- Álvarez, D. (2009). Waypoints. Recuperado el 25 de noviembre de 2015 de [http://www.alvarezdaneri.com.ar/gps/waypoints\\_track\\_rutas.htm](http://www.alvarezdaneri.com.ar/gps/waypoints_track_rutas.htm)
- Angulo L., Huertas J., Restrepo G. (2011). Caracterización de Partículas Suspendidas (PST) y Partículas Respirables (PM 10) producidas en Áreas de Explotación Carbonífera a Cielo Abierto. Colombia. ISSN 0718-0764. Scielo. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642011000400004>
- Aqueveque V., Vargas G., Rutllant J., Le Roux J. P. (2009). Estacionalidad de la erosión y transporte eólico de partículas en el desierto costero de Atacama, Chile (23 °S). *Andean geology* ISSN 0718-7106. Scielo. DOI 36 (2): 288-310
- ARCOM- Agencia de Regulación y Control Minero (2015). Áreas de las Canteras de San Antonio de Pichincha. Catastro Minero. Recuperado el 10 de noviembre de 2015 de <http://geo.controlminero.gob.ec:1026/geovisor/>
- Arhami M., Polidori A., Delfino R. , Tjoa T y Sioutas C. (2009). Associations between Personal, Indoor, and Residential Outdoor Pollutant Concentrations: Implications for Exposure Assessment to Size Fractionated Particulate Matter. Taylor & Francis. DOI:10.3155/1047-3289.59.4.392
- BC - British Columbia. (2014). Particulate Matter and Outdoor Air Pollution. Recuperado el 27 de Marzo de 2015 de <http://www.healthlinkbc.ca/healthfiles/bilingua/spanish/hfile65e-S.pdf>
- Belis C., Karagulian F., Amato F., Almeida M., Artaxo P., Beddows D., Bernardoni V., Bove M., Carbone S., Cesari D. Contini D., Cuccia

E., Eleftheriadis K., Favez O., El Haddad I., Harrison R.M., Hellebust S., Jang E., Jorquera H., Kammermeier T., Karl M., Lucarelli F., Mooibroek D., Nøjgaard J.K., Paatero P., Pandolfi M., Perrone M.G., Petit J.E., Diapouli E., Hovorka J., Nava S., Pietrodangelo A., Pokorn P., Prati P., Prevot A.S.H. Quass U., Querol X., Saraga D., Sfetsos A., Valli G., Vecchi R., Vestenius M., Yubero E., Hopke P.K., Sciare J. (2015). A new methodology to assess the performance and uncertainty of source apportionment models II: The results of two European intercomparison exercises. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.10.068>

Birabwa E. (2006). Small-Scale Stone Quarrying: Its Contribution to People's Livelihoods. A Case Study Kasenge Parish, Nama Sub-County, Mukono District. Norwegian University of Science and Technology. Diva Portal.

Braniš M., Šafránek J. y Hytychová A. (2011). Indoor and outdoor sources of size-resolved mass concentration of particulate matter in a school gym—implications for exposure of exercising children. Springer. DOI 10.1007/s11356-010-0405-0

BREATHE - Brain Development and Air Pollution Ultrafine particles in school children. (2015). La calidad del aire en las escuelas de Barcelona. UABDivulga. Barcelona Investigación e Innovación.

Buiarelli F., Filippo P., Riccardi C., Pomata D., Rumolo E., Giannetti L. y Neri B. (2015). Analytical method for the determination of mycotoxins in indoor/outdoor airborne particulate matter by HPLC-MS-MS. Taylor & Francis. DOI: 10.1080/03067319.2015.1055468

Buitrago H. (2006). Aplicación del modelo gaussiano para determinar la calidad del aire de Manizales. Universidad Nacional de Colombia. Manizales, Colombia.

Bustillos A. y Velasteguí S. (2011). Simulación de la dispersión de contaminantes en el aire de la ciudad de Ambato emitidos por fuentes

fijas y por la actividad del volcán Tungurahua, mediante la utilización de los softwares ambientales especializados Disper Versión 5.2 y Screen View. Universidad Técnica de Ambato.

Cáceres R. (2007). Estadística aplicada a las ciencias de la salud. Ediciones Díaz de Santo. España

Campo V., Mendivil A. (2010). Calidad de aire interior en los centros de educación infantil del País Vasco. Universidad del País Vasco, Departamento de Máquinas y Motores Térmicos. ETS de Ingenieros, Alda. Urquijo s/n. 48013 Bilbao. Recuperado el 14 de Septiembre de 2015 de [http://www.inive.org/members\\_area/medias/pdf/Inive%5Cclimamed%5C16.pdf](http://www.inive.org/members_area/medias/pdf/Inive%5Cclimamed%5C16.pdf)

Campoverde K. (2013). Impacto ambiental al recurso aire generado por actividades mineras en la zona urbana desde el km 10 al km 14 del sector noroeste del Cantón Guayaquil. Universidad de Guayaquil.

Carrera C, 2012. LOS CONFLICTOS SOCIOAMBIENTALES EN LAS CANTERAS DE SAN ANTONIO DE PICHINCHA. Recuperado el 28 de Marzo de 2015 de <http://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/4199/1/TFLACSO-2012JCBC.pdf>

Casal J., Mateu E. (2003). Tipos de Muestreo. Universidad Autónoma de Barcelona. Rev. Epidem. Med. Prev. (2003), 1: 3-7. Recuperado el 23 de Junio de 2015 de [http://www.mat.uson.mx/~ftapia/Lecturas%20Adicionales%20\(C%3%B3mo%20dise%C3%B1ar%20una%20encuesta\)/TiposMuestreo1.pdf](http://www.mat.uson.mx/~ftapia/Lecturas%20Adicionales%20(C%3%B3mo%20dise%C3%B1ar%20una%20encuesta)/TiposMuestreo1.pdf)

Casas W., Ortolano L., Triana E. (2013). Modelos de calidad del aire. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Biblioteca Virtual. Colombia. Recuperado el 28 de enero de 2016 de <http://biblovirtual.minambiente.gov.co:3000/>

- CASELLA. (2011). APEX. Bomba de Muestreo. Recuperado del 17 de Septiembre de 2015 de file:///C:/Users/User/Downloads/Apex1.pdf
- Castro P., Vera J., Cifuentes L., Wellenius G., Verdejo H., Sepúlveda L., Vukasovic J.L., Llevaneras S. (2010). Small particle air pollution (PM2.5) leads to an increase in hospitalization rate for congestive heart failure. Scielo. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-85602010000300004>
- Catalá M. y Aragón P. (2008). Contaminación del aire: Problemas resueltos. Universidad Politécnica de Valencia. Gietl J. y Klemm O. (2009). Analysis of Traffic and Meteorology on Airborne Particulate Matter in Münster, Northwest Germany. Institute of Landscape Ecology, University of Münster, Münster, Germany. Journal of the Air & Waste Management Association. DOI:10.3155/1047-3289.59.7.809
- CFR – Code of Federal Regulations. (2012). Protection of Environment. Office of the Federal Register National Archives and Records Administration as a Special Edition of the Federal Register. USA.
- Chow J., Watson J., Lowenthal D., Chen L., Tropp R., Park K., y Magliano K. (2007). PM2.5 and PM10 Mass Measurements in California's San Joaquin Valley. Taylor & Francis. 40:10, 796-810, DOI: 10.1080/02786820600623711
- CIEMAT – Modelización de la Contaminación Atmosférica. (2016). Modelos Determinísticos. Gobierno de España. Recuperado el 28 de Enero de 2016 de <http://www.ciemat.es/MCAportal/portal.do;jsessionid=E6D136AB15DEDBA665BDE97B5CFC7FBD?IDM=89&NM=4>
- CIEMAT – Modelización de la Contaminación Atmosférica. (2016). Tipos de modelos. Gobierno de España. Recuperado el 28 de Enero de 2016 de <http://mca-retemca.ciemat.es/MCAportal/portal.do?IDM=52&NM=3>
- Clavijo A. (2006). Evaluación del monitoreo de la calidad del aire en el área de influencia de la mina Pribbenow, ubicada en jurisdicción de El Paso,

Chiriguana y La Jagua de Ibirico. Editorial: Fundación Universidad del Área Andina.

CMQ – Consejo Metropolitano de Quito (2012). Resolución CO62. Secretaría del Ambiente

Cochancela J., Astudillo P. (2012). Guía para realizar un análisis eólico previo a la instalación de una central eólica utilizando las distribuciones de Weibull y Rayleigh. Universidad de Cuenca. Recuperado el 18 de Diciembre de 2015 de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/699/1/te330.pdf>

Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía en España (2014). Recuperado el 18 de Octubre de 2015 de [http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal\\_web/administracion\\_electronica/Tramites/Vigilancia\\_Preencion/Modelos/EPRTTR/Modelos/Guias\\_apoyo/Guia\\_%20Ep3b\\_Explotaciones\\_cieloabierto\\_cantarras.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/administracion_electronica/Tramites/Vigilancia_Preencion/Modelos/EPRTTR/Modelos/Guias_apoyo/Guia_%20Ep3b_Explotaciones_cieloabierto_cantarras.pdf)

CRANA – Fundación Crana Fundazioa promovida por el Gobierno de Navarra. (2016). Aerosoles o materia particulada. Recuperada el 28 de Enero de 2016 de [http://www.crana.org/es/contaminacion/mas-informacion\\_3/aerosoles-materia-particulada-mpa](http://www.crana.org/es/contaminacion/mas-informacion_3/aerosoles-materia-particulada-mpa)

Csavina J., Field J., Félix O., Corral-Avitia A., Sáez E. y Betterton E. (2014). Effect of Wind Speed and Relative Humidity on Atmospheric Dust Concentrations in Semi-Arid Climates. NCBI. Sci Total Environ. doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.03.138

Cutter S., Boruff B., y Shirley W. (2012). Hazards, Vulnerability and Environmental Justice. Earthscan from Routledge. New York, USA.

CSP MURCIA - Consejo de Sanidad y Política Social, Región Murcia (2011). Contaminación del Aire. Recuperado el 10 de Abril de 2015; <http://www.murciasalud.es/principal.php>



- Decreto Ejecutivo No. 30221-S. (2014). Reglamento sobre emisión de contaminantes atmosféricos. Recuperado el 5 de Enero de 2016 de [http://www.sise.co.cr/normativa/DPAH\\_reglamento\\_calidad\\_aire\\_contaminantes.pdf](http://www.sise.co.cr/normativa/DPAH_reglamento_calidad_aire_contaminantes.pdf)
- Decreto Real 374/2001, actualizado al (2013). La Guía Técnica para la Evaluación y Prevención de Riesgos de Agentes Químicos en el Trabajo. Gobierno de España. Recuperado el 24 de Mayo de 2015 de [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Normativa/GuiasTecnicas/Ficheros/g\\_AQ.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Normativa/GuiasTecnicas/Ficheros/g_AQ.pdf)
- Department of Chemical Pathology. (2012). Pulmonary problems among quarry workers of stone crushing industrial site at Umuoghara, Ebonyi State, Nigeria. Pubmed. US National Library of Medicine National Institutes of health
- Derbyshire E. (2007). Natural Minerogenic Dust and Human Health. BioOne. DOI: [http://dx.doi.org/10.1579/0044-7447\(2007\)36\[73:NMDAHH\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1579/0044-7447(2007)36[73:NMDAHH]2.0.CO;2)
- DIGESA – Dirección General de Salud Ambiental. (2005). PROTOCOLO DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE Y GESTIÓN DE LOS DATOS. Perú. Recuperado del 17 de Septiembre de 2015 de [http://www.digesa.sld.pe/norma\\_consulta/protocolo\\_calidad\\_de\\_aire.pdf](http://www.digesa.sld.pe/norma_consulta/protocolo_calidad_de_aire.pdf)
- Echarri L. (2007). Contaminación de la atmósfera. Universidad de Navarra. Recuperado el 25 de Enero de 2016 de <file:///C:/Users/User/Downloads/Tema%207%20Contaminacion%20atmosferica%2007.pdf>
- Ehrlich C., Noll G., Kalkoff D., Baumbach G. y Dreiseidler A. (2007). PM10, PM2.5 and PM1.0—Emissions from industrial plants—Results from measurement programmes in Germany. Science Direct. (2007) 6236–6254.

