

ESTUDIO DE LOS HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICICLICOS (HAP)
PRESENTES EN PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES (PST), EN LA
CIUDAD DE POPAYÁN-CAUCA



MARIA ALEJANDRA ARMERO MUTIS
MARITZA ANDREA CARDONA RUALES

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
POPAYÁN
03/11/2016

ESTUDIO DE LOS HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICICLICOS (HAP)
PRESENTES EN PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES (PST), EN LA
CIUDAD DE POPAYÁN-CAUCA



MARIA ALEJANDRA ARMERO MUTIS
MARITZA ANDREA CARDONA RUALES

Trabajo de grado para optar al título de
INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO

Director trabajo de grado modalidad Investigación

Nazly Sánchez Peña
Ingeniera Ambiental

Doctorado en Ingeniería Química y Medio Ambiente

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

POPAYÁN

03/11/2016

NOTA DE ACEPTACION DEL DIRECTOR

La Directora y los jurados del trabajo de grado, modalidad investigación: “ESTUDIO DE HIDROCARBUROS AROMATICOS POLICICLICOS (HAP) PRESENTES EN PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES (PST) EN LA CIUDAD DE POPAYAN CAUCA.” realizado por MARITZA ANDREA CARDONA RUALES y MARIA ALEJANDRA ARMERO MUTIS Una vez revisado el informe final y aprobada la sustentación, autorizan para que se realicen los trámites concernientes para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental y Sanitario.

DIRECTOR TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

FIRMA JURADO

FIRMA JURADO

DEDICATORIA

Dedico este logro principalmente a Dios por haberme dado salud y fuerzas en los momentos difíciles, dándome a conocer su amor infinito y aumentando mi fe en él.

A mi padre **BOLÍVAR ARMERO GUERRERO**, por su apoyo incondicional en mi educación académica y personal, por su confianza, y por ser un gran ejemplo de lucha e insistencia cuando se quiere lograr una meta.

A mi madre **MARIA MUTIS PINO** que desde el cielo me ha enviado fuerzas para no desistir de las metas a cumplir, y que a la vez en su reemplazo envió a una gran persona, **DEYANIRA IMBACHI CASTILLO** te agradezco infinitamente tu paciencia, cariño y apoyo.

María Alejandra Armero Mutis

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a Dios por haberme permitido culminar mi carrera profesional, así como a mi padre **BOLÍVAR ARMERO GUERRERO**, por confianza, ejemplo y apoyo incondicional. A mi madre **MARIA MUTIS PINO** que desde el cielo me ha enviado fuerzas para no desistir de las metas a cumplir, y que a la vez en su reemplazo envió a una gran persona, **DEYANIRA IMBACHI CASTILLO** te agradezco infinitamente tu paciencia, cariño y apoyo.

A mi sobrina **VALERY ESPINOSA ARMERO** por su acompañamiento en esta etapa de mi vida, por visitarme y alegrarme en aquellos momentos que más lo necesite, así como a mi hermana **LISCETH ARMERO** por su paciencia y ayuda a mi padre durante mi ausencia.

A nuestros amigos **STHEFANY RUALES, DIEGO LUNA, MAIRA GUEVARA** y **ELKIN BRAVO**, por su colaboración y acompañamiento en el proceso inicial para la recolección de muestras. Gracias por su tiempo y esfuerzo.

Al físico científico **DENNIS MIKEL** de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, por sus recomendaciones en el proceso metodológico para esta investigación.

A mis maestros de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca por compartir su conocimiento, tiempo e impulsar el desarrollo de nuestra formación tanto profesional como personal. Gracias **ARNOL ARIAS** por esa calidad de persona, en donde más que maestro fuiste un amigo. A el docente **ALFONSO RAMIREZ** de la Universidad del Cauca, mil gracias por su colaboración en pro de la investigación.

A nuestra directora de tesis **NAZLY SÁNCHEZ PEÑA**, por su acompañamiento en nuestro trabajo, sus conocimientos compartidos y exigencias, gracias a ello, aprendimos a arriesgarnos y buscar donde otros no han buscado.

A mi novio **CARLOS FELIPE URIBE** por su paciencia, amor, acompañamiento y confianza en mí, así como a mi suegra por ser una gran amiga y confidente.

A mi amiga y compañera de tesis **MARITZA ANDREA CARDONA RUALES**, gracias por tu apoyo, optimismo y perseverancia, ya que sin importar los comentarios negativos acerca de nuestro trabajo, siempre tuviste un punto de vista positivo. Aprendimos muchísimas cosas juntas, más que una amiga fuiste como una hermana. Este es el comienzo de grandes cosas.

María Alejandra Armero Mutis

DEDICATORIA

Primero quiero dedicar este nuevo logro a Dios por permitirme llegar a este punto, por darme la perseverancia y fe necesaria para no decaer en cada obstáculo que impedía culminar esta etapa de mi vida.

A mi hermosa madre **CIELO AMPARO RUALES GUEVARA**, quien a pesar de los problemas que nunca faltaban ella siempre estuvo para mí, dándome el apoyo incondicional en cada decisión que debía tomar y es ella por quien hoy estoy aquí. Es mi motor que me permite avanzar y salir adelante en cada etapa y por quien seguiré luchando para brindarle todo lo que esté a mi alcance.

A mi padre **JULIAN CARDONA HENAO**, quien a pesar de las circunstancias me apoyó incondicionalmente, brindándome la confianza y fe en Dios de que todo saldrá bien si nos comprometemos y nos aventuramos a lo desconocido.

A mis hermanos **HARLON STIWAR FLOREZ RUALES, EDILSON CARDONA RUALES, JORDAN RUALES ROJAS, STELLA RUALES ROJAS**, quienes siempre fueron una de mis razones para no decaer e insistir en cada adversidad.

A **JORGE ALIRIO MORALES**, que ha llegado a ser un ser muy importante en mi familia y quien le ha dado un motivo más para salir adelante a mi madre, como también por su optimismo, apoyo y acompañamiento en momentos difíciles.

Maritza Andrea Cardona Rúales

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme lograr con éxito esta nueva etapa, por darme la salud y bienestar como también las fuerzas necesarias para avanzar en cada proceso del trabajo de grado y en lo personal.

A mi madre **CIELO AMPARO RUALES** y a mi padre **JULIAN CARDONA**, por luchar en cada momento para verme lograr mis metas y brindarme la confianza y optimismo necesario para continuar a pesar de los inconvenientes que se presentaban en el desarrollo del trabajo de grado como también de mi vida personal.

A mis hermanos por alentarme en cada momento, y sentirse orgullosos de cada uno de mis logros, exigiéndome seguir adelante y demostrar mis capacidades.

A nuestros amigos **STHEFANY RUALES, DIEGO LUNA, MAIRA GUEVARA** y **ELKIN BRAVO**, por su colaboración y acompañamiento en el proceso inicial para la recolección de muestras; Como también a **ROSA ZAMBRANO** por colaborarnos en la recolección de fondos para el pago de los análisis. Gracias por su tiempo y esfuerzo.

Al físico científico **DENNIS MIKEL** de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, por sus recomendaciones en el proceso metodológico para esta investigación.

A mis profesores de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, por los conocimientos adquiridos, porque además de ser nuestros maestros, la mayoría fueron amigos, de quienes recibimos muchos consejos en nuestro proceso formativo como también en el desarrollo de nuestra tesis. Dentro de ellos quiero resaltar al profesor **ARNOL ARIAS**; gracias de corazón por su apoyo y acompañamiento incondicional.

A la Doctora **NAZLY SÁNCHEZ**, nuestra directora de grado, por sus conocimientos compartidos y por enseñarnos a no conformarnos con lo primero que se consigue sino a exigirnos a buscar más allá para lograr nuestros objetivos.

A mi compañera, amiga y hermana **MARÍA ALEJANDRA ARMERO**, por animarme a aventurarnos en este camino desconocido, por los momentos felices, tristes y graciosos que pasamos en el transcurso del trabajo de grado, porque juntas nos dábamos ánimos para no dejarnos afectar de los comentarios un tanto escépticos o negativos respecto a nuestra investigación. Dios permita que esto solo sea el comienzo de una interminable lista de logros a cada una de nosotras. Gracias por tu amistad y apoyo incondicional.

Maritza Andrea Cardona Rúaless

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	20
1.3 OBJETIVOS	21
1.3.1 Objetivo general	21
1.3.2 Objetivos específicos.....	21
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO O REFERENTES CONCEPTUALES	22
2.1 ANTECEDENTES.....	22
2.2 BASES TEÓRICAS	25
2.3 BASES LEGALES.....	30
2.3.1 LEY 23 DE 1973 (diciembre 19).....	30
2.3.2 LEY 30 DE 1990 (marzo 5).....	30
2.3.3 LEY 99 DE 1993 (diciembre 22).....	30
2.3.4 DECRETO 948 DE 1995 (junio 5).....	30
2.3.5 Guías de calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS) 30	
2.3.6 RESOLUCION 0601 DE 2006 (abril 04)	30
2.3.7 RESOLUCION 651 DE 2010 (marzo 29)	30
2.4 HIPOTESIS.....	31
2.4.1 Planteamiento de las hipótesis.....	31
CAPITULO III: METODOLOGÍA.....	32
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSION	46
4.1 Presentación de los resultados obtenidos en la investigación.....	46
4.1.1 Peso promedio de PST de cada punto de muestreo	46
4.1.2 Datos pesaje de PST de punto 1	47
4.1.3 Influencia de la velocidad del viento y número de vehículos sobre la cantidad de partículas suspendidas totales	48
4.1.4 Resultados del análisis cromatográfico	51
4.1.5 Resultados obtenidos en Cromatografía de Gases-Masas	52

4.1.7 Efectos en la salud de compuestos encontrados por cromatografía de gases	66
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	69
5.1 Conclusiones	69
5.2 Recomendaciones	70
BIBLIOGRAFIA	72

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Alcanos lineales con raíz y sufijo	26
Tabla 2. Compuestos Emitidos por los Motores Diésel y sus transformaciones en la atmosfera	28
Tabla 3. Ubicación geográfica de cada punto de muestreo.....	33
Tabla 4. Equipos y/o aparatos utilizados en la medición	36
Tabla 5. Materiales, instrumentos y reactivos utilizados	38
Tabla 6. Información de extracción muestra calle 4, día martes 17 de mayo	40
Tabla 7. Materiales y equipos necesarios	41
Tabla 8. Información del proceso de rota evaporación.....	42
Tabla 9. Datos peso promedio de cada punto de muestreo	47
Tabla 10. Hoja de datos de recolección de muestra para punto 1	48
Tabla 11. Hoja de datos calle 4 con carrera 9 para extracción Soxhlet.....	51
Tabla 12. Temperatura y velocidad del viento promedio	52
Tabla 13. Límite de detección en cromatografía de gases masas para HAP	52
Tabla 14. Compuestos detectados, promedio de la cantidad relativa y similaridad del punto de muestreo calle 4 con carrera 9 en día de semana.	56
Tabla 15. Compuestos detectados, promedio de la cantidad relativa y similaridad del punto de muestreo calle 4 con carrera 9 en fin de semana.	58
Tabla 16. Compuestos detectados, promedio de la cantidad relativa y similaridad del punto de muestreo punto en blanco.	60
Tabla 17. Lista de compuestos encontrados, sus propiedades físicas y potencial efecto carcinógeno.....	62
Tabla 18. Compuestos y sus efectos en la salud	66
Tabla 19. Efectos en la salud de acuerdo al ítem representativo	67

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Peso promedio de PST en una hora por día en cada punto de muestreo	46
Gráfica 2. Relación concentración PST vs Promedio Velocidad del viento.....	49
Gráfica 3. Relación cantidad de vehículos vs Formación de PST.....	50
Gráfica 4. Compuestos presentes en la muestra día de semana (calle 4 carrera 9) e intervalo de confianza	57
Gráfica 5. Compuestos presentes en la muestra en fin de semana (calle 4 carrera 9) e intervalo de confianza	59
Gráfica 6. Compuestos presentes en la muestra punto en blanco e intervalo de confianza	61