- EMGIRS – EP - Empresa Pública Metropolitana de Gestión Integral de Residuos Sólidos. (2014). *Apertura de nueva escombrera en Tanlahua*. Recuperado el 29 de Diciembre de 2014 de <http://www.emgirs.gob.ec/index.php/quienes-somos/objeto-principal/88-apertura-de-nueva-escombrera-en-tanlahua>
- ENN – Environmental News Network. (2015). Francia estima los costos económicos de la contaminación del aire. Recuperado el 27 de Enero de 2015 de [http://www.enn.com/top\\_stories/article/48795](http://www.enn.com/top_stories/article/48795)
- EPA - Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (2007). Calidad del aire fronterizo. Recuperado el 16 de Marzo de 2015 de [http://www.epa.gov/ttn/catc/cica/airq\\_s.html](http://www.epa.gov/ttn/catc/cica/airq_s.html)
- EPA – Environmental Protection Agency (2003). Background Information for Revised AP-42 Section 11.19.2, Crushed Stone Processing and Pulverized Mineral Processing. Recuperado el 5 de Octubre de 2015 de <http://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html>
- EPA – Environmental Protection Agency (2009). Emissions Factors & AP 42, *Compilation of Air Pollutant Emission Factors*. Recuperado el 5 de Octubre de 2015 de <http://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html>
- EPA – Environmental Protection Agency (2013). *Particulate Matter (PM)*. Recuperado el 30 de Diciembre de 2014 de <http://www.epa.gov/pm/>
- EPA – Environmental Protection Agency (2016). *Particulate Matter (PM)*. Recuperado el 30 de Enero de 2016 de <http://www.epa.gov/pm/>
- EPA – Environmental Protection Agency (2015). Calidad del aire fronterizo. Recuperado el 26 de enero de 2016 de [http://www3.epa.gov/ttn/catc1/cica/airq\\_s.html](http://www3.epa.gov/ttn/catc1/cica/airq_s.html)
- EPA – Environmental Protection Agency (2015). Dispersion Modeling. Recuperado el 26 de enero de 2016 de <http://www3.epa.gov/airquality/aqmportal/management/modeling/dispersion.htm>

- EPA – Environmental Protection Agency. (2008). Determination of background concentrations. Recuperado el 30 de Noviembre de 2015 de [file:///C:/Users/User/Downloads/8369\\_background\\_concentrations\\_27\\_nov08.pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/8369_background_concentrations_27_nov08.pdf)
- EPA – Environmental Protection Agency. (2015). Normas de aire ambiente basadas en la salud. Recuperado el 18 de Diciembre de 2015 de [http://www3.epa.gov/ttn/catc1/cica/airq\\_s.html](http://www3.epa.gov/ttn/catc1/cica/airq_s.html)
- Espinoza C., Guñay F. (2013). Estudio de Impacto ambiental expost de la cantera San Antonio ubicada en la parroquia Aurora del cantón Daule. Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil.
- EUROIMPOTADORA. (2013). Peso específico de materiales. Recuperado el 18 de Octubre de 2015 de [http://www.euroimportadora.com.mx/SYS\\_user/tips\\_tecnicos/es/Peso\\_Especifico\\_de\\_Materiales.pdf](http://www.euroimportadora.com.mx/SYS_user/tips_tecnicos/es/Peso_Especifico_de_Materiales.pdf)
- F.S.E - Fundación Sembrar Esperanza. (2010). *Proyecto Manejo Integral De Residuos Sólidos (MIRS)*. Recuperado el 29 de Diciembre de 2014 de [http://www.sembraresperanza.org.ec/index.php?option=com\\_content&view=article&id=14&Itemid=16&lang=es](http://www.sembraresperanza.org.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=14&Itemid=16&lang=es)
- Fromme H., Bischof W., Diertrich S., Lahrz T., Schierl R y Schwegler Y. (2013). Airborne Allergens, Endotoxins, and Particulate Matter in Elementary Schools, Results from Germany (LUPE 2). Taylor & Francis. DOI: 10.1080/15459624.2013.818223
- GA – Gestión Ambiental. (2008). Modelo atmosféricos de Dispersión de Contaminantes. Clase Auxiliar.
- GADPP-DGPLA – Gobierno Autónomo Descentralizado de Pomasqui. (2010). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial.
- Gaidajis G. y Angelakoglou K. (2009). Indoor air quality in university classrooms and relative environment in terms of mass concentrations of particulate matter. Taylor & Francis. DOI:10.1080/10934520903139936

- García H. (2006). Evaluación del riesgo por emisión de partículas en fuentes estacionarias de combustión, estudio de caso Bogotá. Universidad Nacional de Colombia.
- Garmin. (2008). Manual de Usuario Oregon. USA, Reino Unido y Taiwán. Garmin Ltd.
- Gautam M., Byrd R., Carder D., Banks P. y Lyons D. (2008). Particulate matter emissions and smoke opacity from in-use heavy-duty vehicles. Taylor & Francis. DOI:10.1080/10934520009376986
- Gazitúa R. (2007). Respiración. Manual de semiología. Recuperado el 28 de Enero de 2016 de <http://escuela.med.puc.cl/publ/manualesemiologia/190Respiracion.htm>
- Genc D., Yesilyurt C. y Tuncel G. (2009). Air pollution forecasting in Ankara, Turkey using air pollution index and its relation to assimilative capacity of the atmosphere. Springer. DOI 10.1007/s10661-009-0981-y
- Goetz S., Viney A. y Zhang Y. (2012). Measurement, Analysis, and Modeling of Fine Particulate Matter in Eastern North Carolina. Taylor & Francis. DOI:10.3155/1047-3289.58.9.1208
- González I., Cuesta L., Pire S. (2013). Estudio del material particulado suspendido en el aire del campus de la Cujae. Revista estudiantil nacional de ingeniería y arquitectura - RENIA.
- González Y. (2011). Caracterización físico-química del material particulado atmosférico de origen industrial en Andalucía. Universidad de Huelva. Departamento de física aplicada. Recuperado el 18 de Diciembre de 2015 de [file:///C:/Users/User/Downloads/Caracterizacion\\_fisico\\_quimica\\_del\\_m aterial\\_particulado\\_atmosferico.pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/Caracterizacion_fisico_quimica_del_material_particulado_atmosferico.pdf)
- García D. (2012). Modelado numérico de la dispersión de contaminantes asociada al flujo atmosférico dentro de un entorno urbano específico

de la Ciudad de Bogotá. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

Grau-Bové J. y Strilic M. (2013). Fine particulate matter in indoor cultural heritage: a literature review. Springer. DOI: 10.1186/2050-7445-1-8

Guetiérrez, C. (2010). Selección de sujetos y tamaño de la muestra. Instituto de Medicina Tropical “Daniel A. Carrión” – UNMSM. Recuperado el 25 de Septiembre de [http://www.ins.gob.pe/repositorioaps/0/2/not/not\\_formulacion\\_proyecto\\_sensalud/clase\\_5%20\(muestreo\).pdf](http://www.ins.gob.pe/repositorioaps/0/2/not/not_formulacion_proyecto_sensalud/clase_5%20(muestreo).pdf)

IFRC - Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y la Media Luna Roja (2012). Vulnerabilidad. Recuperado el 25 de noviembre de 2015 de <http://www.ifrc.org/es/introduccion/disaster-management/sobre-desastres/que-es-un-desastre/que-es-la-vulnerabilidad/>

INAMHI- Instituto Nacional de Meteorología e Higiología. (2010). Año 1990 – 2009

INEC - Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2010). Recuperado el 29 de Diciembre de 2014 de <http://www.inec.gob.ec/estadisticas/>

INECC – Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2013). Contaminantes Criterio. Recuperado el 3 de Enero de 2016 de <http://www.inecc.gob.mx/calair-indicadores/523-calair-cont-criterio>

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España. (2014). Métodos de toma de muestras y análisis. Determinación de Materia Particulada (Fracciones inhalable, torácica y respirable) en aire – método gravimétrico. Recuperado del 27 de Noviembre de 2015 de [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/MetodosAnalisis/Ficheros/MA/MA\\_014\\_A11.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/MetodosAnalisis/Ficheros/MA/MA_014_A11.pdf)

- ISC - The International Sustainability Council (2013). Dry Climate. Recuperado el 5 de Octubre de 2015 de <http://www.isc-audubon.org/the-koppen-climate-classification-system/the-dry-climate/>
- Jácome E, 2014. Canteras de San Antonio de Pichincha dan trabajo a 7000 personas. Recuperado el 28 de Marzo de 2015; <http://www.elcomercio.com/actualidad/quito-canteras-san-antonio.html>
- Kaur S., Nieuwenhuijsen M. J., Colvile R.N. (2007). Fine particulate matter and carbon monoxide exposure concentrations in urban Street transport microenvironments. Elsevier. doi:10.1016/j.atmosenv.2007.02.002.
- Kendall M., Pala K., Ucakli S. y Gucer S. (2011). Airborne particulate matter (PM 2.5 and PM 10) and associated metals in urban Turkey. Springer. DOI 10.1007/s11869-010-0129-9
- Lanza G., Cáceres C., Adame S., Hernández S. (1999). Diccionario de Hidrología y Ciencias Afines. Plaza y Valdez editores. Recuperado el 18 de Diciembre de 2015 de [https://books.google.com.ec/books?id=My27250twg0C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=My27250twg0C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Li x., Zhang Q., Zhang Y., Zheng B., Wang K., Wallington T., Han W., Shen W., Zhang X., He K. Source contributions of urban PM 2.5 in the BeijingTianjineHebei region: Changes between 2006 and 2013 and relative impacts of emissions and meteorology. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.10.048>
- López M., Arrúe J., Gracia R. (2010). Control de la erosión en suelos agrícolas. Departamento de Suelo y Agua. Estación Experimental de Aula Dei. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Apartado 202 50080. Zaragoza
- MAE - Ministerio del Ambiente (2011). Acuerdo No. 050, *Norma de Calidad del Aire Ambiente o Nivel de Inmisión. Libro VI Anexo 4. pág 5.* Recuperado el 20 de Diciembre de 2014 de

<http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/Acuerdo-50-NCA.pdf>

MAE - Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2012). Acuerdo No. 050. Norma de Calidad del Aire Ambiente o Nivel de Inmisión. Libro VI. Anexo 4. TULSMA. Recuperado el 27 de Noviembre de 2015 de <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/Acuerdo-50-NCA.pdf>

Mahmoud M. y Abdel S. (2013). Indoor particulate matter in urban residences of Alexandria, Egypt. Taylor & Francis. DOI: 10.1080/10962247.2013.801374

Manahan S. (2006). Introducción a la química ambiental. Editorial Reverté. Universidad Nacional Autónoma de México.

Manzur M., Benzal G., y González S. (2012). Modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos. 7mo Congreso de Medio Ambiente. Argentina.

Mathew J., Goyal R., Taneja K., Arora N. (2014). Air pollution and respiratory health of school children in industrial, commercial and residential areas of Delhi. Springer Science. DOI 10.1007/s11869-014-0299-y.

MAVDT – Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2012). Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad de aire. Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad de Aire. República de Colombia. Recuperado del 17 de Septiembre de 2015 de <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527391/Protocolo+para+el+Monitoreo+y+seguimiento+de+la+calidad+del+aire.pdf/6b2f53c8-6a8d-4f3d-b210-011a45f3ee88>

MET OFFICE. (2014). Beaufort wind force scale. UK. Recuperado el 30 de Enero de 2016 de <http://www.metoffice.gov.uk/guide/weather/marine/beaufort-scale>

- METAS. (2007). Temperatura de Rocío. Recuperado el 15 de Febrero de 2016 de <http://www.metas.com.mx/guiametAs/La-Guia-MetAs-07-11-punto-de-rocio.pdf>
- METEOBLUE. (2015). Viento. Recuperado el 5 de Octubre de 2015 de [https://content.meteoblue.com/es/ayuda/parametros/viento#wind\\_scale](https://content.meteoblue.com/es/ayuda/parametros/viento#wind_scale)
- MI - Ministerio del Interior. (2014). *Cierre de canteras en San Antonio*. Recuperado el 29 de Diciembre de 2014 de <http://www.ministeriointerior.gob.ec/se-procedera-al-cierre-inmediato-de-canteras-en-san-antonio/>
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente del Gobierno de España. (2013). Niveles, composición y fuentes de PM10 y PM2.5 en España. Recuperado el 30 de Marzo de 2016 de [http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/Informe%2Bniveles%2BBy%2Bquimica\\_entregado2013%5B1%5D\\_tcm7-289194.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/Informe%2Bniveles%2BBy%2Bquimica_entregado2013%5B1%5D_tcm7-289194.pdf)
- MME – Ministerio de Minas. (2006). Guía minero ambiental de explotación. Colombia. Recuperado el 28 de Enero de 2016 de <https://www.minminas.gov.co/documents/10180/416798/explotacion+3.pdf>
- Mora C (2012). Vidas cubiertas por polvo. Recuperado el 25 de Marzo de 2016 de [www.ultimasnoticias.ec/noticias/8667-vidas-cubiertas-por-polvo.html](http://www.ultimasnoticias.ec/noticias/8667-vidas-cubiertas-por-polvo.html)
- Mosqueda, M. (2014). Rosas de Vientos. Recuperado el 5 de Octubre de 2015 de [http://www.youtube.com/watch?v=ctJh\\_kzhwk](http://www.youtube.com/watch?v=ctJh_kzhwk)
- Muñoz, Carmona, Pedroza y Granados (2006). ANÁLISIS DE DATOS DE PM2.5 REGISTRADOS CON EQUIPO TEOM EN LAS ESTACIONES AZCAPOTZALCO (AZC) Y SANTA URSULA (SUR) DE LA RED AUTOMATICA DE MONITOREO ATMOSFERICO (RAMA). Secretaría



del Medio Ambiente, Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación. México, D. F.

NIH – Biblioteca Nacional de Medicina de los EE.UU. (2016). Respiración rápida y superficial. Recuperado el 28 de Enero de 2016 de <https://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/007198.htm>

NIH – National Institute of Neurological Disorders and Stroke. Accidente cerebrovascular: Esperanza en la investigación. Matyland, USA.

Ohliger T. (2015). La contaminación atmosférica y acústica. Parlamento Europeo. Recuperado el 26 de Enero de 2016 de [http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/es/displayFtu.html?ftuld=FTU\\_5.4.5.html](http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/es/displayFtu.html?ftuld=FTU_5.4.5.html)

OMM – Organización Meteorológica Mundial (2015). Declaración de la OMM sobre el estado del clima mundial. Recuperado el 25 de Marzo de [https://www.wmo.int/media/sites/default/files/1152\\_es.pdf](https://www.wmo.int/media/sites/default/files/1152_es.pdf)

OMS - Organización Mundial de la Salud (2014). *Guías de calidad del aire de la OMS, Material particulado, ozono, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre*. Recuperado el 30 de Diciembre de 2014 de <file:///C:/Users/HP/Downloads/guiasPPT.pdf>

Oña, G. (2012). Plan de desarrollo de turismo comunitario en la parroquia de pomasqui, del canton quito, de la provincia de pichincha. Recuperado el 5 de Octubre de 2015 de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/874/1/T-UCE-0005-176.pdf>

OPS - Organización Panamericana de la Salud. (2014). *Efectos a la Salud de los contaminantes atmosféricos*. Recuperado el 30 de Diciembre de 2014 de <file:///C:/Users/HP/Downloads/guiasPPT.pdf>

Páez C. (2005). *Informe Evaluatorio de la Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito – CORPAIRE*. Ecuador Inmediato, edición 3803. Recuperado el 30 de Diciembre de 2014 de

[http://ecuadorinmediato.com/index.php?module=Noticias&func=news\\_user\\_view&id=22149&umt=calidad\\_aire\\_capitalino\\_se\\_mantiene\\_en\\_limites\\_permitidos](http://ecuadorinmediato.com/index.php?module=Noticias&func=news_user_view&id=22149&umt=calidad_aire_capitalino_se_mantiene_en_limites_permitidos)

Pai P., Vijayaraghavan K. y Segneur C. Particulate Matter Modeling in the Los Angeles Basin Using SAQM-AERO. Taylor & Francis. DOI: 10.1080/10473289.2000.10463992

Passarello H. (2015). COP21: Francia, los coches y la contaminación del aire. Rfi Español.

PDOT - Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de "San Antonio de Pichincha" (2015). Recuperado el 8 de Julio de 2015 de [http://app.sni.gob.ec/visorseguimiento/DescargaGAD/data/sigadplustiagnostico/1768120280001\\_Diagn%C3%B3stico%20preliminar%20SAN%20ANTONIO\\_15-05-2015\\_11-16-31.pdf](http://app.sni.gob.ec/visorseguimiento/DescargaGAD/data/sigadplustiagnostico/1768120280001_Diagn%C3%B3stico%20preliminar%20SAN%20ANTONIO_15-05-2015_11-16-31.pdf)

PDOT - Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia de San Antonio de Pichincha. (2012). Recuperado el 3 de Enero de 2015 de [http://www.pichincha.gob.ec/phocadownload/leytransparencia/literal\\_k/ppot/dmq/ppdot\\_san\\_antonio.pdf](http://www.pichincha.gob.ec/phocadownload/leytransparencia/literal_k/ppot/dmq/ppdot_san_antonio.pdf)

Pouliot G., Simon H., Bhave P., Tong D., Mobley D., Pace T., y Pierce T. (2012). Assessing the Anthropogenic Fugitive Dust Emission Inventory and Temporal Allocation Using an Updated Speciation of Particulate Matter. Springer. DOI 10.1007/978-94-007-1359-8\_97

Puigcerver M. y Carrascal M. (2008). El medio atmosférico: Meteorología y Contaminación. (1<sup>era</sup>. ed.). Barcelona, España: Universitat de Barcelona.

Real Decreto 102. (2011). Relativo a la mejora de la calidad del aire. Ministerio de la Presidencia. España. Recuperado el 20 de Diciembre de 2015 de <https://www.boe.es/boe/dias/2011/01/29/pdfs/BOE-A-2011-1645.pdf>

- Reina E. (2013). Diagnóstico ambiental de la actividad minera de materiales pétreos en las canteras del sector de Calderón, provincia de Pichincha.
- REMMAQ (2008). Generalidades de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito. Recuperado el 5 de Octubre de 2015 de <http://190.152.144.74/paginas/generalidades.html>
- Rose, B. (2006). Indoor Air Quality. Recuperado el 25 de noviembre de 2015 de [http://ucsfchildcarehealth.org/pdfs/healthandsafety/indoorairqualen081105\\_adr.pdf](http://ucsfchildcarehealth.org/pdfs/healthandsafety/indoorairqualen081105_adr.pdf)
- Rowe D., Nouh M., Al-Dhowalia K. y Mansour M. (2012). Indoor-Outdoor Relationship of Suspended Particulate Matter in Riyadh, Saudi Arabia. *Journal of the Air Pollution Control Association*. Taylor & Francis. DOI: 10.1080/00022470.1985.10465880
- Ryu Y., Balk J. (2009). Flow and dispersion in an urban cubical cavity. *Pergamon, Atmospheric Environment* 43: 1721–1729, 2009
- Sarah O. (2013). Indoor and Ambient Particulate Matter Relationships during the Heating Season. Andrija Mohorovičić Geophysical Institute. University of Zagreb. Zagreb, Croatia.
- Scheff A., Paulius K., Curtis L. y Conroy L. (2010). Indoor Air Quality in a Middle School, Part II: Development of Emission Factors for Particulate Matter and Bioaerosols. Taylor & Francis. DOI: 10.1080/10473220050175715
- Secretaría de Ambiente (2015). Reportes de Datos. Recuperado el 5 de Octubre de 2015 de [190.152.144.75/reportes/ReporteDiariosGraph.aspx](http://190.152.144.75/reportes/ReporteDiariosGraph.aspx)
- Secretaría de Ambiente (2015). Reportes de Datos. Recuperado el 7 5 de Octubre de 2015 de <http://190.152.144.75/reportes/ReporteDiariosGraph.aspx>

- Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito. (2011). Informe anual 2010. La calidad del aire en Quito. Quito: Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito
- Secretaría de Ambiente. (2014). Informe final IE Criterio DMQ 2011.
- Sepúlveda J. (2015). Bioética en Pediatría. Editorial El Manual Moderno. México D.F.
- Sigcha P. (2014). Desarrollo de línea base de material particulado y gases atmosféricos generados en cocinas artesanales y mejoradas de la Comunidad Tsáchila El Poste, Santo Domingo. Trabajo de Titulación. Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias. UDLA.
- SNGR - Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. (2014). *Sismos Agosto 2014*. Recuperado el 29 de Diciembre de 2014 de <http://www.gestionderiesgos.gob.ec/>
- Sukla, Manoj K.; Hernández Arratia, Berenice C.; Flores Márquez, Juan Pedro; Wang, Junming; (2011). Material particulado dispersado al aire por vehículos en caminos agrícolas no pavimentados. *Terra Latinoamericana*, Enero-Marzo, 23-34. Recuperado el 18 de Diciembre de 2015 de <http://www.redalyc.org/pdf/573/57319955003.pdf>
- Tan Z. y Zhang Y. (2006). An Overview of Particulate Matter in Indoor Environments: Part 1, Sources and Effects. University of Illinois at Urbana-Champaign ASHRAE Transactions (Technical).
- Thé J., Thé C., Johnson M. (2007). Screening Air Dispersion Model Screen View 3, User's Guide. Lakes Environmental.
- Trancoso M., Freitas M., Sousa A., Mouro F., Almeida S., Canha N. (2011). Indoor air quality: validation and setting up quality control for determination of anions and cations in particulate matter. Springer. DOI 10.1007/s00769-011-0864-0

- Tribhuwan R., Patil J. (2009). Stone Quarry Workers: Social Security and Development Issues. New Dehli, India. Discovery Publishing House pvt. Ltd.
- Troya A, 2014. Problemática de las Canteras en San Antonio de Pichincha. Junta Parroquial.
- Turull C., Jiménez B. (2010). Las zonas urbanas de Europa siguen violando los límites de calidad de aire y ponen en peligro a sus habitantes. Universidad de Puerto Rico.
- UNDP - Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2014). *ODM*. Recuperado el 5 de Enero de 2015 de [http://www.undp.org/content/dam/undp/library/MDG/spanish/UNDP\\_mdgreport\\_SP\\_2014Final1.pdf](http://www.undp.org/content/dam/undp/library/MDG/spanish/UNDP_mdgreport_SP_2014Final1.pdf)
- UNDP - Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2015). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Recuperado el 12 de Febrero de 2016.
- Universidad Pablo de Olavide. (2010). Dispersión de contaminantes atmosféricos: Modelo gaussiano de la columna de humo. Recuperado el 28 de Enero de 2016 de <https://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/docencia/CA/Pract/Practica1.pdf>
- Universitat d' Alacant. (2015). Las técnicas distributivas el diseño de la investigación cuantitativa: La encuesta. Muestreo probabilístico y no probabilístico. Recuperado el 13 de Febrero de 2016 de [http://personal.ua.es/es/francisco-frances/materiales/tema3/muestreo\\_probabilstico\\_y\\_no\\_probabilstico.html](http://personal.ua.es/es/francisco-frances/materiales/tema3/muestreo_probabilstico_y_no_probabilstico.html)
- Vajanapoom N, Shy C, Neas L y Loomis D (2006). Estimation of particulate matter from visibility in Bangkok, Thailand. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*. 97–102. 10.1038/sj.jea.7500148

- Vargas C. (2011). Efectos de la fracción gruesa (PM10-2.5) del material particulado sobre la salud humana. Revisión Bibliográfica MINSAL.
- Vargas J. (2006). Modelos de dispersión. Recuperado el 28 de Enero de 2016 de Blog de Recurso aire.
- Vyankatesh Y., Arjun B., Sonali Y. (2014). Prediction of Air Pollution Concentration Using a Fixed Box Model. School of Earth Sciences, Swami Ramanand Teerth Marathwada University. Maharashtra, India. 2014;6(5):89-92. ISSN: 1553-9865
- Walsh - Environmental Scientifics and Engineers, LLC. (2008). Modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos.
- Watson J., Chow J. (2002). A wintertime PM 2.5 episode at the Fresno, CA, supersite. *Atmospheric Environment* 36 (2002) 465–475.
- Wheeler A., Williams I., Beaumont R. y Hamilton R. (2006). Characterisation of Particulate Matter Sampled During a Study of Children's Personal Exposure to Airborne Particulate Matter in a UK Urban Environment. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.
- WHO – World Health Organization. (2006). Health risks of particulate matter from long-range transboundary air pollution. Copenhagen, Denmark.
- WHO – World Health Organization. (2013). "Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP. Copenhagen, Denmark.
- WHO EUROPE – World Health Organización Europe. (2006). Indoor air quality guidelines.
- WHO EUROPE – World Health Organización Europe. (2013). Health effects of particulate matter. Policy implications for countries in Eastern Europe, Caucasus and central Asia.
- Yong C., Jianeng w., Jing L. y Dan Y. (2015). Study on the influence of Meteorological Conditions on Particles distribution in Residential Environment. Univirersity of Science and Technology Beijing. Trans

Tech Publications, Switzerland.  
doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.1065-1069.3211

Zefon International, Sampling Media & Cassettes (2015). Gravimetric Match-Weighed Cassettes. Recuperado el 20 de Junio de 2015 de <https://mail.google.com/mail/u/0/#search/SNorris%40zefon.com/14ff88347ed36a79?projector=1>

## **ANEXOS**



## **Anexo 1: Cálculos de la tasa de emisión**

### **a) Tasa de actividad de la cantera Tanlahua**

$$m = d \times v$$

$$m = 1682.5 \frac{kg}{m^3} \times 61881.74 m^3$$

$$m = 104116027.6 kg$$

### **b) Tasa de actividad de la cantera Fucusucu V**

$$m = d \times v$$

$$m = 1682.5 \frac{kg}{m^3} \times 128854.03 m^3$$

$$m = 216796905.5 kg$$

### **c) Tasa de actividad de las canteras Fusucucu III, El Guabo, Blanca II y Rosita**

$$m = d \times v$$

$$m = 1682.5 \frac{kg}{m^3} \times 61746.40 m^3$$

$$m = 103888318 kg$$

### **d) Tasa de actividad de las canteras Terrazas de Mandingo y San Luis I**

$$m = d \times v$$

$$m = 1682.5 \frac{kg}{m^3} \times 81631.03 m^3$$

$$m = 137344199.6 kg$$

**e) Tasa de actividad de la cantera Santa Fe**

$$m = d \times v$$

$$m = 1682.5 \frac{kg}{m^3} \times 83528.30 m^3$$

$$m = 140536362.6 kg$$

**f) Tasa de actividad de la cantera Favito**

$$m = d \times v$$

$$m = 1682.5 \frac{kg}{m^3} \times 83528.30 m^3$$

$$m = 140536362.6 kg$$

**Anexo 2: Cálculos de la ecuación de la tasa de emisión**

**a) Cálculo de la Ecuación de la tasa de emisión para la cantera Tanlahua**

$$E = A \times EF \times (1 - ER/100)$$

$$E = 104116027.6 kg \times 0.000029125 \frac{kg}{Mg} \times (1 - 0/100)$$

$$E = 104116027.6 kg \times (0.000029125 \frac{kg}{Mg} \cdot \frac{1 Mg}{1000 kg}) \times 0.01)$$

$$E = 104116027.6 kg \times (0.000000029 \frac{kg}{kg} \cdot) \times (0.01)$$

$$E = 0.03 \frac{kg}{año}$$

$$E = 0.03 \frac{kg}{año} \div 488495,00201604 m^2$$

$$E = 0.000000061 \frac{kg}{año m^2}$$

$$E = 0.000000061 \frac{kg}{año m^2} \cdot \frac{1 año}{31540000 s}$$

$$E = 1.96 \times 10^{-15} \frac{kg}{s m^2}$$

$$E = 1.96 \times 10^{-15} \frac{kg}{s m^2} \cdot \frac{1000 g}{1 kg}$$

$$E = 0.00000000000196 \frac{g}{s m^2}$$

**b) Cálculo de la Ecuación de la tasa de emisión para la cantera Fucusucu V**

$$E = A \times EF \times (1 - ER/100)$$

$$E = 216796905,5 kg \times 0.000029125 \frac{kg}{Mg} \times (1 - 0/100)$$

$$E = 216796905.5 kg \times (0.000029125 \frac{kg}{Mg} \cdot \frac{1 Mg}{1000 kg}) \times 0.01)$$

$$E = 216796905.5 kg \times (0.000000029 \frac{kg}{kg} \cdot) \times (0.01)$$

$$E = 0.06 \frac{kg}{año}$$

$$E = 0.06 \frac{kg}{año} \div 319996.64001112 m^2$$

$$E = 0.000000197 \frac{kg}{año m^2}$$

$$E = 0.000000197 \frac{kg}{año m^2} \cdot \frac{1 año}{31540000 s}$$

$$E = 0.0000000000000063 \frac{kg}{s m^2}$$

$$E = 0.0000000000000063 \frac{kg}{s m^2} \cdot \frac{1000 g}{1 kg}$$

$$E = 0.00000000000063 \frac{g}{s m^2}$$

**c) Cálculo de la Ecuación de la tasa de emisión para las canteras Fucusucu III, El Guabo, Blanca II y Rosita**

$$E = A \times EF \times (1 - ER/100)$$

$$E = 103888318 \text{ kg} \times 0.000029125 \frac{\text{kg}}{\text{Mg}} \times (1 - 0/100)$$