LISTA DE IMÁGENES

	Pág.
Imagen 1. Trazado áreas de toma de muestra	34
Imagen 2. Pesaje bolsas para recolección de PST	35
Imagen 3. Interferencias externas	36
Imagen 4. Recolección de muestra con implementos de seguridad	37
Imagen 5. Montaje Soxhlet para muestras de PST	39
Imagen 6. Montaje Soxhlet y sus partes	40
Imagen 7. Proceso de rota evaporación	41
Imagen 8. Cromatógrafo de Gases/Masas de la Universidad de Nariño	44
Imagen 9. Registro fotográfico del procedimiento realizado en el trabajo de investigación	45
Imagen 10. Dirección del viento calle 4 carrera 9	49
Imagen 11. Cromatograma muestra Punto en Blanco (primera replica)	54
Imagen 12. Cromatograma muestra Calle 4-Cra 9 en semana (primera replica) .	54
Imagen 13. Cromatograma muestra Calle 4-Cra 9 fin de semana (primera replica)	55

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Coordenadas de cada punto de muestreo para punto 1	77
Anexo 2. Coordenadas de cada punto de muestreo para punto 2	77
Anexo 3. Coordenadas de cada punto de muestreo para punto 3	78
Anexo 4. Coordenadas de cada punto de muestreo para punto 4	78
Anexo 5. Coordenadas de cada punto de muestreo para punto 5	79
Anexo 6. Cálculos promedio PST recolectado en una hora.....	79
Anexo 7. Hoja de datos de recolección de muestra para Condominio	80
Anexo 8. Hoja de datos de recolección de muestra para Punto en blanco	80
Anexo 9. Hoja de datos de recolección de muestra para calle 5	81
Anexo 10. Hoja de datos de recolección de muestra para calle 6.....	81
Anexo 11. Hoja de datos punto en blanco para extracción Soxhlet	82
Anexo 12. Información de extracción muestra calle 4, día sábado 21 de mayo...	82
Anexo 13. Información de extracción muestra punto en blanco, día viernes 20 de mayo.....	82
Anexo 14. Cromatogramas segunda y tercera réplica del punto 1 (calle 4-martes)	83
Anexo 15. Cromatogramas segunda y tercera replica punto 1 (calle 4-sábado)..	84
Anexo 16. Cromatogramas segunda y tercera réplica del punto 5 (punto en blanco)	85
Anexo 17. Primer análisis de compuestos encontrados por cromatografía de gases masas en muestras de partículas suspendidas totales.	86
Anexo 18. Segunda replica de compuestos encontrados por cromatografía de gases masas en muestras de partículas suspendidas totales.	87
Anexo 19. Tercera replica compuestos encontrados por cromatografía de gases masas en muestras de partículas suspendidas totales.	88

LISTA DE MAPAS

Mapa 1. Ubicación de puntos de muestreo	Pág. 33
--	------------

RESUMEN

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) ha centrado su atención los últimos años en el mejoramiento de calidad de aire al que la población mundial está expuesta, todo esto a causa del gran crecimiento de las diferentes enfermedades de origen respiratorio y el material particulado como una de las fuentes principales, del cual el ser humano absorbe sustancias cancerígenas, mutagénicas y citotóxicas, producto principalmente de la combustión vehicular. El objetivo central de esta investigación es el análisis de los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos y otros compuestos, presentes en partículas suspendidas totales (PST), obtenidas a partir del barrido de las calles 4, 5 y 6 con carrera 9 en los días con mayor y menor flujo vehicular en la ciudad de Popayán. Se eligió la muestra que obtuvo mayor cantidad de PST recolectado sin interferencias externas (mantenimiento de vías, material de construcción, lavado de negocios, etc.) que fue la calle 4 carrera 9, la cual se analizó en un día de la semana y uno en fin de semana, también se seleccionó un punto en blanco (ausencia o bajo flujo vehicular), para posterior extracción Soxhlet que se realizó durante dos horas para cada muestra, puesto que la disponibilidad de laboratorio no permitía aumentar el tiempo de extracción; por último se analizó mediante Cromatografía de Gases Masas basado en el método TO-13A US-EPA. Solo se tuvieron en cuenta estas muestras, ya que no se contó con recursos económicos suficientes para abarcar la cantidad total de muestras seleccionadas inicialmente. Se hizo una comparación del material particulado recolectado en la calle 4 carrera 9 en semana y fin de semana como también del punto en blanco, respecto a la cantidad de vehículos que transitan, dirección y velocidad del viento para determinar la influencia que estos factores tendrían en la cantidad de PST recolectado.

De acuerdo a los resultados obtenidos, dos de los compuestos encontrados son clasificados por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) como posibles carcinógenos humanos, y que podrían representar un riesgo para la salud de las personas que constantemente transitan por la Calle 4 con Carrera 9 y otras sustancias químicas encontradas se encuentran en la lista negra del instituto sindical de trabajo, Ambiente y Salud, por sus características neurotóxicas y tóxicos para la reproducción. Este estudio permite dar a conocer las razones por las cuales la ciudad de Popayán debe empezar a realizar un monitoreo y seguimiento constante de la contaminación atmosférica, principalmente en las calles con alto flujo vehicular cuya malla vial es angosta.

Palabras claves: *Partículas Suspendidas Totales, cetonas, hidrocarburos aromáticos policíclicos, enfermedades respiratorias, cáncer, cromatografía de gases masas*

ABSTRACT

The Environmental Protection Agency US (EPA) has focused in recent years on improving air quality in the world's population is exposed, all this because of the great growth of various diseases of respiratory origin and particulate material as one of the main sources from which the human being absorbs carcinogenic substances, mutagenic and cytotoxic, mainly due to the vehicular combustion. The main objective of this research is the analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and other compounds present in total suspended particles (TSP), obtained from street sweeping 4, 5 and 6 with avenue 9 in days with major and minor traffic flow in the city of Popayan. The sample obtained as much TSP collected without external interference (road maintenance, construction material, washing business, etc.) that was the street 4 avenue 9, which was analyzed in a day of the week and one was chosen a day of weekend, a "blank point" was also selected (no or low traffic flow) for subsequent extraction Soxhlet realized for two hours for each sample, since the availability of laboratory not allowed to increase the extraction time; finally it analyzed by Gas Chromatography Mass based on the TO-13A US-EPA method. Only these samples were taken into account because it was not available sufficient financial resources to cover the total amount of initially selected samples. A comparison was made of particulate matter collected at street 4 avenue 9 week and weekend also point blank, with respect to the number of vehicles passing, direction and wind speed to determine the influence that these factors would be taken into the amount of collected TSP. According to the results, two of the compounds found are classified by the International Agency for Research on Cancer (IARC) as possible human carcinogens, and that could pose a risk to the health of people constantly passing through the street 4 avenue 9 and other chemicals compounds found are in the blacklist of the institute of work, Environment and Health, for their neurotoxic and toxic characteristics for reproduction. This study allows to present the reasons why the city of Popayan must start making monitoring and constant monitoring of air pollution, mainly in the streets with high traffic flow whose road network is narrow.

Keywords: *Total Suspended Particles, ketones, polycyclic aromatic hydrocarbons, respiratory diseases, cancer, gas chromatography mass.*

INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica es uno de los principales problemas ambientales que se presentan a nivel mundial, al formarse en el aire una mezcla compleja de contaminantes tanto naturales como de procedencia antropogénica, entre las que podemos nombrar el transporte, la actividad industrial y la quema de biomasa. Los hidrocarburos y cetonas son de los contaminantes de mayor interés a estudiar por sus efectos negativos en la salud humana y ambiente. Entre los hidrocarburos de mayor efecto tóxico existen los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) al ser identificados como compuestos carcinógenos, mutagénicos y teratógenos, que han generado preocupación de las autoridades de salud y ambiente. Estos pueden ser encontrados en forma de gas y adsorbido en el material particulado, dejando a millones de personas en el mundo expuestas a niveles de contaminación que exceden los límites permisibles estipulados.

Actualmente en Colombia el tema de hidrocarburos y compuestos como hidrocarburos alifáticos, ésteres, cetonas y alcoholes, producto de la combustión vehicular como contaminantes atmosféricos han sido poco explorados por su alto grado de complejidad, equipos de alta tecnología que se requieren para su captura, así como por la poca importancia que se le ha prestado al no cumplimiento de las normas de calidad de aire.

La presente tesis de investigación, busca identificar la concentración de los principales Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP) ratificados por la Agencia de Protección Ambiental (US-EPA), como de mayor riesgo tóxico para la sociedad, así como determinar los diferentes compuestos que pueden contener las partículas precipitadas producto de la combustión vehicular, todo esto mediante el análisis de tres muestras, la primera tomada un día de semana, la segunda un día del fin de semana y una última en un punto en blanco, ya que Popayán por su clima y al presentar en el centro de la ciudad, lugar de investigación, una malla vial angosta, inhibe la dispersión de los contaminantes, lo que permite que las personas que transitan por estas zonas respiren aire contaminado, todo esto con el fin de presentar posibles alternativas de solución y mitigación.

CAPITULO I: PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Organización Mundial de la Salud en el año 2014, incluyó por primera vez la contaminación del aire como una de las principales causas de cáncer de pulmón y de enfermedades como las cardiopatías isquémicas, accidentes cerebrovasculares e infección aguda de las vías respiratorias inferiores en los niños, a causa del incremento del uso de combustibles de mala calidad en vehículos y transportes pesados, donde niños y adultos mayores son los principales afectados, siendo más propensos a enfermedades de tipo respiratorio (Organización Mundial de la Salud, 2014).

El material particulado en suspensión es considerado como uno de los contaminantes del aire más importantes, en términos de sus posibles efectos sobre la salud humana. Este material puede contener en su interior concentraciones de diferentes hidrocarburos que se forman durante la combustión incompleta del carbón, petróleo, gasolina entre otras sustancias orgánicas, aumentando los índices de mortalidad y morbilidad a corto y largo plazo, en las personas que residen o trabajan en ambientes directamente influenciados.

Entre los países que presentan las cifras más preocupantes con respecto a la sanidad del aire, según la OMS, está India, en donde cada año mueren más de 900.000 personas solo por efecto de la contaminación ambiental, siendo la mayor tasa de muertes por enfermedades respiratorias a nivel mundial, seguida de países como China que a causa de su alta dependencia del carbón, produce material particulado en grandes cantidades y no muy lejos se encuentra el país de Bangladés, con más del 50% de las personas con afecciones a su salud debido al exceso de material particulado, que también se ha visto en incremento gracias al uso de combustibles fósiles (Jiménez, 2014).

Existen pocos estudios sobre afectación en la salud en Colombia, a causa de los hidrocarburos aromáticos policíclicos, alifáticos u otros compuestos en material particulado de acuerdo a revisiones bibliográficas, por lo cual es de gran importancia conocer la composición de aquella fracción respirable de material particulado que ingresa al tracto respiratorio hasta llegar a los sacos alveolares produciendo problemas de salud. Medellín, Santa Fe de Bogotá, Pamplona y Cúcuta, son algunas de las ciudades que realizaron estudios sobre la relación de material particulado y el crecimiento desmedido de enfermedades respiratorias y/o cardiovasculares (Arciniégas, 2012).

En Colombia, en el año 2012 el Banco Mundial entregó al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible un reporte sobre la situación medioambiental, efectos en la salud, costos económicos y su relación con la contaminación del aire, en el que se determinó que se presentan alrededor de 5.000 muertes prematuras; Santa Fe de Bogotá y el Área Metropolitana del Valle de Aburrá constituyen más del 75% de la mortalidad asociada, también se atribuyen aproximadamente 4.700 nuevos casos de bronquitis crónica por año; y estiman que el costo medio anual por contaminación del aire en las ciudades de Colombia fue cerca de 5'700.000 millones de pesos del PIB en el año 2009. Lo anterior, constituye un efecto significativo para los colombianos, puesto que hay una alta probabilidad de mortalidad prematura, problemas cardio respiratorias, y altos costos económicos a la salud (Daza, y otros, 2013).

En la ciudad de Popayán, a medida que la población aumenta, también lo hace el flujo vehicular, generando un gran volumen de contaminantes atmosféricos por las emisiones que estos producen. Por consiguiente, es importante determinar la peligrosidad que representa la concentración de hidrocarburos u otros compuestos en Partículas Suspendidas Totales presentes en el área a estudiar y su relación con enfermedades respiratorias y/o cardiovasculares.