$$E = 103888318 \text{ kg} \times (0.000029125 \frac{\text{kg}}{\text{Mg}} \cdot \frac{1 \text{ Mg}}{1000 \text{ kg}}) \times 0.01)$$

$$E = 103888318 \text{ kg} \times (0.000000029 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}) \times (0.01)$$

$$E = 0.03 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

$$E = 0.03 \frac{\text{kg}}{\text{año}} \div 459995.32 \text{ m}^2$$

$$E = 0.000000066 \frac{\text{kg}}{\text{año m}^2}$$

$$E = 0.000000066 \frac{\text{kg}}{\text{año m}^2} \cdot \frac{1 \text{ año}}{31540000 \text{ s}}$$

$$E = 0.00000000000000021 \frac{\text{kg}}{\text{s m}^2}$$

$$E = 0.00000000000000021 \frac{\text{kg}}{\text{s m}^2} \cdot \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}}$$

$$E = 0.00000000000021 \frac{\text{g}}{\text{s m}^2}$$

**d) Cálculo de la Ecuación de la tasa de emisión para las canteras Terrazas de Mandingo y San Luis I**

$$E = A \times EF \times (1 - ER/100)$$

$$E = 137344199.6 \text{ kg} \times 0.000029125 \frac{\text{kg}}{\text{Mg}} \times (1 - 0/100)$$

$$E = 137344199.6 \text{ kg} \times (0.000029125 \frac{\text{kg}}{\text{Mg}} \cdot \frac{1 \text{ Mg}}{1000 \text{ kg}}) \times 0.01)$$

$$E = 137344199.6 \text{ kg} \times (0.000000029 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}) \times (0.01)$$

$$E = 0.04 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

$$E = 0.04 \frac{\text{kg}}{\text{año}} \div 95953.86 \text{ m}^2$$

$$E = 0.000000417 \frac{\text{kg}}{\text{año m}^2}$$

$$E = 0.000000417 \frac{\text{kg}}{\text{año m}^2} \cdot \frac{1 \text{ año}}{31540000 \text{ s}}$$

$$E = 0.0000000000000132 \frac{\text{kg}}{\text{s m}^2}$$

$$E = 0.0000000000000132 \frac{\text{kg}}{\text{s m}^2} \cdot \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}}$$

$$E = 0.0000000000132 \frac{\text{g}}{\text{s m}^2}$$

**e) Cálculo de la Ecuación de la tasa de emisión para la cantera Santa Fe**

$$E = A \times EF \times (1 - ER/100)$$

$$E = 140536362.6 \text{ kg} \times 0.000029125 \frac{\text{kg}}{\text{Mg}} \times (1 - 0/100)$$

$$E = 140536362.6 \text{ kg} \times (0.000029125 \frac{\text{kg}}{\text{Mg}} \cdot \frac{1 \text{ Mg}}{1000 \text{ kg}}) \times 0.01)$$

$$E = 140536362.6 \text{ kg} \times (0.000000029 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}) \times (0.01)$$

$$E = 0.04 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

$$E = 0.04 \frac{\text{kg}}{\text{año}} \div 39999.56 \text{ m}^2$$

$$E = 0.000001023 \frac{kg}{año m^2}$$

$$E = 0.000001023 \frac{kg}{año m^2} \cdot \frac{1 año}{31540000 s}$$

$$E = 0.00000000000000324 \frac{kg}{s m^2}$$

$$E = 0.00000000000000324 \frac{kg}{s m^2} \cdot \frac{1000 g}{1 kg}$$

$$E = 0.0000000000324 \frac{g}{s m^2}$$

**f) Cálculo de la Ecuación de la tasa de emisión para la cantera Favito**

$$E = A \times EF \times (1 - ER/100)$$

$$E = 140536362.6 kg \times 0.000029125 \frac{kg}{Mg} \times (1 - 0/100)$$

$$E = 140536362.6 kg \times (0.000029125 \frac{kg}{Mg} \cdot \frac{1 Mg}{1000 kg}) \times 0.01)$$

$$E = 140536362.6 kg \times (0.000000029 \frac{kg}{kg} \cdot) \times (0.01)$$

$$E = 0.04 \frac{kg}{año}$$

$$E = 0.04 \frac{kg}{año} \div 43.441,53 m^2$$

$$E = 0.000000942 \frac{kg}{año m^2}$$

$$E = 0.000000942 \frac{kg}{año m^2} \cdot \frac{1 año}{31540000 s}$$

$$E = 0.00000000000000299 \frac{kg}{s m^2}$$

$$E = 0.0000000000000299 \frac{kg}{s m^2} \cdot \frac{1000 g}{1 kg}$$

$$E = 0.000000000299 \frac{g}{s m^2}$$

### Anexo 3: Solicitud ARCOM

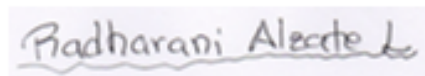
—  
Señor Ingeniero  
Geovanny Astudillo  
DIRECTOR EJECUTIVO ARCOM  
Presente.-

De mi consideración:

Yo Radharani Alzate Luna con C.C 171433336-4, estudiante de Ingeniería Ambiental en Prevención y Remediación en la Universidad de las Américas, solicito a Usted de la manera más comedida, se sirva disponer a quien corresponda, se me otorgue la obtención de los Mapas de las Canteras ubicadas en San Antonio de Pichincha. Este pedido lo realizo ya que estoy haciendo mi tesis del tema del material particulado en dicho sector.

Por la atención que se digne dar a la presente anticipo mi supremo agradecimiento.

Atentamente;



Radharani Alzate L.

## Anexo 4: Solicitud INAMHI

Quito, 24 de noviembre de 2014

Señor Carlos Naranjo  
INGENIERO METEORÓLOGO INAMHI  
Presente;

Por medio de la presente yo, RADHARANI DASÍ ALZATE LUNA con cédula de identidad 171433336-4, estudiante de Ingeniería Ambiental en Prevención y Remediación de la Universidad de las Américas, le saludo cordialmente y me dirijo ante usted pidiéndole de la manera más encarecida pueda por favor facilitarme la obtención de los DATOS DE LOS ÚLTIMOS DIEZ AÑOS DE LA VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO, así como también de las TEMPETURAS PROMEDIOS de la Estación de SAN ANTONIO DE PICHINCHA (M115), o a su vez de la Estación más cercana.

Este pedido lo realizo debido a que me encuentro realizando la Tesis previa a la obtención del título, con tema de Determinación de Material Particulado Fino generado especialmente por las Canteras del sector de San Antonio de Pichincha.

Por la atención que se digne en prestar a la presente, me despido agradeciéndole de sobremanera y deseándole éxitos en el cumplimiento de su grata y buena labor.

*Radharani Alzate Luna*

Radharani Alzate Luna  
171433336-4

*Sr. Mario Tobar*

  
INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA  
Teléfono(s): 3971100

Documento No. : INAMHI-GSI-2014-0711-E  
Fecha : 2014-11-25 12:14:27 GMT -05  
Recibido por : Samuel Ricardo Narvaez Cordero  
Para verificar el estado de su documento ingrese a  
<http://www.gestiondocumental.gob.ec>  
con el usuario: "1714333364"



## Anexo 5: Solicitud MAE

*udla*

**MINISTERIO DEL AMBIENTE  
SECRETARÍA GENERAL**  
22 DIC 2014 13:10  
HORA  
DOCUMENTO RECIBIDO  
CON ANEXOS  
FUNCIONARIO QUE RECIBE SIN ANEXOS

Quito, 17 de diciembre del 2014  
OF: UDLA-AMB-133-2014

Señores  
MINISTERIO DEL AMBIENTE  
Quito.

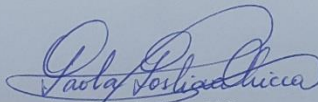
**Asunto:** Solicitud INFORMACIÓN-CANTERAS SAN ANTONIO DE PICHINCHA

Mediante el presente, la Coordinación de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad de las Américas, desea dar a conocer a usted el interés de que nuestros estudiantes desarrollen líneas de investigación referidas al cumplimiento de control ambiental de los procesos generados en las canteras y los impactos ambientales que estos generan; como un ejemplo del adelanto que existe en el país en el desarrollo y aplicación de protocolos de gestión y remediación ambiental.

Motivo por el cual de la manera más comedida solicito a usted autorice que la Srta. Radharani Alzate Luna con CI: 1714333364 pueda acceder a la información de los "Estudios de Impacto Ambiental que se hayan realizado en las zonas de las CANTERAS DE SAN ANTONIO DE PICHINCHA Y POMASQUI o a su vez Estudios que se hayan realizado concerniente a MATERIAL PARTICULADO en dichas zonas. Este pedido lo realizo debido a que la estudiante se encuentra realizando la Tesis previa a la obtención del título, con tema de (*"Determinación de Material Particulado Fino generado especialmente por las Canteras del sector de San Antonio de Pichincha"*)

También me permito indicar que toda información suministrada a la estudiante será de carácter confidencial, y el manejo de información servirá exclusivamente para el desarrollo del proyecto, y que los resultados serán compartidos mediante un informe técnico previo a la finalización del proyecto de titulación.

Por la atención que se digne en prestar a la presente, me despido agradeciéndole de sobremanera y deseándole éxitos en el cumplimiento de su grata y buena labor.

  
Ing. Paola Posligua M.Sc  
Coordinadora Académica de Ingeniería Ambiental  
Universidad de las Américas UdlA, Quito-Ecuador  
Teléfono: 23981000 ext. 277  
paola.posligua@udla.edu.ec

Universidad de Las Américas  
Av. Granados E12-41 y Colimes • Quito - Ecuador • Teléf.: 3970 - 000 • PO BOX 17-17-9788  
www.udla.edu.ec

## Anexo 6: Solicitud de ingreso a las escuelas



Quito 13 de mayo de 2015  
OF: UDLA-AMB-149-2015

Sra. Lic.  
Valeria Del Hierro.  
DIRECTORA ENCARGADA DEL DISTRITO LA DELICIA

Presente.-

**Asunto:** Solicitud de ingreso a institución educativa.

Por medio de la presente, la Dirección de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad de las Américas, se dirige a Usted de la manera más cordial para que por favor se sirva autorizar el acceso a la Srta. Radharani Alzate Luna con Ci. 171433336-4 y matrícula universitaria 500107 a las instalaciones de la instituciones abajo nombradas, para poder realizar el estudio dentro su trabajo de titulación "Contaminación por Material Particulado en las Escuelas del Sector de San Antonio de Pichincha", por motivo culminación de la carrera de Ing. Ambiental de la Universidad de Las Américas.

Las Escuelas son:

- Werner Heisenberg School
- Unidad Educativa Misión Geodésica
- Scotland School
- Escuela 29 de Junio
- Escuela La Libertad

Se realizará un monitoreo diario del material particulado de  $2.5 \mu\text{m}$  durante 10 días consecutivos, 5 días dentro del aula (contaminación interior) y 5 días en los exteriores de esta (contaminación exterior), en un periodo de 8 horas cada día. Este estudio se llevará a cabo con el MICRO DUST PRO, un equipo de medición de concentraciones de polvo y aerosoles en el aire. Esta actividad no interferirá al normal desenvolvimiento de las clases. El estudio no requiere trabajar con los niños, pero sí en el espacio donde reciben clases. Las fechas del monitoreo se especifican a continuación;

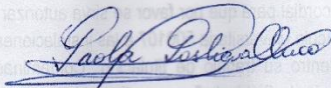


14 MAY 2015

Modo de	Nombre de tarea	Comienzo	Fin	Predece	15	mar 22 '15	abr 12 '15	may 3 '15	may 24 '15	jun 14 '15	jun 25 '15	jul 5 '15	jul 15 '15
					X	J	V	S	D	L	M	X	J
1	Trámites correspondientes en Escuelas y El Distrito (Ministerio de Educación)	lun 5/11/15	mar 5/19/15										
2	Cartas Institucionales	mar 5/12/15	vie 5/15/15										
3	Monitoreo Escuela LA LIBERTAD	vie 5/15/15	dom 5/24/15										
4	Monitoreo Escuela 29 de Junio	lun 5/25/15	vie 6/5/15										
5	Monitoreo Unidad Educativa MISION GEODESICA	lun 6/8/15	vie 6/19/15										
6	Monitoreo Werner Heisenberg School	lun 6/22/15	vie 7/3/15										
7	Monitoreo Scotland School	lun 7/6/15	vie 7/17/15										

El trabajo de titulación contará la supervisión del docente Ing. Alejandro González.

Sin otro propósito, se despide atentamente



Ing. Paola Posligua M.Sc  
 Directora Académica de Ingeniería Ambiental  
 Universidad de las Américas UDLA, Quito-Ecuador  
 Teléfono: 23981000 ext. 277  
 paola.posligua@udla.edu.ec

- Werner Heisenberg School
- Unidad Educativa Mision Geodesica
- Scotland School
- Escuela 29 de Junio
- Escuela La Libertad

Se realizará un monitoreo diario del material particulado de 2.5 µm durante 10 días consecutivos, 2 días dentro del día (concentración interior y 8 días exterior) en un periodo de 4 horas cada día. Este estudio se llevará a cabo con el equipo de monitoreo de concentración de polvo y aerosoles en el aire. Esta actividad no interferirá el normal desenvolvimiento de las clases. El estudio se realizará en el espacio donde reciben clases. Las fechas del monitoreo se especifican en la siguiente tabla.



## Anexo 7: Oficio de autorización de ingreso a las escuelas



Ministerio  
de Educación

MINISTERIO DE EDUCACIÓN  
SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO  
DIRECCIÓN DISTRITAL 3 LA DELICIA



Distrito  
Educativo

OFICIO No. 988- MINEDUC-DISTLADELICIA-DESP.

Quito D.M. 19 de mayo/ 2015

Srta.  
RADHARAMI ALZATE LUNA  
Presente.