1.2 JUSTIFICACIÓN

En Colombia la contaminación atmosférica ha aumentado en ciudades en vía de desarrollo, liderado principalmente por Santa Fe de Bogotá seguida de Medellín, Santiago de Cali, Barranquilla, Bucaramanga y Pereira, al presentar crecimiento del flujo vehicular siendo el combustible fósil el más usado. Según el *CONPES 3344*: “Las mayores emisiones de material particulado <10 micras, son ocasionadas por fuentes móviles (vehículos, motocicletas, etc.). La participación de distintos sectores en la contaminación del aire es alrededor de: 86% transporte terrestre, 8% industria, 3% termoeléctricas, 2% sector residencial y comercial y 1% transporte aéreo” (Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2005).

La contaminación del aire, se considera un serio problema ambiental, por la presencia de materiales peligrosos en la atmósfera, como son partículas suspendidas totales que presentan una mezcla compleja de enormes cantidades de sustancias químicas como hidrocarburos alifáticos y aromáticos, cetonas, ésteres, alcoholes; la mayoría atribuidos a procesos de combustión vehicular como fuente principal, adsorbidos en el material particulado (Sbarato, y otros), aumentando el riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares, respiratorias y en el mayor de los casos cáncer, por el tamaño de las partículas y la mezcla de los compuestos en conjunto, lo que hace más fácil su inhalación logrando incluso entrar en el torrente sanguíneo a través de los pulmones (Consejería de Sanidad de la Región de Murcia, 2010).

En la ciudad de Popayán, el estudio de la relación entre material particulado e hidrocarburos tanto aromáticos como alifáticos, cetonas, alcoholes y sus efectos sobre la salud, ha sido mínima al no tener conocimiento sobre enfermedades a corto y largo plazo que puede generar la exposición a estos compuestos, también por los escasos recursos económicos, tecnológicos y personal idóneo que carecen los entes gubernamentales para llevar a cabo dichos estudios.

El propósito de esta investigación, es estudiar un campo poco abordado, como es la calidad del aire; puesto que en la atmósfera puede encontrarse suspendido material particulado compuesto por sustancias que ocasionarían efectos adversos a la salud. En este contexto, la investigación ayudará a adquirir información vital, para determinar y analizar las sustancias peligrosas (hidrocarburos aromáticos, alifáticos, cetonas, alcoholes, ésteres) en material particulado, a pequeña escala en algunas vías con alto flujo vehicular de la ciudad de Popayán, según información suministrada por Movilidad Futura S.A.S., también ayudará a adoptar medidas correctivas y preventivas, a fin de minimizar o mitigar las afecciones en la salud producidas por la contaminación atmosférica.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Analizar la concentración de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos presentes en material particulado, proveniente de vías con alto flujo vehicular de la ciudad de Popayán

1.3.2 Objetivos específicos

1.3.2.1 Caracterizar los compuestos HAP presentes en el material particulado en los sitios priorizados.

1.3.2.2 Evaluar la calidad del aire en función de la concentración de HAP, en los sitios priorizados de la ciudad de Popayán.

1.3.2.3 Analizar las posibles enfermedades de acuerdo a las concentraciones de los HAP encontrados.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO O REFERENTES CONCEPTUALES

2.1 ANTECEDENTES

La contaminación ambiental por material particulado y la presencia de compuestos adheridos a este material, es uno de los mayores problemas mundiales, puesto que los gases producto de la combustión vehicular a los que se ve expuesta la población se ha asociado con numerosos efectos adversos a la salud como son muertes prematuras, enfermedades cardiovasculares y, cáncer de pulmón (Meléndez, Martínez, & Quijano, 2011), como también daños en órganos como riñones, hígado, sistema digestivo y reproductor según información del Instituto Sindical de trabajo, Ambiente y salud (ISTAS, s.f.).

Por ello, la importancia de tener conocimiento sobre el estado actual de las investigaciones y métodos utilizados en diferentes estudios efectuados a nivel nacional e internacional respecto al material particulado y compuestos contaminantes (HAP, Hidrocarburos Alifáticos u oxigenados) presentes en el mismo, y así proporcionar información vital para el desarrollo del presente estudio a realizar en la ciudad de Popayán. Con la información disponible se podrá seleccionar el método más apropiado para el monitoreo y medición de material particulado y la concentración de compuestos contaminantes de acuerdo a las similitudes que se encuentren sobre las variables climáticas y población.

En la ciudad de Santiago de Chile, en el año 2009, se hizo una revisión sobre los riesgos ambientales respecto a contaminación del aire, incluyendo el humo de tabaco, combustibles de biomasa y polución de fuentes móviles y fijas, que son identificadas como riesgos para la salud de los niños. Dentro de los temas mencionados se destacaron los compuestos orgánicos volátiles porque provienen de productos relacionados con la combustión, establecidos por hidrocarburos alifáticos, aromáticos y clorados, alcoholes, cetonas, aldehídos y formaldehído. Se determinó que la exposición a temprana edad reduce el crecimiento pulmonar y resulta en función pulmonar disminuida, como también puede ocasionar infecciones agudas virales y bacterianas bajas; otitis media; asma y enfermedades crónicas (Gavidia, Pronczuk, & Sly, 2009).

En Perú, en el año 2011, se realizó un estudio sobre las estimaciones de emisiones provenientes de fuentes móviles de los distritos de Chaupimarca, Yanacancha y Simón Bolívar, en la Provincia y Departamento de Pasco. Para ello, se utilizó el Modelo Internacional de Emisiones de Vehículos que estima los contaminantes atmosféricos en función de tres componentes como: Factores de emisión, actividad vehicular y distribución de flota vehicular. Se identificó la presencia de

contaminantes como COV, CO, NOx, SOx y MP; ultimando que las fuentes móviles emiten 28,11TM/día de contaminantes atmosféricos y se tiene al CO como el contaminante que se emite en mayor cantidad. Se concluyó que la presencia elevada de emisiones contaminantes de CO, NOx y COV proceso de la combustión incompleta en los vehículos que en su mayoría utilizan gasolina de 90 octanos, pueden afectar las vías respiratorias en el ser humano en forma dramática, puesto que favorece el ingreso de agentes contaminantes al organismo (Román & Dávila, 2011).

En Colombia se han realizado estudios en las principales ciudades, tales como Santa Fe de Bogotá, Santiago de Cali, Medellín, Bucaramanga y Santa Marta con el propósito de determinar el nivel de contaminación atmosférica por combustión vehicular y los efectos sobre la salud que puede generar el material particulado proveniente de fuentes móviles.

Bogotá D.C., es una de las ciudades que presentan mayor contaminación atmosférica en América Latina. En el año 2009, se hizo un estudio sobre contaminación del aire por material Particulado, en inmediaciones de corredores viales intervenidos por la Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento vial. Se concluyó que los niveles de contaminación de MP disminuyeron en zonas con calles en buen estado y con pavimento asfáltico reciclado. La evaluación llevada a cabo, permitió establecer que en más del 70% de los 40 experimentos realizados en campo, se registraron valores medios de concentración superiores a los valores de definidos por la Organización Mundial de la Salud, como niveles de concentración perjudiciales para la salud de las personas. Por lo anterior, se recomendó establecer un mecanismo de control que garantice una calidad homogénea de la intervención (Behrentz, Franco, & Zamudio, 2009).

En santa Marta, en el año 2010 se realizó un estudio sobre emisiones de compuestos orgánicos volátiles de origen biogénico y su contribución a la dinámica atmosférica, por la reactividad que puede llegar a presentar la mayoría de las sustancias al interactuar con las que se encuentren en mayor proporción en la atmosfera. Para lograr esto, se utilizaron herramientas tales como la teledetección de imágenes satelitales y aplicación de modelos matemáticos para cuantificar los principales compuestos producidos por la vegetación. Se tuvo en cuenta los principales compuestos emitidos por la vegetación como son Isopreno, Monoterpenos, n-Alcanos, Alienos, Aromáticos, Aldehídos y cetonas; los valores resultantes de los compuestos orgánicos volátiles biogénicos, permitieron determinar que estos pueden tener gran influencia en la contaminación del aire además de adquirir información relacionada con la contribución en la atmosférica y

los posibles efectos nocivos que se registran en la salud humana, los ecosistemas y el medio ambiente (Camargo C., Bolaño O., & Álvarez M., 2010).

En el suroccidente del país, los estudios y análisis realizados sobre contaminación de material particulado y HAP, en relación a generación de enfermedades respiratorias y/o cardiovasculares en zonas con alto flujo vehicular son mínimos, puesto que se realizan en fuentes fijas sin tener en cuenta el nivel de concentración vehicular que se genera en las vías principales.

2.2 BASES TEÓRICAS

Técnica de extracción Soxhlet: La utilización de esta técnica es una de las operaciones básicas del laboratorio y se hace con el fin de separar con un líquido una fracción específica de una muestra, dejando el resto lo más íntegro posible. Lo anterior se puede realizar desde los tres estados de la materia, como son la extracción sólido-líquido; líquido-líquido y gas-líquido (Nuñez, 2008).

Hidrocarburos: Se entiende por hidrocarburos aquellos compuestos formados solo por átomos de carbono e hidrogeno, obtenidos a partir del petróleo o gas natural. Estos se pueden dividir en hidrocarburos alifáticos y aromáticos (EcuRed Conocimiento con todos y para todos, s.f).

Hidrocarburos Alifáticos: Son compuestos orgánicos constituidos por átomos de carbono e hidrogeno, donde los átomos de carbono forman cadenas abiertas, dentro de estos se incluyen tres clases de compuestos, entre los que se encuentran los alcanos que son hidrocarburos que solo contienen enlaces simples carbono-carbono, alquenos que contienen enlaces dobles y alquinos que contienen un triple enlace (Fernández, s.f).

Alcanos: Los alcanos, tanto lineales como ramificados, son compuestos de carbono e hidrógeno formados por enlaces simples carbono-carbono y carbono-hidrógeno (Educaplus.org, 2007).

Este tipo de hidrocarburos alifáticos se pueden presentar en estado gaseoso, líquido y sólido, de los cuales los alcanos de bajo peso molecular como son propano, etano, propano y butano son gases, desde el pentano al hexadecano (16 átomos de carbono) son líquidos de alta viscosidad y a partir de los alcanos con más de 18 átomos de carbono son sólidos a temperatura ambiente (Nicasio, 2013).

Los alcanos se pueden usar como lubricantes, combustibles, grasas, aceites, gas doméstico, entre otros, según su estado.

En la siguiente tabla se muestra una lista de los alcanos lineales:

Tabla 1. Alcanos lineales con raíz y sufijo

n	Raíz + sufijo	n	Raíz + sufijo	n	Raíz + sufijo
1	Metano	16	Hexadecano	31	Hentriacontano
2	Etano	17	Heptadecano	32	Dotriacontano
3	Propano	18	Octadecano	33	Tritriacontano
4	Butano	19	Nonadecano	34	Tretratriacontano
5	Pentano	20	Eicosano	35	Pentatriacontano
6	Hexano	21	Heneicosano	36	Hexatriacontano
7	Heptano	22	Docosano	37	Heptatriacontano
8	Octano	23	Tricosano	40	Tetracontano
9	Nonano	24	Tetracosano	50	Pentacontano
10	Decano	25	Pentacosano	60	Hexacontano
11	Undecano	26	Hexacosano	70	Heptacontano
12	Dodecano	27	Heptacosano	80	Octacontano
13	Tridecano	28	Octacosano	90	Nonacontano
14	Tetradecano	29	Nonacosano	100	Hectano
15	Pentadecano	30	Triacantano	132	Dotriacontahectano

Fuente: Nomenclatura Orgánica. Ortiz, S. 2010.

Cetona: Es un compuesto orgánico caracterizado por poseer un grupo funcional carbonilo unido a dos átomos de carbono (Agencia para sustancias tóxicas y registro de enfermedades, 2016).

Acetona: Se presenta como un líquido incoloro de olor y sabor característicos, de fácil evaporación e inflamabilidad (Agencia para sustancias tóxicas y registro de enfermedades, 2016).