De mi consideración:

Reciba un atento y cordial saludo de la Dirección Distrital de Educación La Delicia. Y en respuesta a su trámite N. 19726, donde solicita autorización para el ingreso a las instituciones educativas de la zona, para la realización de su proyecto de tesis esta actividad no debe interferir en las horas de clases y con la respectiva coordinación de las Autoridades Institucionales, esta Dirección Distrital indica que su requerimiento SI PROCEDE.

Reitero mi consideración y estima.

Atentamente,

Valeria Del Hierro Pérez  
DIRECTORA DISTRITAL ( E )



**Transformar la educación, misión de todos**

Dirección: Av. Manuel Córdova Galarza y Manuelita Sáenz S/N (predios del Colegio Nacional Pomasqui)  
Web Site: [www.educacion.gob.ec](http://www.educacion.gob.ec) - Teléfono: 3930800



Dirección Distrital 17D03 La Delicia



### SOLICITUD DE ATENCIÓN CIUDADANA 17D03-19726

**FECHA DE SOLICITUD** 2015-05-12

EC14/81840777

**DATOS DEL SOLICITANTE**

CEDELA: 1714333364  
NOMBRES: ALZATE LUNA RADHARANI DASÍ  
IE: [NINGUNO]  
CORREO: TELF: 094550779 / 023210968

**PROCESO SOLICITADO**

UNIDAD: APOYO Y SEGUIMIENTO  
PROCESO: OTROS - APOYO Y SEGUIMIENTO

**OBSERVACIONES**

AUTORIZACIÓN PARA INGRESAR A LAS INSTITUCIONES  
POR REALIZACIÓN DE TESIS

**ANEXOS**

Hojas Foleadas: 1 CD: 0 Archivos Fotográficos: 0

SERVIDOR PÚBLICO: JOHANNA ROCÍO FREIRE ANDRADE

**FECHA DE ENTREGA**  
2015-05-19



*[Firma]*  
Subsecretaría de Educación Quito  
**FIRMA**  
UNIDAD DISTRICTAL DE ATENCIÓN CIUDADANA  
Dirección Distrital 17D03

Subsecretaría de Educación Quito  
Dirección Distrital 17D03 La Delicia  
**RECIBIDO**  
Fecha y Hora: .....  
Nombre: .....  
Firma: .....

CERTIFICADOS BAJO LA NORMA ISO 9001 2008 EN LA PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE ATENCIÓN CIUDADANA

## Anexo 8: Solicitud entrada Escuela la Libertad

Quito 13 de mayo de 2015  
OF: UDLA-AMB-147-2015

Sr. Dr.  
Oswaldo Alzaga P.  
DIRECTOR ESCUELA LA LIBERTAD

Presente.-

**Asunto:** Solicitud de ingreso a institución educativa.

Por medio de la presente, la Coordinación de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad de las Américas, se dirige a Usted de la manera más cordial para que por favor se sirva autorizar el acceso a la Srta. Radharani Alzate Luna con CII. 171433336-4 y matrícula universitaria 500107 a las instalaciones de la institución, para poder realizar es estudio de trabajo de titulación "Contaminación por Material Particulado en las Escuelas del Sector de San Antonio de Pichincha", por motivo culminación de la carrera de Ing. Ambiental de la Universidad de Las Américas.

Se realizará un monitoreo diario del material particulado de 2.5  $\mu\text{m}$  durante 10 días consecutivos, 5 días dentro del aula (contaminación interior) y 5 días en los exteriores de esta (contaminación exterior). Este estudio se llevará acabo con el MICRO DUST PRO, un equipo de medición de concentraciones de polvo y aerosoles en el aire. Esta actividad no interferirá al normal desenvolvimiento de las clases. Las fechas del monitoreo se especifican a continuación:

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
Monitoreo Escuela LA LIBERTAD	7 días	vie 5/15/15	dom 5/24/15

El trabajo de titulación contará la supervisión del docente Ing. Alejandro González.

Sin otro propósito, se despide atentamente

Ing. Paola Posigua M.Sc  
Directora Académica de Ingeniería Ambiental  
Universidad de las Américas UDLA, Quito-Ecuador  
Teléfono: 23981000 ext. 277  
paola.posigua@udla.edu.ec

Recibido y aceptado  
Dr. Oswaldo Alzaga P.  
Director  
2015-05-14.

## Anexo 9: Solicitud entrada Escuela 29 de Junio

Quito 13 de mayo de 2015  
OF: UDLA-AMB-150-2015

Sra. Lic.  
Veronica Mina Msc.  
**DIRECTORA ESCUELA 29 DE JUNIO**

Presente.-

**Asunto:** Solicitud de ingreso a institución educativa.

Por medio de la presente, la Coordinación de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad de las Américas, se dirige a Usted de la manera más cordial para que por favor se sirva autorizar el acceso a la Srta. Radharani Alzate Luna con CII. 171433336-4 y matrícula universitaria 500107 a las instalaciones de la institución, para poder realizar es estudio de trabajo de titulación "Contaminación por Material Particulado en las Escuelas del Sector de San Antonio de Pichincha", por motivo culminación de la carrera de Ing. Ambiental de la Universidad de Las Américas.

Se realizará un monitoreo diario del material particulado de 2.5  $\mu\text{m}$  durante 10 días consecutivos, 5 días dentro del aula (contaminación interior) y 5 días en los exteriores de esta (contaminación exterior). Este estudio se llevará acabo con el MICRO DUST PRO, un equipo de medición de concentraciones de polvo y aerosoles en el aire. Esta actividad no interferirá al normal desenvolvimiento de las clases. Las fechas del monitoreo se especifican a continuación:

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
Monitoreo Escuela 29 de Junio	10 días	lun 5/25/15	vie 6/5/15

El trabajo de titulación contará la supervisión del docente Ing. Alejandro González.

Sin otro propósito, se despide atentamente

Ing. Paola Postigua M.Sc  
Directora Académica de Ingeniería Ambiental  
Universidad de las Américas UDLA, Quito-Ecuador  
Teléfono: 23981000 ext. 277  
paola.postigua@udla.edu.ec



Recibido 14/05/2015.

## Anexo 10: Solicitud entrada Unidad Educativa Misión Geodésica



Quito 13 de mayo de 2015  
OF: UDLA-AMB-151-2015

Sra.  
Carmen Cárdenas, MSc.  
DIRECTORA UNIDAD EDUCATIVA MISIÓN GEODÉSICA

Presente.-

**Asunto:** Solicitud de ingreso a institución educativa.

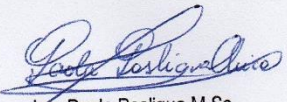
Por medio de la presente, la Coordinación de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad de las Américas, se dirige a Usted de la manera más cordial para que por favor se sirva autorizar el acceso a la Srta. Radharani Alzate Luna con CII. 171433336-4 y matrícula universitaria 500107 a las instalaciones de la institución, para poder realizar es estudio de trabajo de titulación "Contaminación por Material Particulado en las Escuelas del Sector de San Antonio de Pichincha", por motivo culminación de la carrera de Ing. Ambiental de la Universidad de Las Américas.

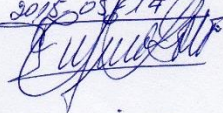
Se realizará un monitoreo diario del material particulado de 2.5  $\mu\text{m}$  durante 10 días consecutivos, 5 días dentro del aula (contaminación interior) y 5 días en los exteriores de esta (contaminación exterior). Este estudio se llevará acabo con el MICRO DUST PRO, un equipo de medición de concentraciones de polvo y aerosoles en el aire. Esta actividad no interferirá al normal desenvolvimiento de las clases. Las fechas del monitoreo se especifican a continuación:

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
Monitoreo Unidad Educativa MISIÓN GEODESICA	10 días	lun 6/8/15	vie 6/19/15

El trabajo de titulación contará la supervisión del docente Ing. Alejandro González.

Sin otro propósito, se despide atentamente

  
Ing. Paola Posigua M.Sc  
Directora Académica de Ingeniería Ambiental  
Universidad de las Américas UDLA, Quito-Ecuador  
Teléfono: 23981000 ext. 277  
paola.posigua@udla.edu.ec

Recibido  
2015-05-14  


AUTORIZADO





# Anexo 11: Solicitud entrada Escuela Werner Heisenberg



Quito 13 de mayo de 2015  
OF: UDLA-AMB-146-2015

DIRECCIÓN WERNER HEISENBERG SCHOOL

Presente.-

**Asunto:** Solicitud de ingreso a institución educativa.

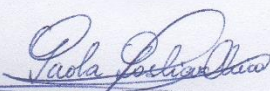
Por medio de la presente, la Coordinación de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad de las Américas, se dirige a Usted de la manera más cordial para que por favor se sirva autorizar el acceso a la Srta. Radharani Alzate Luna con CII. 171433336-4 y matrícula universitaria 500107 a las instalaciones de la institución, para poder realizar es estudio de trabajo de titulación "Contaminación por Material Particulado en las Escuelas del Sector de San Antonio de Pichincha", por motivo culminación de la carrera de Ing. Ambiental de la Universidad de Las Américas.

Se realizará un monitoreo diario del material particulado de 2.5  $\mu\text{m}$  durante 10 días consecutivos, 5 días dentro del aula (contaminación interior) y 5 días en los exteriores de esta (contaminación exterior). Este estudio se llevará acabo con el MICRO DUST PRO, un equipo de medición de concentraciones de polvo y aerosoles en el aire. Esta actividad no interferirá al normal desenvolvimiento de las clases. Las fechas del monitoreo se especifican a continuación:

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
Monitoreo Werner Heisenberg School	10 días	lun 6/22/15	vie 7/3/15

El trabajo de titulación contará la supervisión del docente Ing. Alejandro González.

Sin otro propósito, se despide atentamente

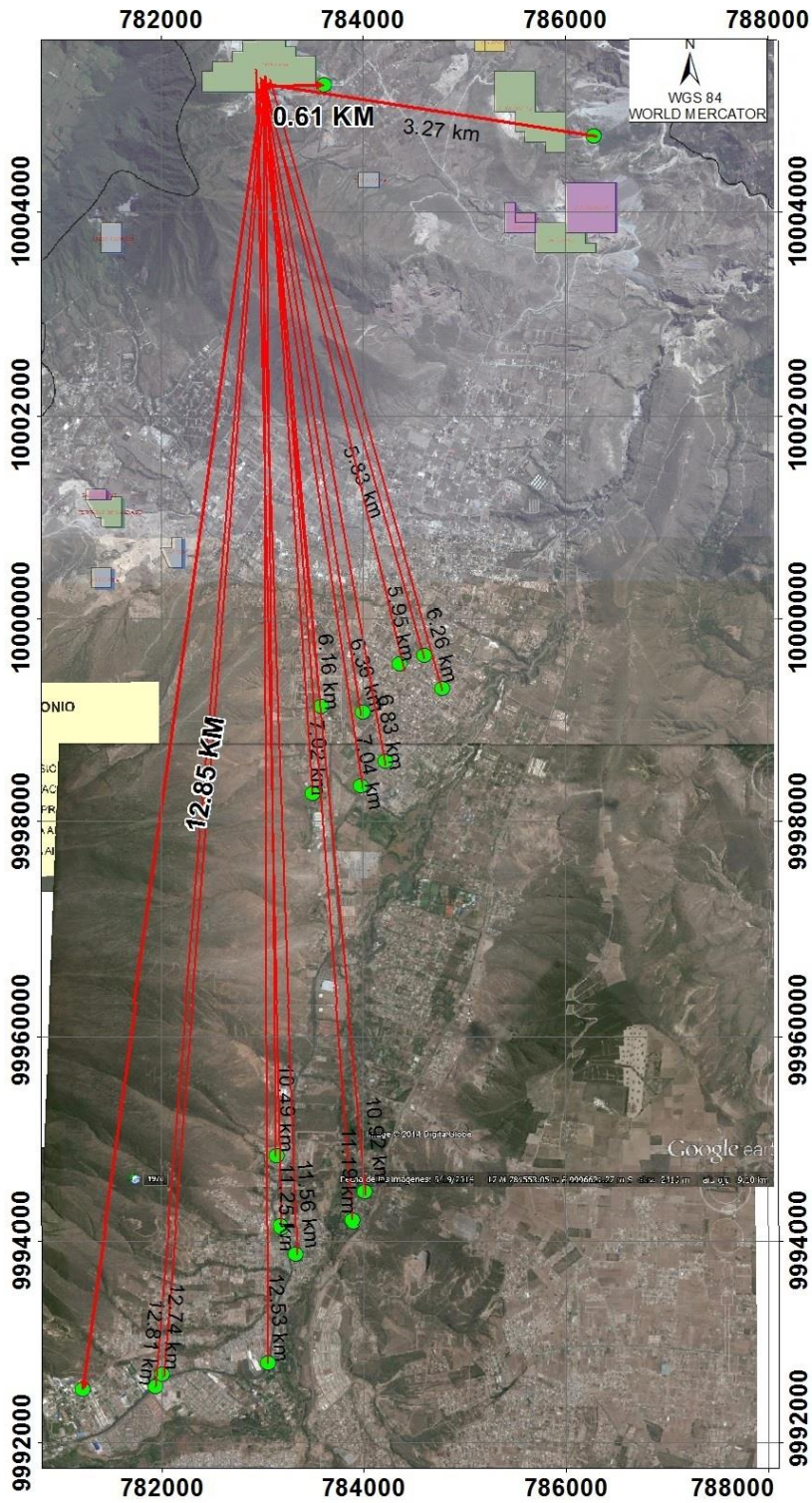
  
Ing. Paola Posligua  
Directora Académica de Ingeniería Ambiental  
Universidad de las Américas UDLA, Quito – Ecuador  
Teléfono: 3981000 ext. 277  
poala.posligua@udla.edu.ec