Compuesto orgánico isomérico: Es una pequeña molécula orgánica que contiene carbono, formando enlaces carbono-carbono y carbono-hidrógeno (Agencia de Protección Ambiental, 2015).

Hidrocarburos Aromáticos policíclicos: Son una familia de compuestos que están formados por la condensación de dos o más anillos aromáticos de seis átomos de carbono con la generación de estructuras muy diversas. Los HAP se forman principalmente en la combustión incompleta de materia orgánica, ya sea de forma natural o de forma antropogénica y por su sensibilidad se degradan rápidamente en presencia de luz y ozono, produciéndose la foto-oxidación y/o la ozonólisis de estas moléculas (Pindado, y otros, 2006).

Técnica de extracción sólido-líquido: Esta técnica es una operación básica o unitaria en la cual se separan uno o varios constituyentes solubles contenidos en un sólido inerte mediante la utilización de un disolvente adecuado. En este proceso se encuentran implicados el cambio de fase del soluto, la difusión del soluto a través del disolvente contenido en los poros del sólido inerte, como también la transferencia del soluto desde las inmediaciones de la interfase sólido-líquido hasta el seno de la masa principal de disolvente (Universidad de Granada, s.f).

Análisis de cromatografía de gases con detector de masa, GC-MS: El análisis de cromatografía en columna se basa en introducir una muestra que contiene diferentes especies y en hacer fluir una fase móvil, estableciéndose un equilibrio, de manera que los solutos que tiendan a permanecer en la fase móvil pasarán más rápidamente que los que tengan mayor afinidad por la fase estacionaria, produciéndose así la separación de los mismos. Así el cromatograma es la representación gráfica de la respuesta del detector en función del tiempo. Lo anterior define la cromatografía como un método físico de separación, por lo que es necesario el acoplamiento de un detector para poder realizar un análisis cualitativo y cuantitativo (Pindado, y otros, 2006).

Contaminación atmosférica: De acuerdo con lo establecido en el Título 5 del Decreto 1076 de 2015 y ajustando la definición, la Contaminación Atmosférica es el fenómeno de acumulación o de concentración de contaminantes, entendidos estos como fenómenos físicos o sustancias o elementos en estado sólido, líquido o gaseoso, causantes de efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana que solos, o en combinación, o como productos de reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales, o de una combinación de estas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

Partículas suspendidas totales: El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en la resolución 601 del 4 de abril de 2006, define las partículas suspendidas totales que incluye tanto a la fracción inhalable como a las mayores de 10 micras, que no se sedimentan en periodos cortos sino que permanecen suspendidas en el aire debido a su tamaño y densidad (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2010).

Influencia de cantidad y tipos de vehículos en la formación de hidrocarburos: El transporte es uno de los principales mecanismos de formación y dispersión por medio del aire, de contaminantes atmosféricos, presentándose compuestos cancerígenos en zonas como Alaska y Antártica, al agruparse entre ellos y entrar en adsorción en material particulado (Chiang, Y., Chang, & Chang, 2010).

Los combustibles son los principales precursores en la generación de HAP, razón por la cual se mencionan a continuación los principales combustibles empleados en la industria y el sector vehicular.

El combustible diésel es una mezcla de diferentes moléculas de hidrocarburos con un rango de ebullición que va de 177 °C a 343 °C, cabe señalar que la composición del combustible diésel y los lubricantes tiene efecto directo en el desempeño del motor, mantenimiento y emisiones de escape. Por ejemplo una reducción en el contenido de aromáticos, azufre y volatilidad tiene efecto directo en la reducción de las emisiones de escape (López, 2006).

En la tabla 2, se puede ver como los diferentes componentes emitidos por los motores tipo diésel, se transforman en la atmosfera en compuestos que pueden ser perjudiciales para la salud y medio ambiente.

Tabla 2. Compuestos Emitidos por los Motores Diésel y sus transformaciones en la atmosfera

COMPONENTE EMITIDO	TRANSFORMACIÓN EN LA ATMOSFERA
A. Emisiones en Fase Vapor	
Dióxido de Carbono	----
Monóxido de Carbono	----
Óxido de Nitrógeno	Ácido Nítrico, Ozono
Dióxido de Azufre	Ácido Sulfúrico
Hidrocarburos Alcanos (\leq C18) Alcanos (\leq C4) P.E. 1,3 Butadieno	Aldehídos, nitratos alquilados, cetonas Aldehídos y cetonas
Aldehídos	
Aldehídos Formaldehídos Aldehídos de alto peso molecular (P.E. acroneidas)	Monóxido de carbón, radicales peróxido Peroxiacetil Nitratos (PAN)
Compuestos aromáticos de un anillo particular (benceno, tolueno)	Hidroxilato y derivados de nitro oxilatos
HAP (\leq menor de 4 anillos) (fenantreno, fluorantreno)	Nitro-HAP (\leq menor de 4 anillos)
Nitro-HAP (2-3 anillos) (nitronaftalenos)	Quinonas y derivados de nitro oxilatos

B. Partículas Fase Gas	
Carbón Elemental	----
Sulfatos Inorgánicos	----
Hidrocarburos (C14 a C35)	Posiblemente aldehídos, cetonas y alqui nitratos
HAP (≥4 anillos) (pireno, benzo(a)pireno)	Nitro HAP (≥4 anillos) Nitro HAP lactanos
Nitro HAP (≥3 anillos) (Nitropirenos)	Derivados de nitrohidroxilatos

Fuente: López Vidal, Estrada, Abraham. Morfología y Composición Química de las Partículas Emitidas por los Automotores a Diésel en los Grandes Centros de Población del País México, 2000.

2.3 BASES LEGALES

2.3.1 LEY 23 DE 1973 (diciembre 19)

Por el cual se conceden facultades extraordinarias al Presidente de la República para expedir el Código de Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente y se dictan otras disposiciones (Congreso de la republica de Colombia, 1974).

2.3.2 LEY 30 DE 1990 (marzo 5)

Por medio de la cual se aprueba el Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono, Viena, 22 de marzo de 1985.

2.3.3 LEY 99 DE 1993 (diciembre 22)

Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones (Congreso de la republica de Colombia, 1993).

2.3.4 DECRETO 948 DE 1995 (junio 5)

Por el cual se reglamentan, parcialmente, la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73, 74, 75 y 76 del Decreto - Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire (Congreso de la republica de Colombia, 1995).

2.3.5 Guías de calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS)

Relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre (Organización Mundial de la Salud, 2005).

2.3.6 RESOLUCION 0601 DE 2006 (abril 04)

Por la cual se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia.

2.3.7 RESOLUCION 651 DE 2010 (marzo 29)

Por la cual se crea el Subsistema de Información sobre Calidad del Aire-SISAIRE, como fuente principal de información para el diseño, evaluación y ajuste de las políticas y estrategias nacionales y regionales de prevención y control de la contaminación del aire (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

2.4 HIPOTESIS

2.4.1 Planteamiento de las hipótesis

2.4.1.1 En la ciudad de Popayán se generan altas concentraciones de hidrocarburos aromáticos policíclicos absorbido sobre material particulado precipitado producto de la combustión vehicular.

2.4.1.2 La exposición a hidrocarburos aromáticos policíclicos u otros hidrocarburos o compuestos presentes en partículas suspendidas totales puede causar deterioro en la salud.

2.4.1.3 La velocidad del viento tiene gran influencia en el arrastre de las partículas suspendidas totales, provenientes de la combustión vehicular.

2.4.1.4 La cantidad de PST es proporcional al flujo vehicular.

CAPITULO III: METODOLOGÍA

El análisis de material particulado es de gran importancia puesto que ayudará a determinar el nivel de contaminación que presentan los puntos críticos en la ciudad de Popayán y que puede tener incidencia de enfermedades respiratorias y/o cardiovasculares. La finalidad de este proyecto de grado es brindar información aproximada sobre la calidad del aire y proponer alternativas correctivas y de mitigación, para disminuir la concentración de contaminantes a la atmosfera en la Ciudad de Popayán-Cauca, como también de ayuda en los problemas relacionados con enfermedades respiratorias presentes en el área afectada. Se debe tener en cuenta que este proyecto será de tipo experimental, por lo tanto, se presentarán variaciones de los parámetros de velocidad y dirección del viento, temperatura y flujo vehicular, para lo cual se realizaron las siguientes actividades:

Caracterizar los compuestos HAP presentes en el material particulado en los sitios priorizados.

A. Revisión literaria acerca del tema a trabajar:

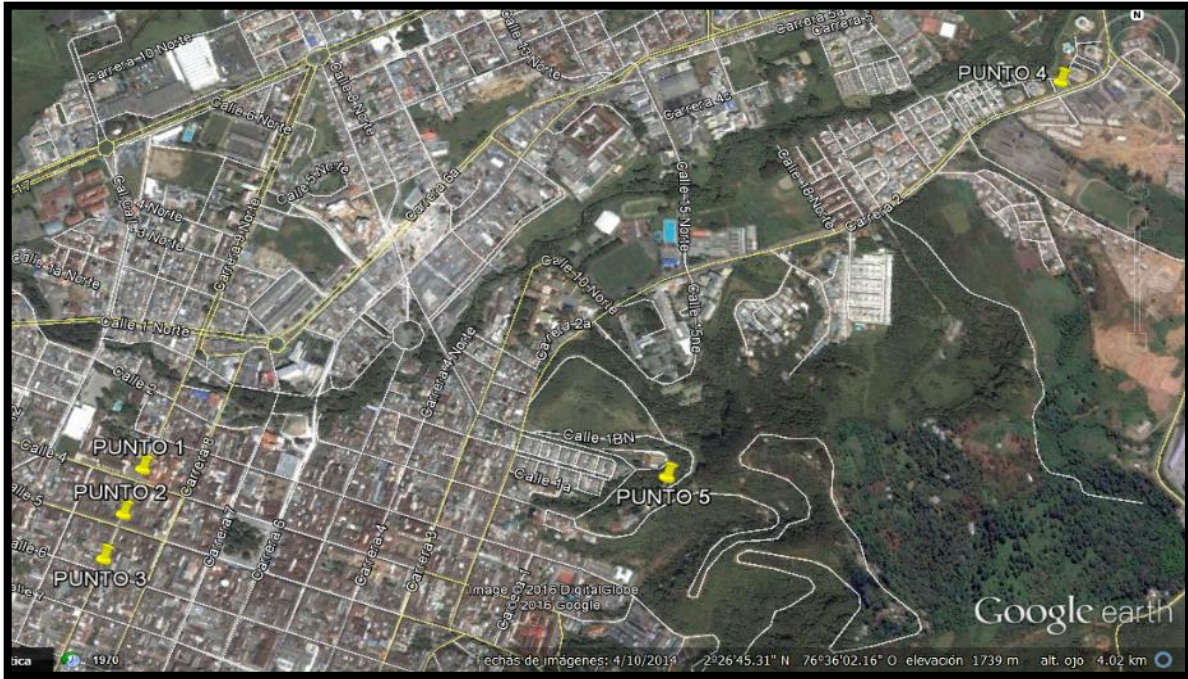
A1. Se consultó bases de datos, entre los que están; Science Direct, ELSEVIER. Organización Mundial de la Salud, Environmental Protection Agency (EPA), se realizaron consultas a expertos en el tema como Dennis Mikel Físico Científico de la Agencia de Protección Ambiental de EEUU, David Arturo Químico Laboratorista Cromatografía de Gases Universidad Nariño, Alfonso Ramírez Químico de la Universidad del Cauca, Nazly Sánchez Ingeniera Ambiental Corporación Universitaria Autónoma del Cauca y Diego Vélez Ingeniero Ambiental de la Corporación Autónoma Regional del Cauca.

B. Para realizar el posterior muestreo de material particulado, se seleccionaron tres puntos críticos (puntos altos) con mayor flujo vehicular en el centro de la ciudad, determinados por el Sistema Estratégico de Transporte Público de Pasajeros; un punto medio con flujo vehicular bajo (Condominio Campo Real) y un punto en blanco localizado en la entrada de la planta de tratamiento de agua potable de Tulcán por su escaso flujo vehicular y su entorno natural, a fin de tomarlo como punto de referencia y realizar una comparación con los puntos anteriormente tomados.

B1. Los tres puntos seleccionados se tuvieron en cuenta de acuerdo a estudios realizados por Movilidad Futura S.A.S, los puntos críticos se muestran en el mapa 1 a continuación, adicionalmente en la tabla 3 se muestra la georreferenciación de cada punto y su nomenclatura. De esquina a esquina en cada calle se establecieron tres tramos, separados con distancias de 10 (tramo

1), 20 (tramo 2) y 50 m (tramo 3) como se muestra en la descripción; respecto al condominio los tramos se tomaron desde la portería y el punto en blanco desde la entrada a la planta de tratamiento de agua potable Tulcán (Ver anexos 1-5).

Mapa 1. Ubicación de puntos de muestreo



Fuente: Google Earth

Tabla 3. Ubicación geográfica de cada punto de muestreo

Tramos	Coordenadas		Altitud (msnm)	Descripción
	N	W		
Punto 1				
1	02°26'576"	076°36'502"	1748	Calle 4, Carrera 9
2	02°26'566"	076°36'504"	1750	
3	02°26'539"	076°36'514"	1752	
Punto 2				
1	02°26'523"	076°36'522"	1750	Calle 5, Carrera 9
2	02°26'512"	076°36'525"	1751	
3	02°26'487"	076°36'536"	1737	
Punto 3				
1	02°26'474"	076°36'542"	1743	Calle 6, Carrera 9
2	02°26'464"	076°36'548"	1740	
3	02°26'439"	076°36'553"	1744	
Punto 4				
1	02°27'064"	076°35'457"	1756	Condominio Campo Real
2	02°27'072"	076°35'459"	1755	

Punto 5				
1	02°26'617"	076°35'883"	1780	Punto en blanco
2	02°26'612"	076°35'882"	1785	
3	02°26'600"	076°35'884"	1795	

Fuente: Elaboración propia (Ver anexos 1-5)

C. Recolección de muestras

La recolección de muestras, se efectuó de acuerdo a sugerencias del Físico Científico Dennis Mikel para el análisis de hidrocarburos aromáticos policíclicos en material particulado, de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos y el append-C-1_RF6 de la misma (Mikel D. , Metodología Toma de Muestras por Método de Barrido de Calles, 2016).

C1. La toma de muestras se realizó durante ocho días (una muestra cada día durante ocho días) dentro de estos se trazaron áreas de 1.0m largo x 0.80m ancho, a distancias de 10, 20 y 50 m (explicado anteriormente) desde la esquina del inicio de la calle 4 con carrera 9 hasta el final de esta calle, de acuerdo a la dirección del viento las áreas se colocaron al lado izquierdo en dirección del flujo vehicular, a excepción del condominio que por su longitud de salida vehicular, sus distancias fueron de 10 y 15 m desde la entrada al condominio hasta la división entre la entrada y salida de vehículos. Se debe tener en cuenta que el área del cuadro no fue contada en la medición de las distancias (Mikel D. , Metodo de recolección, 2016). Como se muestra en la imagen 2, así:

Imagen 1. Trazado áreas de toma de muestra



Fuente: Elaboración propia

C2. Para la toma de muestras de partículas suspendidas totales (PST), se utilizaron 5 brochas, 5 espátulas, cinta adhesiva, bolsas ziploc, 5 escobas, cinta de

seguridad, conos viales, tapabocas, guantes de nitrilo y barreras para proteger que el viento esparza las PST.

C3. Primero se pesaron y rotularon bolsas ziploc a usar durante los ocho días de muestreo, como se muestra en la imagen 2:

Imagen 2. Pesaje bolsas para recolección de PST



Fuente: Elaboración propia

C4. En las áreas definidas (calle 4, 5 y 6 con carrera 9), catalogadas por Movilidad Futura S.A.S. como zonas críticas, se realizó un barrido minutos antes de iniciar la hora de recolección de PST (6:30-7:30am) haciendo uso de los implementos de protección con el fin de no contaminar las muestras y cuidar de nuestra salud, igualmente se registraron las variables (temperatura, altura, velocidad y dirección del viento), interferencias (construcciones, material disperso en calles, lavado de negocios, etc.); también se hizo conteo de vehículos (tipo liviano y pesado) aproximado que transitaron, para poder identificar las posibles causas de mayor o menor cantidad de PST.

La hora de muestreo se estableció teniendo en cuenta las horas pico definidas por Movilidad Futura S.A.S. Se decidió realizar el muestreo en horas de la mañana para evitar la volatilización de los compuestos por contacto con la luz solar.

En la tabla 4, se indican los equipos y/o aparatos utilizados en la medición de las coordenadas geográficas, temperatura, velocidad y dirección del viento.

Tabla 4. Equipos y/o aparatos utilizados en la medición

ITEM	EQUIPO/APARATO	UNID	REFERENCIA
1	GPS	Norte – Sur, msnm	Garmin eTrex H
2	Brújula	N, S, Or, Occ	DP 06 Global System
3	Termo-Anemómetro digital	m/s, °C	AN100

Fuente: Elaboración propia

C5. Se seleccionó el punto que obtuvo mayor cantidad de PST sin interferencias externas como mantenimiento de alcantarillado, lavado de locales y material de construcción (Ver imagen 3), puesto que podría generar un incremento de PST. Este punto se muestreó nuevamente en la siguiente semana en el día con mayor porcentaje de PST recolectado, tanto en día de semana como fin de semana, pero en este caso con un procedimiento más complejo, debido a que estas muestras tendrían que ser enviadas al laboratorio de cromatografía de gases, por lo cual se le dio cuidado especial al material recolectado, lo que se explicará más adelante. Las muestras a tomar tuvieron en cuenta los siguientes ítems: Lugar, frecuencia, tipo (puntual), características de cada una de las muestras y tamaño con base en otras investigaciones analizadas. Estas muestras recolectadas, fueron muestras compuestas uniéndose el material recolectado en cada área a diferentes distancias, pero separadas para cada día.

Solo se analizó por cromatografía de gases masas, la muestra que presentó mayor cantidad de PST sin interferencias externas en día de semana y fin de semana, como también un punto en blanco que por sus características permitía realizar una comparación de los resultados, debido a que no se contó con el presupuesto para realizar análisis de todas las muestras.

Imagen 3. Interferencias externas



Fuente: Elaboración propia

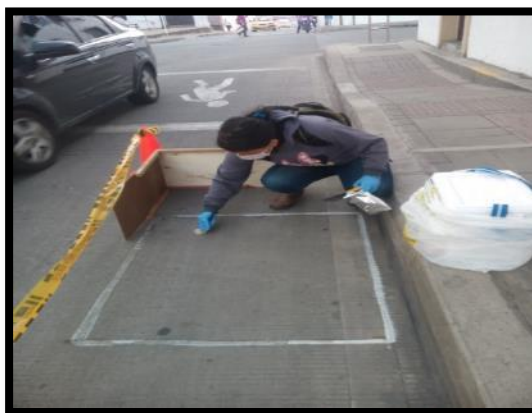
C6. La muestra de material particulado para análisis de HAP, hidrocarburos lineales y otros compuestos se tomaron con las siguientes indicaciones (Mikel D. , 2016) (Agencia de Protección Ambiental, 1999):

1. Uso de guantes, tapabocas, espátula, barrera para protección del viento y escobilla.
2. Se recolectó la muestra directamente en bolsa de aluminio y guardó posteriormente en frasco de vidrio color ámbar de tapa rosca.
3. Se conservó en termo nevera refrigerante a 4°C aproximadamente.

Estas medidas de precaución fueron necesarias dado que los HAP y otros compuestos pueden reaccionar si se exponen a la luz solar.

En la imagen 4, se puede observar lo descrito anteriormente.

Imagen 4. Recolección de muestra con implementos de seguridad



Fuente: Elaboración propia

D. Extracción Soxhlet

El equipo consta de una estufa de calentamiento que permite llegar a la temperatura de los solventes (Acetona-Hexano (1:1)) a adicionar al balón de reacción y permanecer en evaporación constante hasta llegar a la cámara, para luego descender por gravedad sobre la muestra de PST a extraer, la cual se encuentra dentro de un papel filtro. Esta cámara consta de un brazo de alimentación de vapor y de un brazo de recirculación de solvente que permite recuperar el solvente condensado; sobre la cámara se instala un condensador cuya función principal es refrigerar, manteniendo una temperatura baja en el sistema, que permite la condensación del solvente evaporado, éste también cuenta con una entrada y salida

de agua, la cual se recircula de un montaje soxhlet a otro. Lo anterior se puede observar en la imagen 5.

La Agencia de Protección Ambiental (EPA), avala el método 3540 “Técnica de extracción Soxhlet”, como apropiado para la separación de los compuestos presentes en el sólido, mediante la utilización de disolventes de acuerdo a la polaridad de la muestra (Agencia de Protección Ambiental, 1996). Para lo anterior, se utilizaron los materiales, equipos y reactivos que se mencionan en la tabla 5.

Tabla 5. Materiales, instrumentos y reactivos utilizados

MATERIALES			
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	UNID	REFERENCIA
9	Frasco ámbar	10 mL	12041110
4	Balón de reacción	250 mL	SIMAX CZECH REPUBLIC
3	Condensador	500 mL	RUB 45/40
3	Cámara	250 mL	RUB IN 20° Br 3,3 ®
6	Papel Filtro	110 mm	Filtrak
2	Beaker	250 mL	SIMAX
1	Beaker	2000 mL	SIMAX
50	Esferas	16 mm	
2	Frasco agua destilada	1000 mL	45300185
EQUIPOS			
3	Plancha	500 °C	Fisher scientific Isotemp
3	Soporte Universal	500 mm	63206501
1	Balanza analítica	Max= 220gr - Min=0,01gr	Precisa XB 220 ^a
1	Horno	300 °C	Novacel UN 55
REACTIVOS			
1	Frasco Acetona	1000 mL	A9494-MH1L
1	Frasco Hexano	1000 mL	110-54-3

Fuente: Elaboración propia

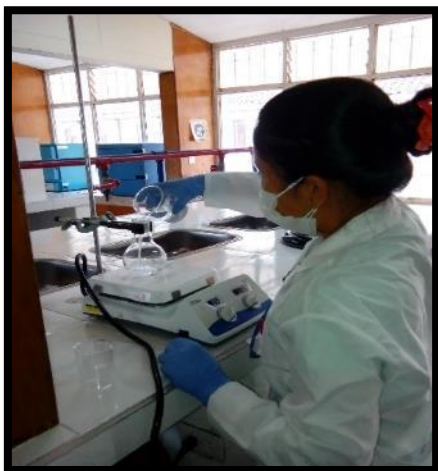
D1. Un día antes de la extracción se hizo el lavado y esterilización de los materiales, con detergente neutro, agua caliente, agua de grifo, agua esterilizada, mezcla de acetona/hexano 1:1 y por último se llevó al horno durante 4 horas a 300 °C para completar el proceso de esterilización de materiales (Agencia de Protección Ambiental, 1999) (Agencia de Protección Ambiental, 1996).

D2. Las muestras se transportaron al laboratorio de la Fundación Universitaria de Popayán sede los Robles, debido a que el laboratorio de la Corporación

Universitaria Autónoma del Cauca no contaba con los materiales y equipos requeridos.

- D3. Se pesó el papel filtro de 110mm de diámetro en la balanza analítica e introdujo la muestra, con el fin de determinar el peso real de la misma y su posterior extracción.
- D4. Se preparó el disolvente, mediante una mezcla 1:1 acetona/hexano, con un volumen total de 250 mL (Agencia de Protección Ambiental, 1996), para adicionarlo en el balón de reacción.
- D5. Se realizó el montaje Soxhlet como se muestra en la imagen 5. Este proceso de extracción se hizo a cada una de las muestras tomadas, para posterior proceso de Rota vapor en la Universidad del Cauca y análisis por cromatografía de gases – masa en la Universidad de Nariño.