14-05-2015  
Recibido  
13:50

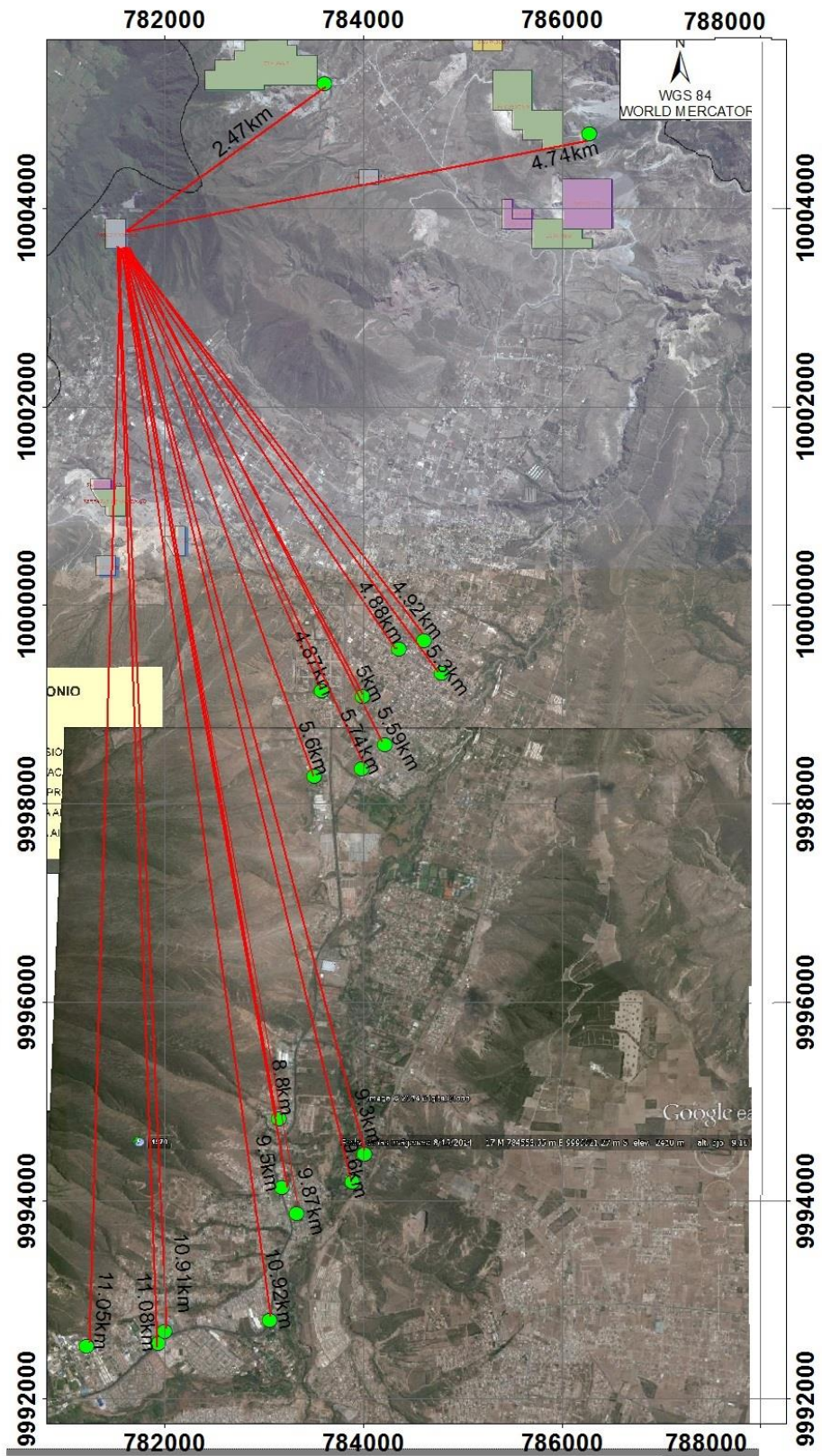


# Anexo 12: Distancias medidas con ARC GIS

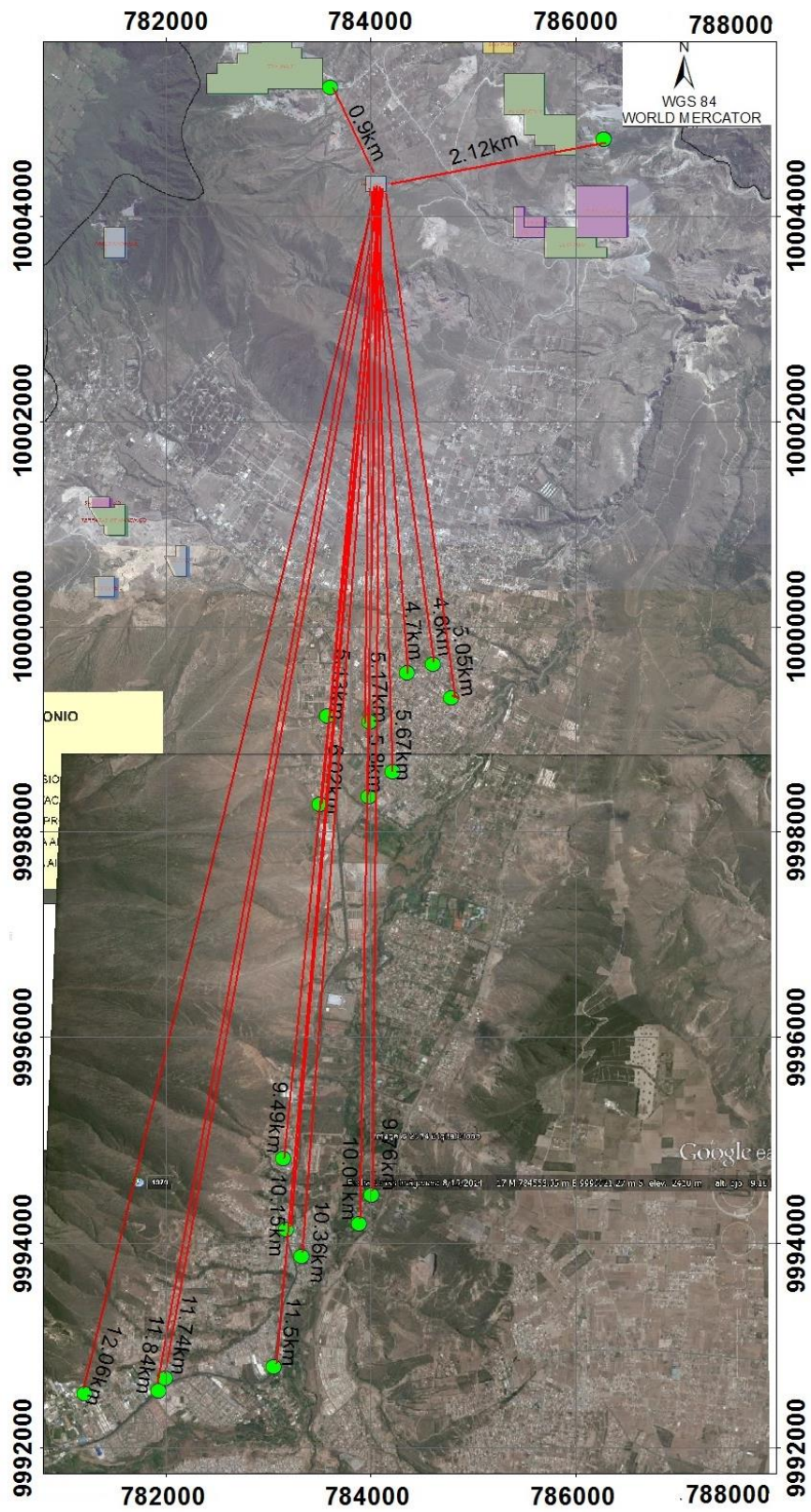
Tanlahua



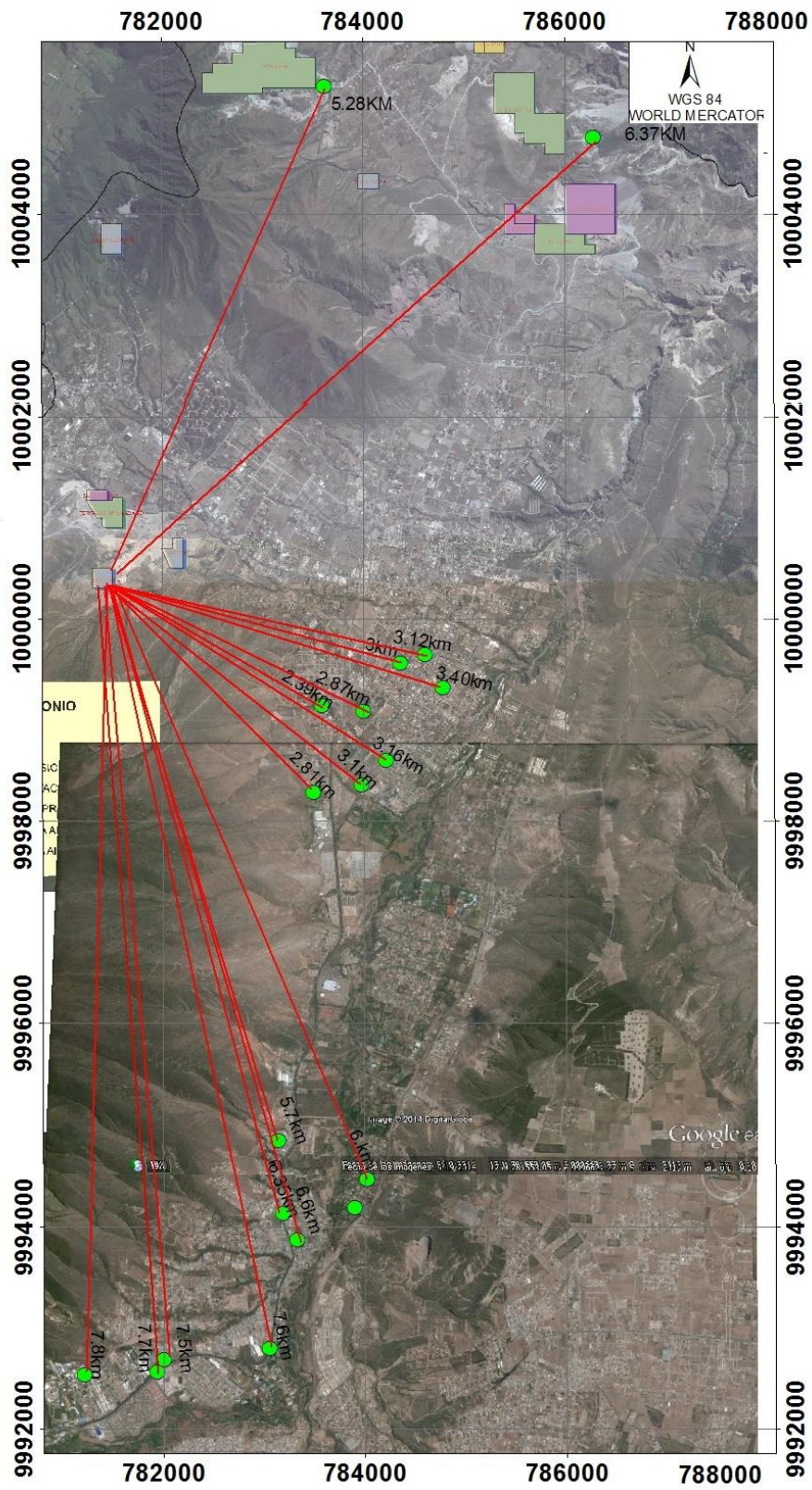
Pablo Andrade



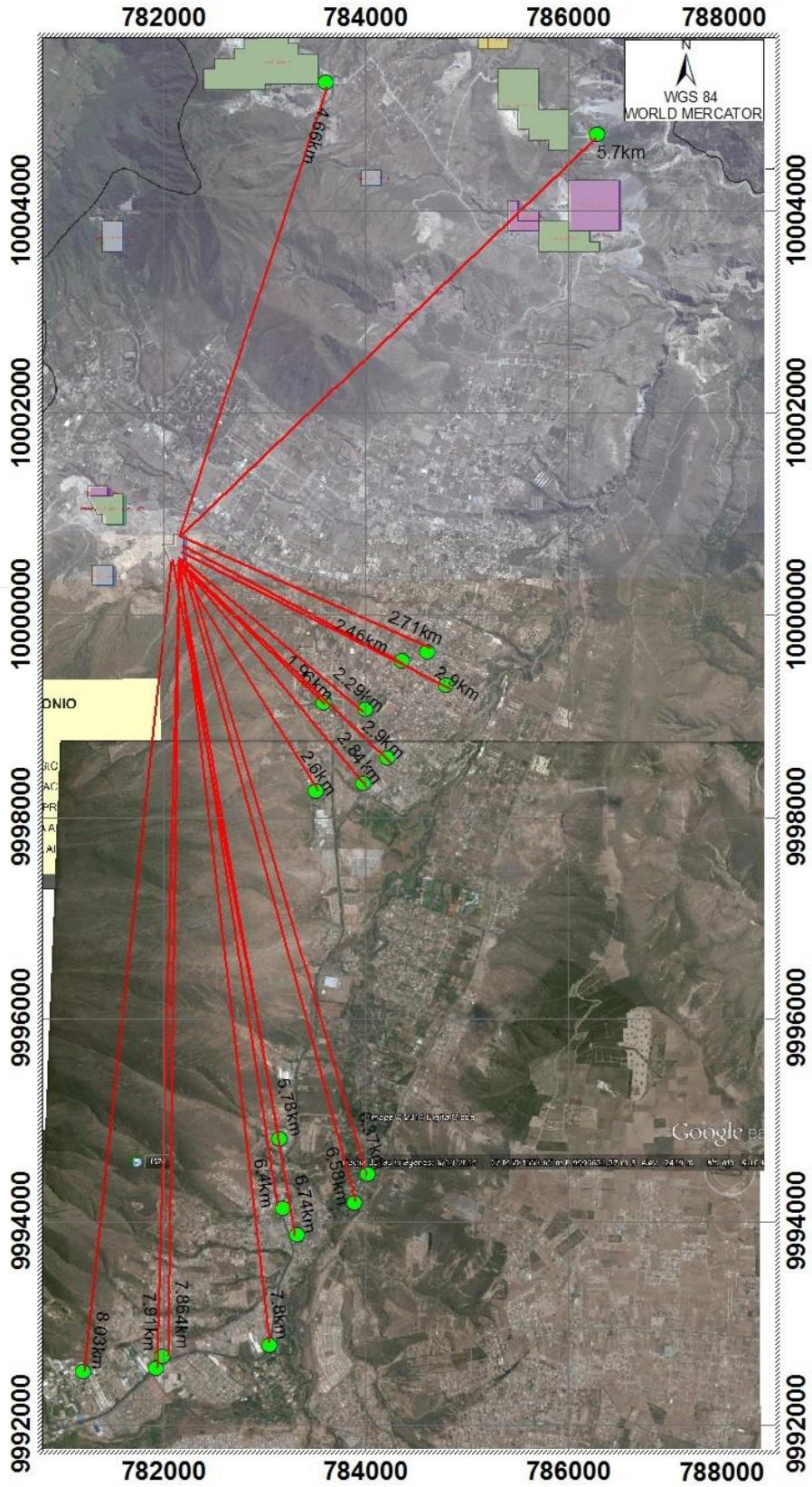
# Tanlahuilla



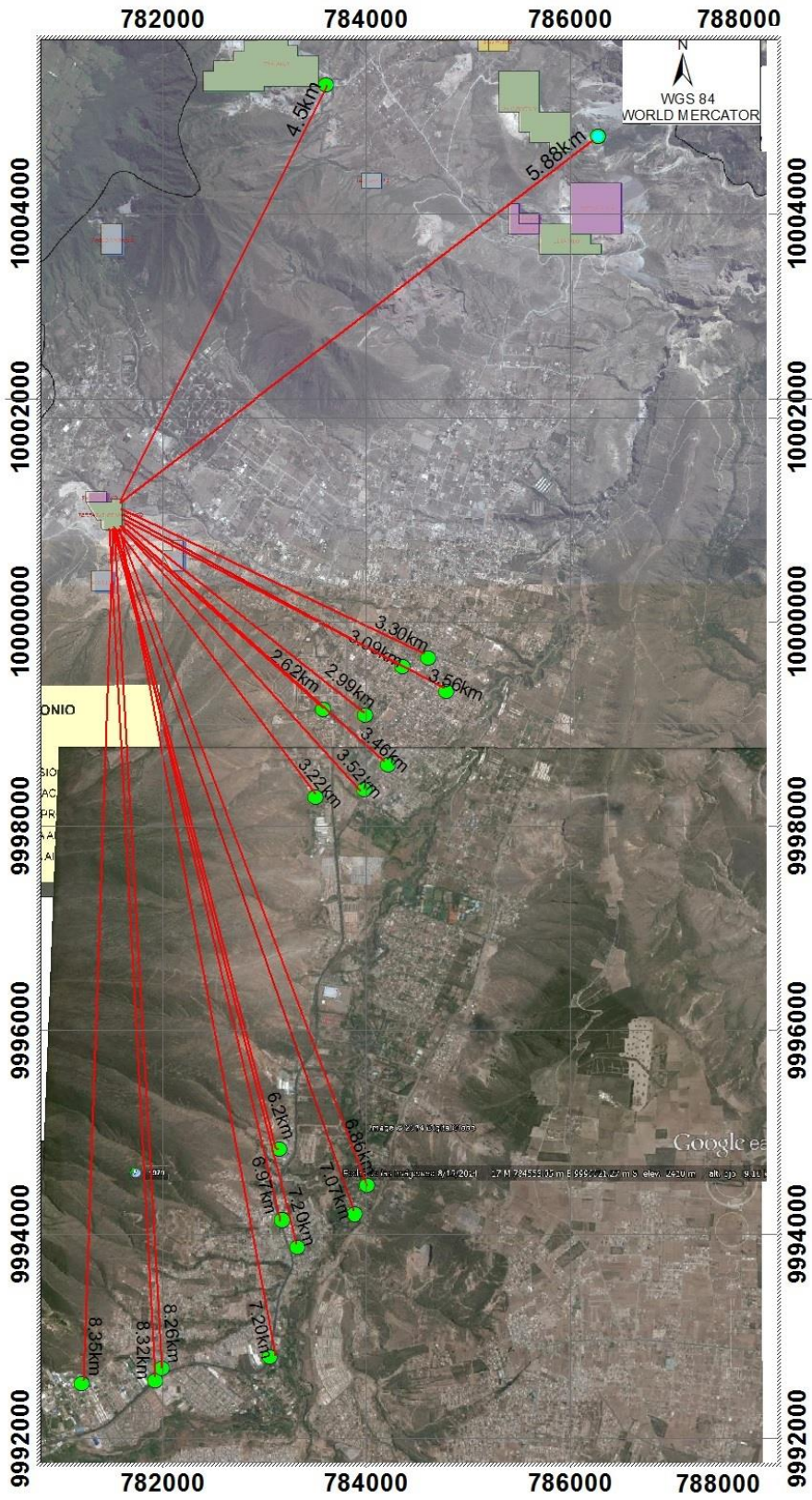
# Santa Fe II



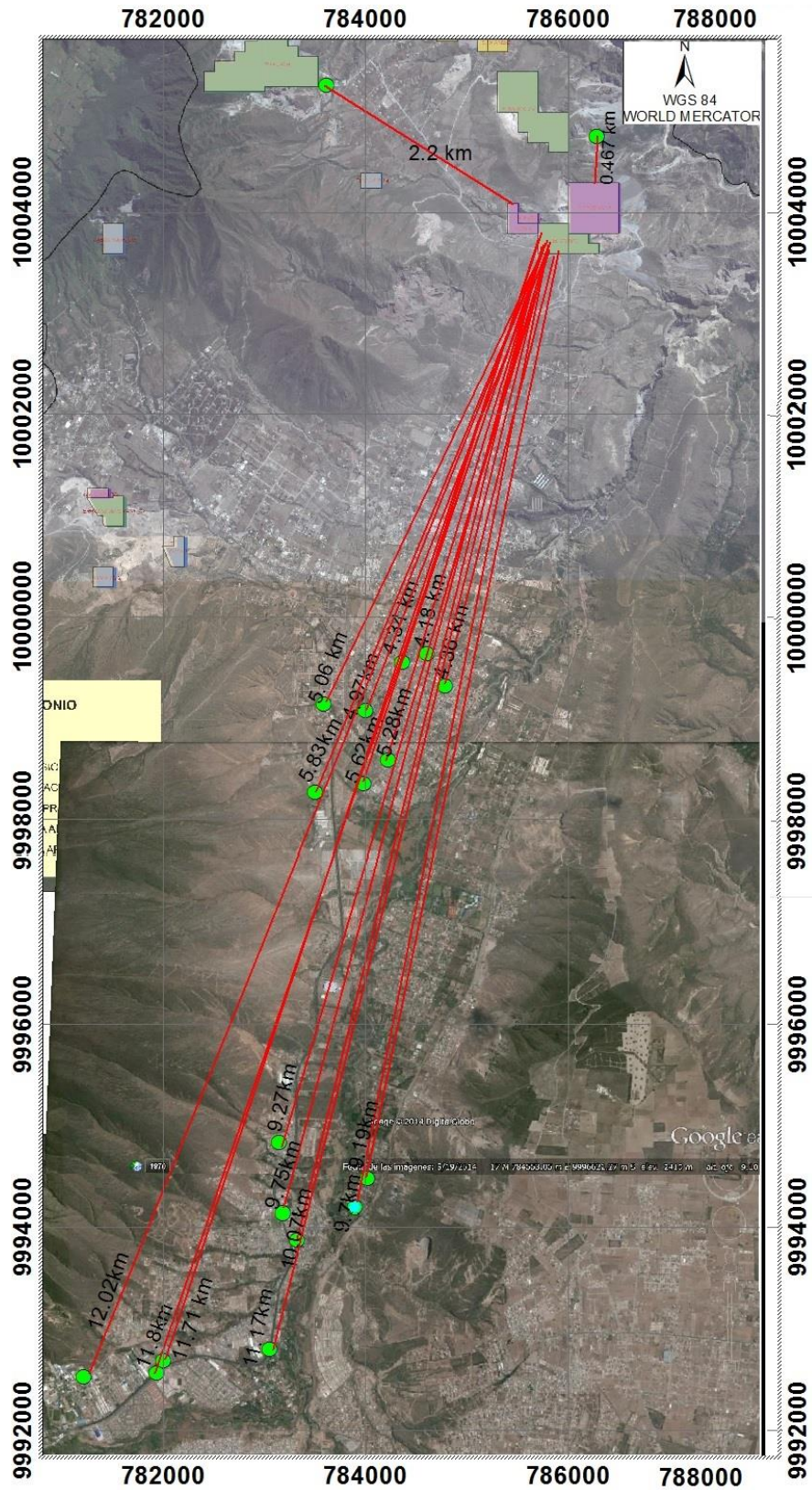
Favito



# Terrazas de Mandingo

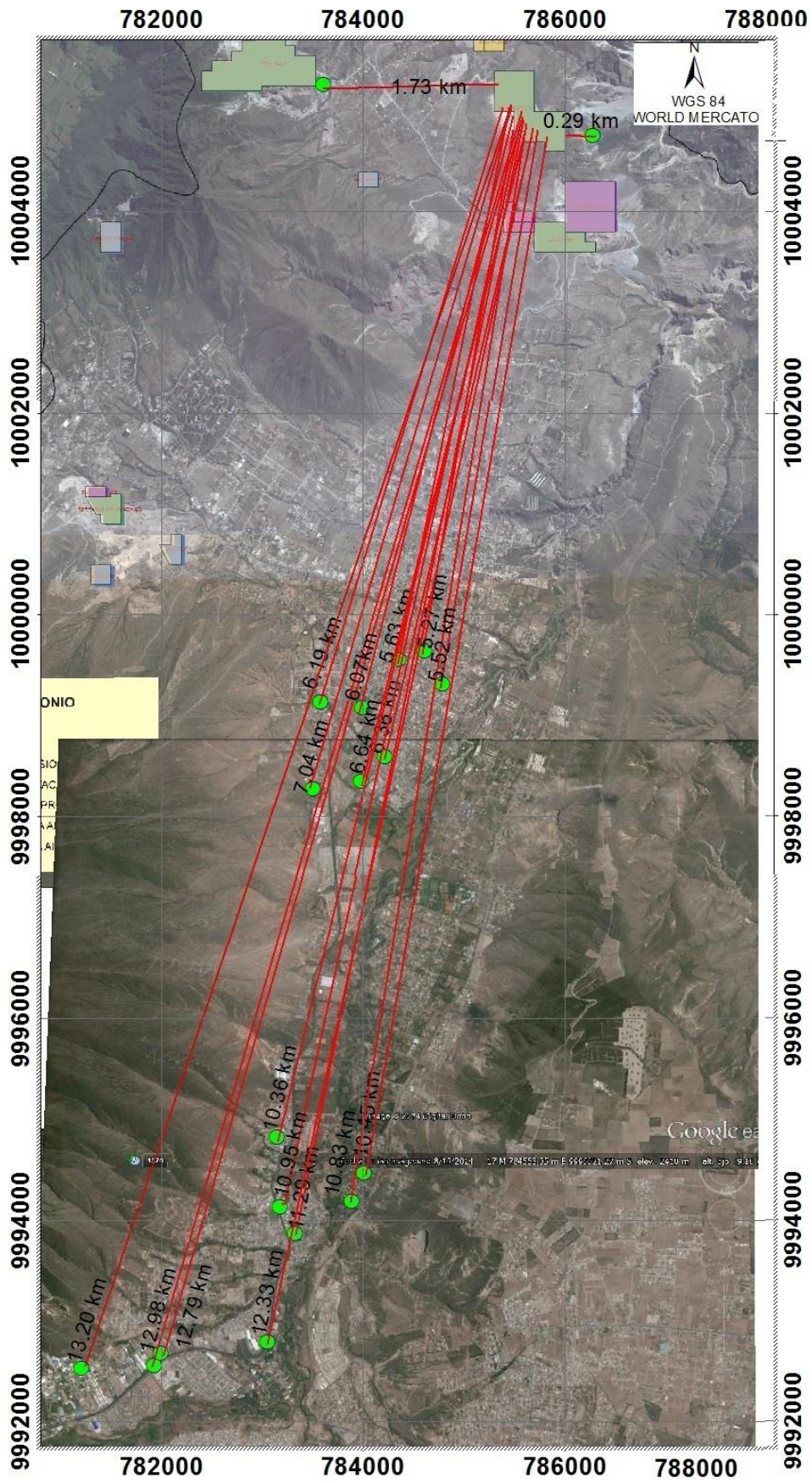


# Fucususu III\_ El Guabo\_Blanca II \_Rosita





# Fucusucu V



# Anexo 13: Facturas inversión cassettes y filtros



Environmental Products & Services USA LLC  
 51 West Main Street, Unit # 6A  
 Rockaway, NJ 07866  
 Tel 973.479.95.37 Fax 973.784.4071  
 Email Sales@epsi-usa.net

## INVOICE

Date	Invoice #
3/13/2015	EPSI15-86

**Bill To**  
 Radharani Alzate  
 Quito, Ecuador

**PAID**  
 03/13/2015

**Ship To**  
 Radharani Alzate  
 radhalakshmi@gmail.com  
 Quito  
 Ecuador

P.O. Number	Terms	Rep	Due Date	Via	F.O.B.	Ship
Verbal	Prepaid or Credit Ca...	CEC	3/13/2015	Prepaid or Cr...	Quito	3/13/2015

Quantity	Item Code	Description	Price Each	Amount
1	7M93M	Cassette, 37 mm, 3pc 0.8um MCE, Matched	343.65	343.65
1	shipping charges	Cargos de envio Fedex Urgente Sabado Entregado en Orlando Florida	57.00	57.00
			<b>Total</b>	<b>USD 400.65</b>

Gracias por sus negocios

Federal Tax ID # 27-5439077

Thank you for your business !