Imagen 5. Montaje Soxhlet para muestras de PST

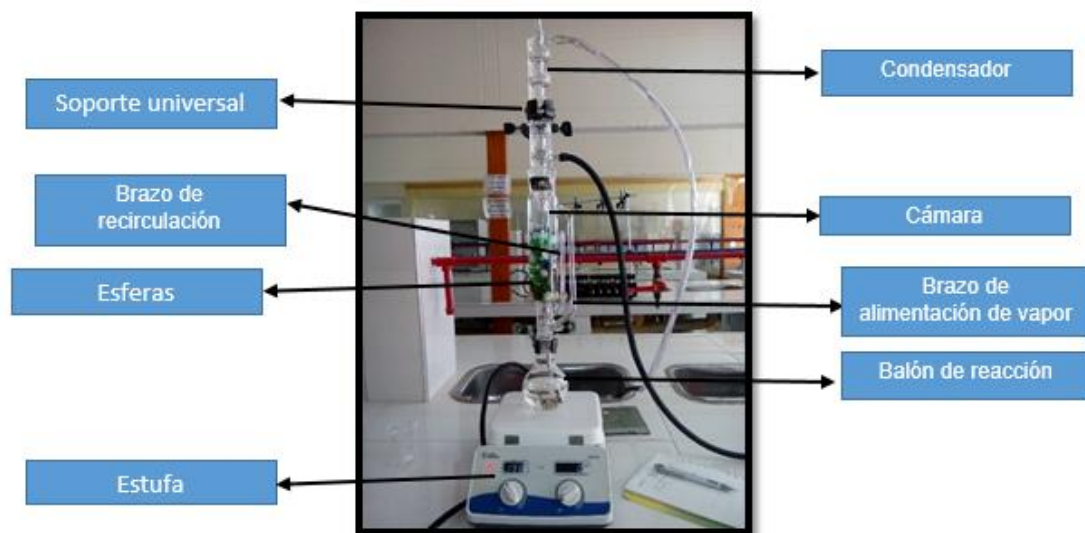


Fuente: Elaboración propia

- D6. La temperatura para el debido proceso se determinó teniendo en cuenta el punto de ebullición del Hidrocarburo Aromático Policíclicos (HAP) más liviano que es Naftaleno a 218°C (Sanchez P., 2014); el proceso de extracción se realizó durante 2 horas: 3 ciclos por hora aproximadamente a cada muestra.

Los ciclos o sifonadas hacen referencia al tiempo en que el solvente evaporado se demora en pasar por el brazo de alimentación de vapor de la cámara y vuelve a su estado líquido llenándose hasta la altura del brazo de recirculación de solvente y cae nuevamente al balón de reacción para realizar este mismo proceso las veces que se requieran, como se muestra en la imagen 6.

Imagen 6. Montaje Soxhlet y sus partes



Fuente: Elaboración propia

El proceso de extracción se realizó durante dos horas, tres ciclos por hora aproximadamente en cada una de las muestras; En la tabla 6, se muestran los ciclos realizados en la extracción con acetona/hexano de la muestra del punto 1. Las primeras sifonadas (ver imagen 6) tomaron más de 20 minutos, puesto que se debía determinar el punto de ebullición adecuado del disolvente para lograr los tres ciclos en una hora, el cual fue de una temperatura de 230°C, además se tuvo en cuenta que la temperatura no excediera el límite de 525 °C (HAP con mayor T° de ebullición) y ebullición de cada uno de los hidrocarburos y así evitar su volatilización (Sanchez P., 2014).

Tabla 6. Información de extracción muestra calle 4, día martes 17 de mayo

CICLO	HORA SIFON	TEMPERATURA °C	TIEMPO TRANSCURRIDO
1	3:22 pm	197	
2	3:58 pm	209	36 min
3	4:22 pm	228	24 min
4	4:45 pm	230	23 min
5	5:08 pm	231	23 min
6	5:29 pm	231	21 min

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos en la extracción Soxhlet para la muestra de fin de semana (calle 4 carrera 9) y punto en blanco se encuentran en los anexos 12 y 13.

D7. Al terminar el proceso de extracción, se dejó enfriar y se desmontó, para luego proteger el balón con papel aluminio a fin de preservar lo extraído y

posteriormente llevarlo a proceso de rota evaporación en el laboratorio de catálisis de la Universidad del Cauca.

El Rotavapor es el aparato que mediante una destilación a vacío, permite la evaporación rápida de disolvente de una disolución, recuperando el soluto (líquido o sólido) (RODAS, s.f), como se muestra en la imagen 7. Este proceso duró de 5 a 10 minutos aproximadamente por muestra a una temperatura de 30°C y 90 RPM (Revoluciones por minuto), a fin de garantizar una evaporación adecuada del disolvente. Para lo anterior, se utilizaron los materiales y equipos de la tabla 7:

Tabla 7. Materiales y equipos necesarios

MATERIALES			
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	UNID	REFERENCIA
1	Pera	--	BUCHI NS 29.2/32
1	Balón	500mL	BUCHI S 35
1	Beaker	1000 mL	SIMAX
EQUIPOS			
1	Rota evaporador	19-19/64 "x 34-59/64" G1B	Laborota 4000-Efficient (Heidolph) Verwenden >260°C
1	Bomba de vacío	0.5-850 mbar	1050057:47753

Fuente: Elaboración propia

Imagen 7. Proceso de rota evaporación



Fuente: Elaboración propia.

D8. Finalmente, la concentración llegó hasta un volumen final de 5 mL aproximadamente a fin de distribuirlo en tres frascos ámbar con tapa rosca por muestra, para garantizar que esta no se pierda totalmente al transportarlo hacia el laboratorio de cromatografía de gases en la Universidad de Nariño. Cabe

resaltar que los frascos ámbar se rotularon previamente para su identificación y posteriormente se protegieron con papel aluminio y se refrigeró a 4°C aproximadamente para garantizar la conservación de las mismas.

Para lograr la concentración adecuada de la muestra extraída del punto 1 (calle 4 con carrera 9, día en semana) y demás muestras (calle 4 con carrera 9 fin de semana y punto en blanco), se manejaron los estándares que se muestran en la tabla 8.

Tabla 8. Información del proceso de rota evaporación

RPM	TEMPERATURA °C	TIEMPO (min)	VOLUMEN FINAL (mL)
90	30 – 40	5 – 10	5

Fuente: Elaboración propia

Los valores de la tabla 8, respecto a RPM (Revoluciones Por Minuto), temperatura y tiempo de rota evaporación se tomaron de acuerdo a recomendaciones realizadas por el Químico Alfonso Ramírez de la Universidad del Cauca. El volumen final del extracto que fue de 5mL producto del proceso de Rotavapor (Ver imagen 7), también se determinó por sugerencia del mismo, repartir en cantidades iguales, en tres frascos ámbar tapa rosca a fin de tener muestras extras en caso de evaporación del disolvente y por ende pérdida de la muestra.

E. Transporte de muestras

El transporte de las muestras se hizo tan pronto como se terminó el proceso de extracción y rota evaporación, puesto que entre más tiempo transcurría, habría menos posibilidades de obtener resultados óptimos o confiables. Se llevaron en un termo refrigerante a 4°C (Agencia de Protección Ambiental, 1999).

E1. Se entregaron las respectivas muestras al laboratorio de cromatografía de la Universidad de Nariño en San Juan de Pasto, que posteriormente fueron revisadas. Cada muestra fue analizada tres veces para garantizar calidad en los resultados a obtener.

F. Sistematización y análisis de datos

F1. Se elaboró una base de datos, con el fin de sistematizar la información suministrada al proyecto.

F2. Se realizaron cálculos para promediar el peso de PST (ver anexo 6) y cantidad de tráfico liviano y pesado (ver tabla 5), a fin de analizar el porcentaje de

concentración de HAP y otros compuestos presentes en el material particulado del área de estudio.

Identificar los compuestos HAP presentes en el material particulado de los sitios priorizados.

G. Revisión de literatura acerca del tema a trabajar:

G1. Se consultó base de datos, entre los que están ScienceDirect, ELSEVIER. Organización Mundial de la Salud, Environmental Protection Agency, se realizaron consultas a expertos en el tema en la Universidad de Nariño y Corporación Universitaria Autónoma del Cauca.

H. Identificación de Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)

H1. La identificación de HAP y otros compuestos, se realizó por medio del análisis de cromatografía de gases masas, obtenido en el laboratorio de la Universidad de Nariño.

Para la identificación de HAP se utilizó el equipo para análisis cromatográfico con las siguientes descripciones:

Equipo: Cromatógrafo de Gases/Espectrómetro de Masas Shimadzu QP2010S

Columna: Shimadzu SHRXI-5MS (30m x 0,25mm x df 0,25µm)

Detector: Selectivo de masas modo de operación full scan. Interfase a 300°C

Inyector: split/splitless a 300°C. Inyección splitless

Fase Móvil: Helio UAP a flujo de 1,0 mL/min.

Análisis de las Muestras: Los extractos orgánicos (hexano: acetona) se inyectaron (1,0µL) en el equipo GC-MS a las condiciones operacionales descritas anteriormente.

En la imagen 8, se observa el equipo de cromatografía gases masas que se usó en la Universidad de Nariño para el análisis de hidrocarburos aromáticos policíclicos, hidrocarburos alifáticos u oxigenados y otros compuestos solicitados.

Imagen 8. Cromatógrafo de Gases/Masas de la Universidad de Nariño



Fuente: Elaboración propia

Analizar las posibles enfermedades de acuerdo a las concentraciones de los HAP encontrados.

- I. Revisión de literatura acerca del tema a trabajar:
- I1. Se consultó base de datos, entre los que están ScienceDirect, Organización Mundial de la Salud, Environmental Protection Agency.
- J. Relación del material particulado e hidrocarburos aromáticos policíclicos u otros compuestos.

En la imagen 9, se muestra un resumen gráfico del proceso metodológico realizado en el trabajo de investigación, desde la recolección de la muestra hasta el análisis cromatográfico.

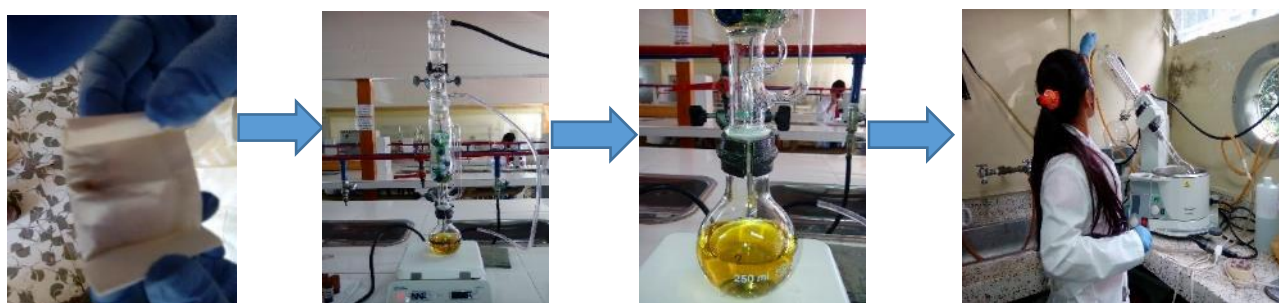
Imagen 9. Registro fotográfico del procedimiento realizado en el trabajo de investigación



Proceso de medición de velocidad y dirección del viento, temperatura, toma de muestra y pesaje de la misma



Lavado y secado de materiales para proceso de extracción soxhlet



Proceso de extracción y rota evaporación del material extraído



Almacenamiento, transporte y análisis cromatográfico

Fuente: Elaboración propia

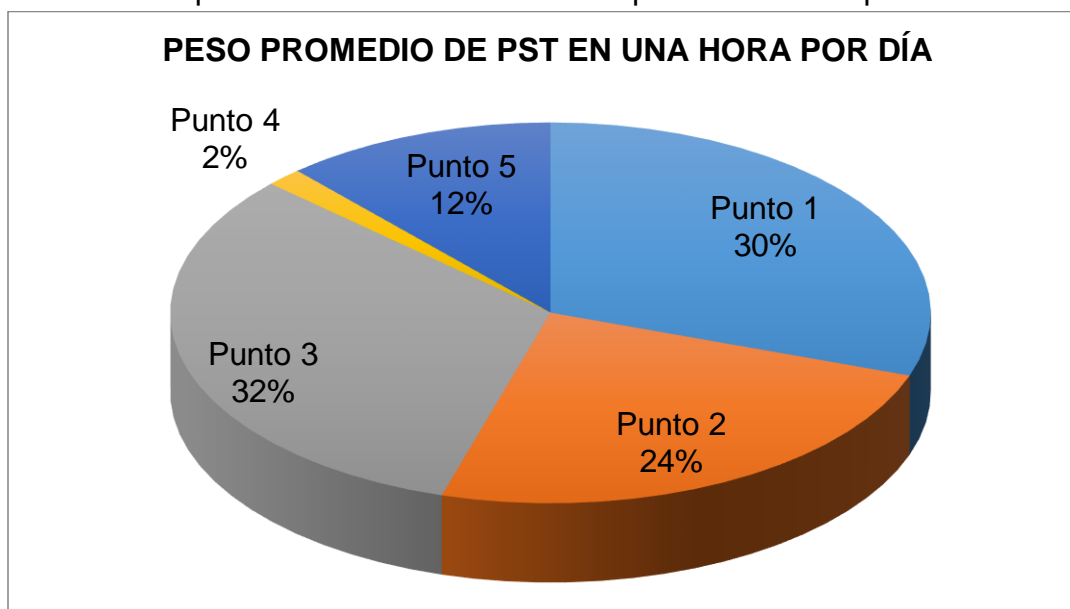
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Presentación de los resultados obtenidos en la investigación

4.1.1 Peso promedio de PST de cada punto de muestreo

La grafica 1, indica el peso promedio de PST recolectado en una hora, de acuerdo a los valores obtenidos en una semana en cada punto de muestreo (cálculos en anexo 6).