**FACTURA** 000000005

Quito, 30 de Julio de 2015  
 Cliente: FULAF (IHA)  
 RUC/CI: 1709130900  
 Dir: L66 D0746  
 Tel: 3219940  
 Forma de pago: CREDITO

Autorización B.H.I. N°: 1116520226

Fecha de Emisión: No

Código	Descripción	Cantidad	V. Unitario	Valor
PERSONA	ME FILTRO PC-5	5,00	50,00	250,00
		<b>SUB-TOTAL</b>		<b>250,00</b>
		<b>I.V.A. 1%</b>		<b>2,50</b>
		<b>TOTAL \$</b>		<b>252,50</b>

**RECEIBO DE PAGO**

Yo, el Sr. MORENO GONZALEZ NATALIA GEANINA, en presencia de mi esposo MORENO GONZALEZ NATALIA GEANINA, declaro haber recibido de la empresa EPSI USA LLC, la suma de CINCO CIENTOS CINCUENTA Y DOS DÓLARES CON CINCUENTA CENTAVOS (USD 552,50) por concepto de pago de la factura de compra N° 000000005, emitida por la empresa EPSI USA LLC, el día 30 de Julio de 2015, en conformidad con el contrato de compra N° 000000005, suscrito entre ambas partes el día 30 de Julio de 2015, y el cual está suscrito y firmado por el Sr. MORENO GONZALEZ NATALIA GEANINA.

Yo, el Sr. MORENO GONZALEZ NATALIA GEANINA, declaro haber recibido de la empresa EPSI USA LLC, la suma de CINCO CIENTOS CINCUENTA Y DOS DÓLARES CON CINCUENTA CENTAVOS (USD 552,50) por concepto de pago de la factura de compra N° 000000005, emitida por la empresa EPSI USA LLC, el día 30 de Julio de 2015, en conformidad con el contrato de compra N° 000000005, suscrito entre ambas partes el día 30 de Julio de 2015, y el cual está suscrito y firmado por el Sr. MORENO GONZALEZ NATALIA GEANINA.

**MORENO GONZALEZ NATALIA GEANINA**

**MORENO GONZALEZ NATALIA GEANINA**

## Anexo 14: Certificado de calibración MICRODUST PRO



**Instrument Type:-** Microdust Pro (Standard Range: 0-2.5, 0-25, 0-250, 0-2500mg/m3)  
**Serial Number** 4111986

### Calibration Principle:-

Calibration is performed using ISO 12103 Pt1 A2 Fine test dust (*Natural ground mineral dust, predominantly silica, Arizona Road Dust equivalent, Particle size range 0.1 to 80 µm*).

A Wright Dust feeder system is used to inject and disperse calibration dust within a wind tunnel system. Particulate mass concentration is established using isokinetic sampling and gravimetric methods.

**Test Conditions:-** 23 °C      **Test Engineer:-** A Dye  
48 %RH      **Date of Issue:-** October 11, 2011

### Equipment:-

**Microbalance:-** Cahn C-33 Sn 75611  
**Air Velocity Probe:-** DA40 Vane Anemo. Sn 10060  
**Flow Meter:-** BGI TriCal EQ10851

### Calibration Results Summary:-

Applied Concentration	Indication	Error	
4.94 mg/m3	4.91	-1%	Target Error <15%

### Declaration of conformity:-

This test certificate confirms that the instrument specified above has been successfully tested to comply with the manufacturer's published specifications. Tests are performed using equipment traceable to national standards in accordance with Casella's ISO 9001:2000 quality procedures. This product is certified as being compliant to the requirements of the CE Directive.

**Casella CEL (U.K.)**  
Regent House  
Wonsley Road  
Kempston  
Bedford  
MK42 7JY

Phone: +44 (0) 1234 841100  
Fax: +44(0) 1234 841480  
E-mail: [info@casellacel.com](mailto:info@casellacel.com)  
Web: [www.casellacel.com](http://www.casellacel.com)

**Casella USA**  
17 Old Nashua Road #15  
Amherst  
NH 03031-2839  
U.S.A.

Toll Free: +1 (800) 366 2966  
Fax: +1 (803) 672 6053  
E-mail: [info@casellaUSA.com](mailto:info@casellaUSA.com)  
Web: [www.casellaUSA.com](http://www.casellaUSA.com)

**Casella España S.A.**  
Polígono Europa  
Calle C, nº4B  
28230 Las Rozas - Madrid

Phone: +34 91 640 75 19  
Fax: +34 91 638 01 95  
E-mail: [online@casella-es.com](mailto:online@casella-es.com)  
Web: [www.casella-es.com](http://www.casella-es.com)

# Anexo 15: Certificado de calibración TA440 TSI AIRFLOW

JN  
9-23-11

**TSI AIRFLOW INSTRUMENTS** **CERTIFICATE OF CALIBRATION AND TESTING**  
 TSI Instruments Ltd, Siltling Road, Cressex Business Park  
 High Wycombe Bucks HP12 3ST England  
 Tel: (Int +44) (UK 0) 1494 459200 Fax: (Int +44) (UK 0) 1494 459700 <http://www.airflowinstruments.co.uk>

ENVIRONMENT CONDITION			MODEL	TA440
TEMPERATURE	22.5	°C	SERIAL NUMBER	TA4401130001
RELATIVE HUMIDITY	41.77	%RH		
BAROMETRIC PRESSURE	991.2	hPa		

AS LEFT                       IN TOLERANCE  
 AS FOUND                       OUT OF TOLERANCE

- CALIBRATION VERIFICATION RESULTS -

TEMPERATURE VERIFICATION				SYSTEM T-200				Unit: °C
#	STANDARD	MEASURED	ALLOWABLE RANGE	#	STANDARD	MEASURED	ALLOWABLE RANGE	
1	0.0	-0.1	-0.3-0.3	2	60.0	60.1	59.7-60.3	

VELOCITY VERIFICATION				SYSTEM V-351				Unit: m/s
#	STANDARD	MEASURED	ALLOWABLE RANGE	#	STANDARD	MEASURED	ALLOWABLE RANGE	
1	0.00	0.00	-0.02-0.02	7	3.29	3.29	3.19-3.39	
2	0.18	0.18	0.16-0.19	8	5.10	5.08	4.94-5.25	
3	0.33	0.33	0.32-0.35	9	7.49	7.50	7.26-7.71	
4	0.51	0.51	0.49-0.52	10	12.61	12.61	12.23-12.99	
5	0.81	0.81	0.79-0.84	11	22.86	22.87	22.18-23.55	
6	1.66	1.66	1.61-1.71	12	30.02	29.99	29.12-30.92	

HUMIDITY VERIFICATION				SYSTEM H-200				Unit: %RH
#	STANDARD	MEASURED	ALLOWABLE RANGE	#	STANDARD	MEASURED	ALLOWABLE RANGE	
1	10.0	9.4	7.8-12.2	4	70.0	69.3	67.8-72.2	
2	29.9	28.7	27.7-32.1	5	90.0	89.5	87.8-92.2	
3	50.0	49.3	47.8-52.2					

*TSI does hereby certify that the above described instrument conforms to the original manufacturer's specification (not applicable to As Found data) and has been calibrated using standards whose accuracies are traceable to members of the European co-operation for Accreditation (EA) (for example: UKAS, SWEDAC, DAkkS) or has been verified with respect to instrumentation whose accuracy is traceable to some member of EA, or is derived from accepted values of physical constants. TSI's calibration system is registered to ISO-9001:2008 and meets the requirements of ISO 10012:2003.*

Measurement Variable	System ID	Measurement Variable	System ID
Temperature	E006020	DC Volts	E006008
Temperature	E006007	Temperature	E006127
Pressure	E006001	Pressure	E006000
DC Voltage	E006012	Temperature	E006021
Pressure	E006059	Velocity	E006017
Humidity	E006018	DC Volts	E006125
Temperature	E006006		

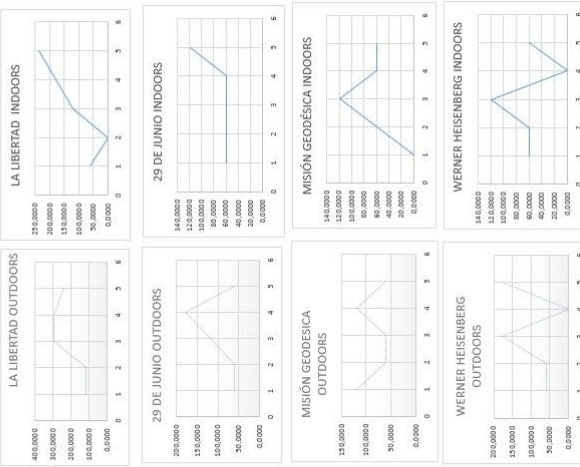
**15 SEP 2011**

Teresa Shouka

Doc ID CERT\_DEFAULT

# Anexo 16: Datos análisis gravimétrico PM 2.5 µm

ALMOHA SOPORTE E	FILTRO MUESTRA (g)	FILTRO CONTR OL (g)	DIA DIA	ESUELA	DIFERENCIA (FILTRO CON MUESTRA - MUESTRA CONTROL) (µg)	PROMEDIO FILTRO CON MUESTRA - MUESTRA CONTROL (µg)	PROMEDIO MEDICIONES DE TODAS LAS ESUELAS	PROMEDIO MEDICIONES DE TODAS LAS ESUELAS	VOLUMEN DE AIRE EN LITROS (3 l/min x tiempo)	DIAMET DEL FILTRO (3.7 cm)	ÁREA DEL FILTRO (cm²)	CONCENTRACIÓN DE PARTÍCULAS RECORRIDAS EN EL FILTRO (µg/cm²)	CONCENTRACIÓN DE PARTÍCULAS RECORRIDAS EN EL FILTRO (µg/m³)	PROMEDIO MEDICIONES DE TODAS LAS ESUELAS	PROMEDIO MEDICIONES DE TODAS LAS ESUELAS	PROMEDIO MEDICIONES DE TODAS LAS ESUELAS	
0.3763	0.0414	0.0412	01a1OUT	LA LIBERTAD	0.0002	200	360	205	130	168	3.7	25.50	7.8431	119.0476	214.2857	122.0238	77.3510
0.3763	0.0416	0.0416	01a2OUT	LA LIBERTAD	0.0000	200	360	205	130	168	3.7	25.50	7.8431	119.0476	214.2857	122.0238	77.3510
0.3763	0.0416	0.0416	01a3OUT	LA LIBERTAD	0.0000	200	360	205	130	168	3.7	25.50	7.8431	119.0476	214.2857	122.0238	77.3510
0.3763	0.0417	0.0417	01a4OUT	LA LIBERTAD	0.0005	500	500	500	500	168	3.7	25.50	19.6078	237.6180	500	500	500
0.3763	0.0417	0.0417	01a5OUT	LA LIBERTAD	0.0004	400	400	400	400	168	3.7	25.50	15.6663	238.0552	400	400	400
0.3763	0.0414	0.0413	01a1IN	LA LIBERTAD	0.0001	100	200	200	200	168	3.7	25.50	3.3216	59.5238	119.0476	0.0000	0.0000
0.3763	0.0412	0.0412	01a2IN	LA LIBERTAD	0.0000	0	0	0	0	168	3.7	25.50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.3763	0.0415	0.0403	01a3IN	LA LIBERTAD	0.0002	200	200	200	200	168	3.7	25.50	7.8431	119.0476	119.0476	119.0476	119.0476
0.3763	0.0414	0.0414	01a4IN	LA LIBERTAD	0.0003	300	300	300	300	168	3.7	25.50	11.7647	178.5714	178.5714	178.5714	178.5714
0.3763	0.0417	0.0415	01a5IN	LA LIBERTAD	0.0004	400	400	400	400	168	3.7	25.50	15.6663	238.0552	238.0552	238.0552	238.0552
0.3763	0.0413	0.0413	01a1OUT	29 DE JUNIO	0.0001	100	160	160	160	168	3.7	25.50	3.3216	59.5238	59.5238	59.5238	59.5238
0.3763	0.0413	0.0413	01a2OUT	29 DE JUNIO	0.0001	100	160	160	160	168	3.7	25.50	3.3216	59.5238	59.5238	59.5238	59.5238
0.3763	0.0413	0.0413	01a3OUT	29 DE JUNIO	0.0002	200	200	200	200	168	3.7	25.50	7.8431	119.0476	119.0476	119.0476	119.0476
0.3763	0.0413	0.0413	01a4OUT	29 DE JUNIO	0.0003	300	300	300	300	168	3.7	25.50	11.7647	178.5714	178.5714	178.5714	178.5714
0.3763	0.0413	0.0413	01a5OUT	29 DE JUNIO	0.0001	100	120	120	120	168	3.7	25.50	3.3216	59.5238	59.5238	59.5238	59.5238
0.3763	0.0417	0.0416	01a1IN	29 DE JUNIO	0.0001	100	100	100	100	168	3.7	25.50	3.3216	59.5238	59.5238	59.5238	59.5238
0.3763	0.0411	0.0410	01a3IN	29 DE JUNIO	0.0001	100	100	100	100	168	3.7	25.50	3.3216	59.5238	59.5238	59.5238	59.5238
0.3763	0.0411	0.0410	01a4IN	29 DE JUNIO	0.0001	100	100	100	100	168	3.7	25.50	3.3216	59.5238	59.5238	59.5238	59.5238
0.3763	0.0415	0.0415	01a5IN	29 DE JUNIO	0.0002	200	200	200	200	168	3.7	25.50	7.8431	119.0476	119.0476	119.0476	119.0476
0.3763	0.0415	0.0415	01a1OUT														



## Anexo17: Monitoreo atmosférico en las escuelas