Gráfica 1. Peso promedio de PST en una hora por día en cada punto de muestreo



Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la gráfica 1, en el punto tres se recolectó mayor cantidad de PST en una hora con un 32%, seguido del punto uno con un 30% de PST, y en tercer lugar el punto dos con un 24% de PST. Estos puntos hacen referencia a las calles con alto flujo vehicular en el centro de la ciudad. Los puntos 4 y 5 obtuvieron un porcentaje bajo de 2% y 12%, respectivamente, esto era de esperarse puesto que el flujo vehicular fue relativamente bajo en comparación a los demás puntos de muestreo como se observa en la tabla 9.

Aunque el porcentaje de partículas suspendidas totales se presentó en mayor cantidad en el punto tres (Calle 6 con Carrera 9), no fue elegido para ser uno de los puntos de análisis de hidrocarburos, a causa de que se tuvieron en cuenta variables externas que podían interferir en la cantidad de material recolectado y en la posterior cuantificación de compuestos adsorbidos (material para la construcción, limpieza de

negocios, cambio de alcantarillado vial), que serían las causantes de un gran porcentaje de PST total recogida en una hora (Ver imagen 3). Se determinó el punto uno como referencia (Calle 4 con Carrera 9) para posterior análisis cromatográfico, por sus características favorables (alto flujo vial, zona estudiantil, buen estado de vías, entre otras).

La tabla 9, indica el peso promedio de PST recolectado y el promedio de tráfico liviano y pesado para cada uno de los puntos muestreados.

Tabla 9. Datos peso promedio de cada punto de muestreo

Punto	Punto muestreo	Peso promedio (g)	Promedio tráfico liviano (Unid)	Promedio tráfico pesado (Unid)
1	Calle 4 Cra 9	3,8769	698	44
2	Calle 5 Cra 9	3,0961	792	70
3	Calle 6 Cra 9	4,1159	693	60
4	Condominio Campo Real	0,1983	38	3
5	Punto en Blanco	1,4820	0	0
	Total	12,7692	2.221	177

Fuente: Elaboración propia

Con lo anterior, se puede identificar que la calle 5 (punto 2) presenta mayor cantidad de flujo vehicular liviano y pesado en una hora, con 792 y 70 vehículos respectivamente, estos valores pueden ayudar a relacionar el grado de contaminación atmosférica que se presente en el punto muestreado con los efectos en la salud; contrario a lo que sucede con el punto en blanco, puesto que hubo ausencia de flujo vehicular, esto debido a la restricción del paso de vehículos en el lugar, lo que indicaría que posiblemente el porcentaje de contaminación atmosférica es relativamente menor en comparación a los demás puntos, sin tener en cuenta las variables externas como son la planta de tratamiento de agua potable Tulcán, ubicada cerca al punto de muestreo y demás viviendas cercanas al lugar, a excepción del punto 4 (Condominio Campo Real) que en comparación con el punto en blanco presentó menor cantidad de PST, que pudo deberse a que este último (punto 5) se encontraba rodeado de cobertura vegetal con cierto grado de inclinación que provocaría que el material particulado se acumule y adhiera al suelo (moho) o por la descomposición de hojas u otro tipo de vegetación.

4.1.2 Datos pesaje de PST de punto 1

A continuación, se muestran los resultados detallados obtenidos durante el tiempo de recolección de muestras y total de PST, en este caso de la calle 4 (punto 1). Este punto, como se mencionó con anterioridad fue elegido para analizar, por

cromatografía de gases masas, los compuestos adsorbidos sobre las partículas recolectadas.

La hoja de datos de la tabla 10, muestra los resultados obtenidos en la calle 4 con carrera 9, donde se tuvo en cuenta las coordenadas para cada área de toma de muestras, la altura, temperatura °C, velocidad del viento y dirección del viento inicial y final para cada variable. Para determinar el peso de PST recolectado, se restó el valor del peso de la bolsa a cada una de las muestras. Se dan a conocer otras observaciones como tipos de vehículos (liviano, pesado), cantidad de vehículos y variables climáticas. Las hojas de datos de recolección de las demás muestras se encuentran en los anexos 7-9.

Tabla 10. Hoja de datos de recolección de muestra para punto 1

HOJA DE DATOS											
Mes muestreo: Abril-Mayo					Lugar de muestreo: Calle 4, Cra 9						
Coordenadas:		1. N 02° 26' 576"		W 076° 36' 502"		Altura 1748 msnm					
		2. N 02° 26' 566"		W 076° 36' 504"		Altura 1750 msnm					
		3. N 02° 26' 539"		W 076° 36' 514"		Altura 1752 msnm					
Hora inicio (am):		1. 7:05		2. 6:44		3. 6:30		4. 6:30			
		5. 6:30		6. 6:31		7. 6:30		8. 6:30			
Hora terminación (pm):					1. 8:05		2. 7:44		3. 7:30		
					5. 7:30		6. 7:31		7. 7:30		
8. 7:30											
Fecha Muestreo	Temperatura °C		Velocidad viento (ms)		Dirección viento		Peso bolsa vacía (gr)	Peso bolsa + PST (gr)	Peso PST (gr)		
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final					
1. 25-04-16	20,9	21,9	1,56	1,09	NorOcc-SurOri	NorOcc-SurOri	1,221	24,515	23,294		
2. 26-04-16	21,8	22,4	1,60	2,30	NorOcc-SurOri	NorOcc-SurOri	1,234	8,250	7,016		
3. 04-05-16	21,6	21,4	2,18	1,71	NorOcc-SurOri	NorOcc-SurOri	1,202	4,109	2,907		
4. 05-05-16	20,3	23,0	1,51	2,07	NorOcc-SurOri	NorOcc-SurOri	1,207	4,215	3,008		
5. 29-04-16	20,6	20,8	1,80	2,49	NorOcc-SurOri	NorOcc-SurOri	1,226	6,078	4,852		
6. 30-04-16	20,7	22,0	2,07	2,03	NorOcc-SurOri	NorOcc-SurOri	1,219	4,887	3,668		
7. 01-05-16	20,6	20,2	1,71	1,20	NorOcc-SurOri	NorOcc-SurOri	1,255	3,497	2,242		
8. 02-05-16	20,5	20,7	1,85	1,67	NorOcc-SurOri	NorOcc-SurOri	1,214	4,659	3,445		
Total recolectado								27,138			
Lluvia: Si _____ No <u>X</u>											
Observaciones:											
Tipo vehículo			Cantidad (Unid)						Total		
Pesado (buseta, bus, camión, etc.)			1. 51	2. 56	3. 53	4. 46	5. 46	6. 45	7. 15	8. 45	357
Liviano (camionetas, autos, motos, etc.)			1. 898	2. 957	3. 963	4. 824	5. 801	6. 248	7. 152	8. 936	5.779
Total			949	1013	1016	870	847	293	167	981	6.136
Comentarios:											
Se encontró un tipo de escombros a un lado de la carretera. Las distancias entre los puntos son de 10, 20 y 50 mts. El 27 y 28 de abril no se pudo hacer muestreo por lluvias continuas, por ello se repitieron los mismos días de la siguiente semana.											

Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Influencia de la velocidad del viento y número de vehículos sobre la cantidad de partículas suspendidas totales

Durante el tiempo de muestreo se tomaron variables meteorológicas (velocidad y dirección del viento) en el punto 1 seleccionado para la caracterización química del material particulado recolectado.

La imagen 10, indica la dirección del viento medida con el Termo-Anemómetro digital, lo que determinó la ubicación de las áreas a muestrear en este caso Noroccidente – Suroccidente, así:

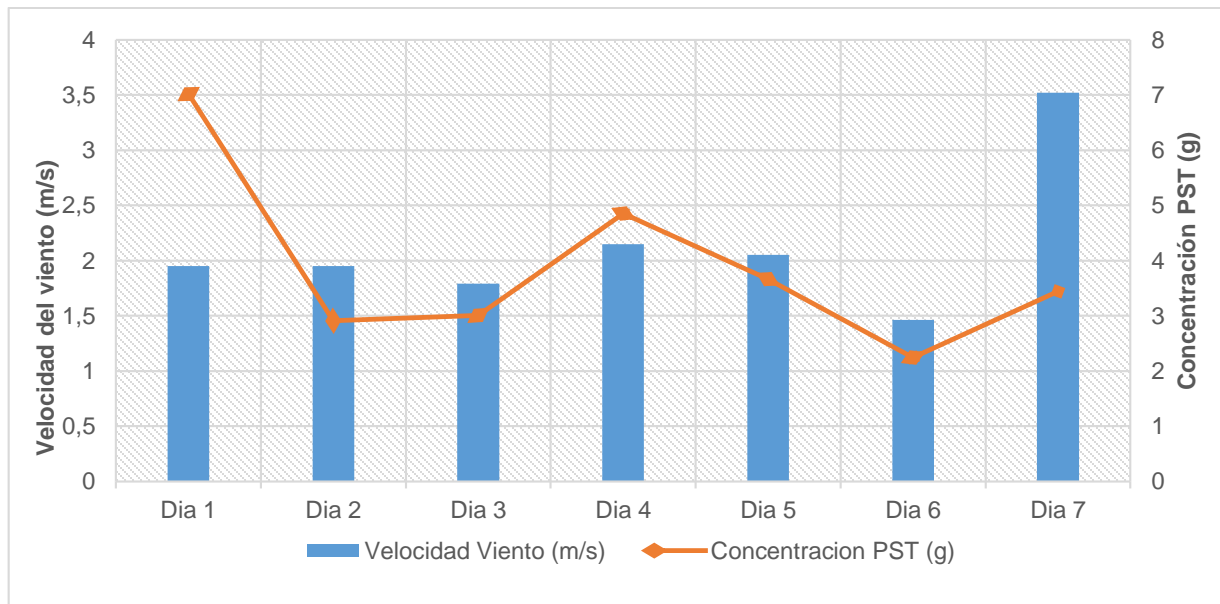
Imagen 10. Dirección del viento calle 4 carrera 9



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 2, se observa la relación entre la velocidad del viento y la concentración de PST.

Gráfica 2. Relación concentración PST vs Promedio Velocidad del viento



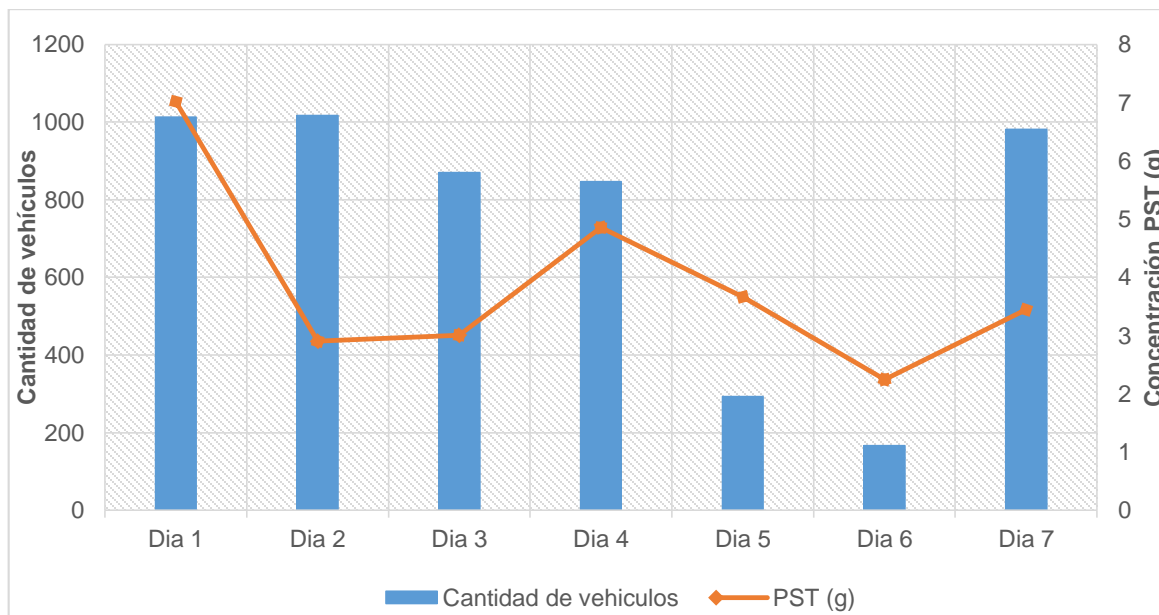
Fuente: Elaboración propia

Para cada día de muestreo se tuvo en cuenta la Rosas de los Vientos, con un promedio de 2,12 m/s, provenientes de la zona NorOccidente-SurOriente (ver Tabla 7), lo cual permite entender los grandes porcentajes de PST recogidos, a causa de

la dirección del viento, encontrándose que la mayor parte del material particulado producto de la combustión vehicular de las calles anteriores, termine finalmente en uno de los puntos de recolección de muestra. Se identificó que los puntos de muestreo final en cada calle presentaron mayor cantidad de partículas, corroborando la gran influencia de la velocidad del viento en el estudio.

En la gráfica 3, se observa como la cantidad de vehículos influye en la formación de partículas suspendidas totales.

Gráfica 3. Relación cantidad de vehículos vs Formación de PST



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar como en los días 1, 4, 5, y 6 se presenta una relación directamente proporcional entre la cantidad de vehículos que transitaron y la cantidad de partículas, a excepción de los puntos 2, 3 y 7, que no presentan una relación directa, puesto que a mayor número de vehículos menor cantidad de material particulado, pero necesariamente no quiere decir que esta no influya en el porcentaje de partículas que se pueden encontrar, pues muchos factores de la zona pueden afectar la fluctuación de la cantidad de partículas suspendidas, factores como tipo de vehículo (pesado, liviano), combustible con el que funcionan, velocidad y dirección del viento, cumplimiento de condiciones mecánicas y ambientales (Técnico mecánica).

Se seleccionó la calle 4 (punto 1), como punto de muestreo para análisis cromatográfico, determinación de HAP y otros compuestos, puesto que tanto el material recolectado en una semana (27,138g) como el flujo vehicular (6.136 vehículos), fueron uno de los más altos en comparación a los demás puntos de

muestreo, además de ello se tuvieron en cuenta otras variables como el flujo peatonal, trabajos de infraestructura en desarrollo y lavado de negocios.

Como se pudo observar, en la tabla 10 el material recolectado en el punto 1, el día 25 de abril es más alto en comparación a los demás días de recolección de PST, esto pudo deberse a que el primer día de muestreo se recolectó PST sin tener en cuenta el barrido de calles, a fin de poder realizar una comparación de cantidades de PST.

4.1.4 Resultados del análisis cromatográfico

En la tabla 11, se muestran los resultados obtenidos en los días seleccionados de acuerdo a la cantidad de partículas suspendidas totales recolectadas en la semana de prueba, en este caso para el punto 1, que corresponde a la calle 4 carrera 9, que posteriormente se llevaron a laboratorio para procesos de extracción y análisis de cromatografía de gases – masas.

Tabla 11. Hoja de datos calle 4 con carrera 9 para extracción Soxhlet

HOJA DE DATOS							
Mes muestreo: Mayo				Lugar de muestreo: Calle 4, Cra 9			
Coordenadas: 1. N 02° 26' 576"		W 076° 36' 502"		Altura 1748 msnm			
2. N 02° 26' 566"		W 076° 36' 504"		Altura 1750 msnm			
3. N 02° 26' 539"		W 076° 36' 514"		Altura 1752 msnm			
Hora inicio (am):				Hora terminación (am):			
1. 6:30		2. 6:30		1. 7:30		2. 7:30	
Fecha Muestreo	Temperatura °C		Velocidad viento (m/s)		Dirección viento		Peso PST (gr)
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	
1. 17-05-16	22,0	21,7	1,74	2,07	NorOcc-SurOri	NorOcc-SurOri	3,2967
2. 21-05-16	22,5	22,3	2,96	1,98	NorOcc-SurOri	NorOcc-SurOri	2,4966
Lluvia: Si _____ No <u>X</u>							
Observaciones:							
Tipo vehículo			Cantidad (Unid)			Total	
Pesado (buseta, bus, camión, etc.)			1. 52	2. 41	93		
Liviano (camionetas, autos, motos, etc.)			1. 864	2. 320	1.184		
Total			916	361	1.277		
Comentarios:							
Las PST se conservan a 4°C aproximadamente para posterior extracción Soxhlet.							

Fuente: Elaboración propia

Con base a la información suministrada en la tabla 11, se determinará la T° y velocidad del viento promedio para cada día muestreado de la siguiente forma, en la tabla 12:

Tabla 12. Temperatura y velocidad del viento promedio

Fecha muestreo	T°_{prom} (°C)	V. viento_{prom} (m/s)
17 de mayo	(22,0+21,7) /2= 21,9	(1,74+2,07) /2= 1,91
21 de mayo	(22,5+22,3) /2= 22,4	(2,96+1,98) /2= 2,47

Fuente: Elaboración propia

De lo anterior, se puede determinar que a mayor velocidad del viento (**2,47m/s**) menor cantidad de PST (**2,4966g**) recolectado, esto puede deberse a que la velocidad del viento y tamaño de las partículas tienen gran influencia en el arrastre de material particulado (Cabellero L. & Alvarado D., 2006). Cabe resaltar que la temperatura incide en la caída de este material, puesto que a menor temperatura (**21,9°C**) mayor humedad y por lo tanto mayor cantidad de material sedimentado en las calles (**3,4966g**) (Arciniégas S., 2012), según los resultados obtenidos.

Se puede observar que la diferencia entre la cantidad de vehículos que transitaban por la calle 4 el día 17 de mayo (**916**) es casi el triple del flujo vehicular del día 21 de mayo (**316**), por ello también se puede deducir que a mayor cantidad de flujo vehicular mayor cantidad de PST recolectado. Debe tenerse en cuenta, el estado de los vehículos puesto que la mayoría de los propietarios de estos medios de transporte no realizan periódicamente un mantenimiento para garantizar que eviten emitir gases, humos, vapores, polvos o partículas por los ductos que puedan generar contaminación al aire.

4.1.5 Resultados obtenidos en Cromatografía de Gases-Masas

En la tabla 13, se puede observar el límite de detección que el laboratorio de la Universidad de Nariño utilizó para los diferentes hidrocarburos aromáticos policíclicos prioritarios por la EPA (Agencia de Protección Ambiental), por su efecto negativo en la salud y medio ambiente.

Tabla 13. Límite de detección en cromatografía de gases masas para HAP

Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos	Límite de detección (mg/l)
Naftaleno	
Acenaftileno	
Acenafteno	

Fluoreno	<0,003
Benzo(g,h,i)perileno	
Benzo(b)fluoranteno	
Benzo(a)antraceno	
Pireno	
Fluoranteno	
Fenantreno	
Antraceno	
Criseno	
Benzo(a)pireno	
Benzo(k)fluoranteno	
Dibenzo(a,h)antraceno	
Indeno(1,2,3-c,d)pireno	

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la tabla 13, la calidad de aire no se puede determinar en su totalidad, con relación a hidrocarburos aromáticos policíclicos puesto que el límite de detección establecido por la Universidad de Nariño pudo ser muy alto, impidiendo encontrar concentración de estos compuestos, sin embargo, se cuenta con un porcentaje de cantidad relativa de hidrocarburos lineales y otros compuestos que ayudarán a tener conocimiento de los efectos negativos que podrán causar estos en la salud.

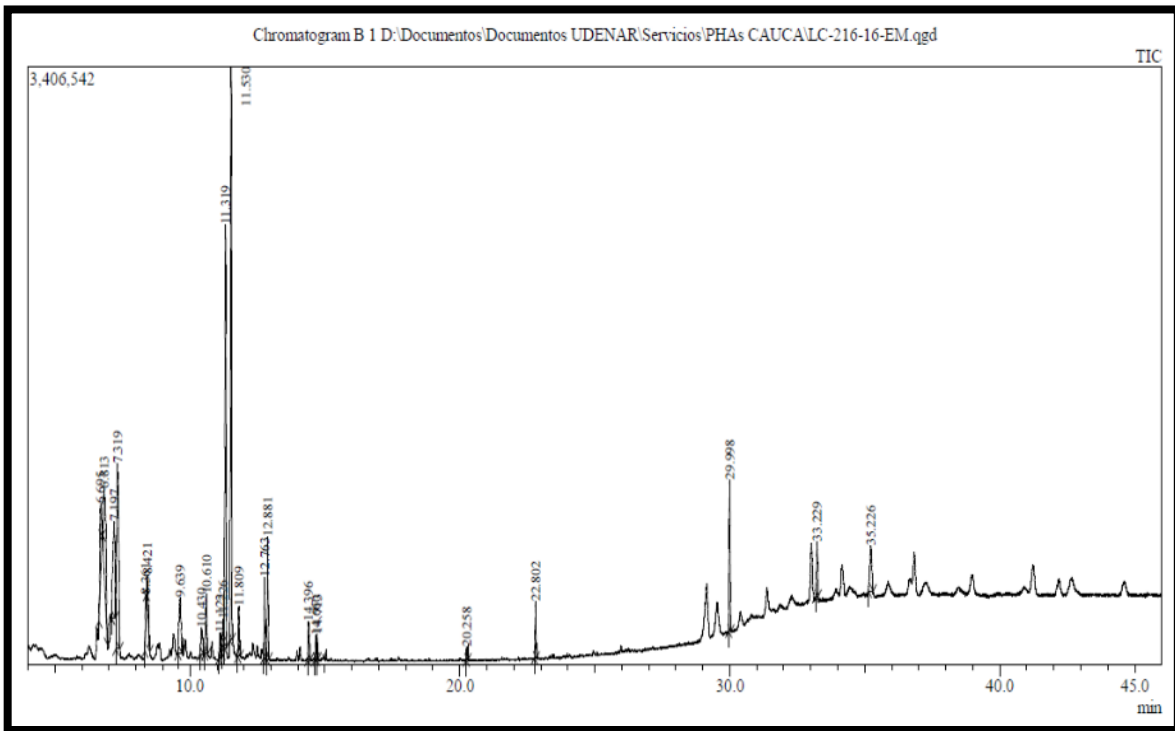
Por lo anterior, no será posible evaluar enfermedades asociadas a aromáticos policíclicos en la zona de muestreo, debido a esto, a continuación, se analizan los hidrocarburos lineales y demás compuestos encontrados.

Los resultados de los análisis de la muestra entregada al laboratorio de Cromatografía en la Universidad de Nariño, se obtuvieron mediante la comparación con los espectros de masas con las librerías NIST y WILEY, los cromatogramas (Imagen 11-13) y datos son los siguientes:

Las muestras enviadas (Punto 1: en semana y fin de semana, Punto en blanco) a cromatografía de gases, se realizaron por triplicado (tres análisis por cada muestra) para garantizar que los resultados obtenidos fueran confiables.

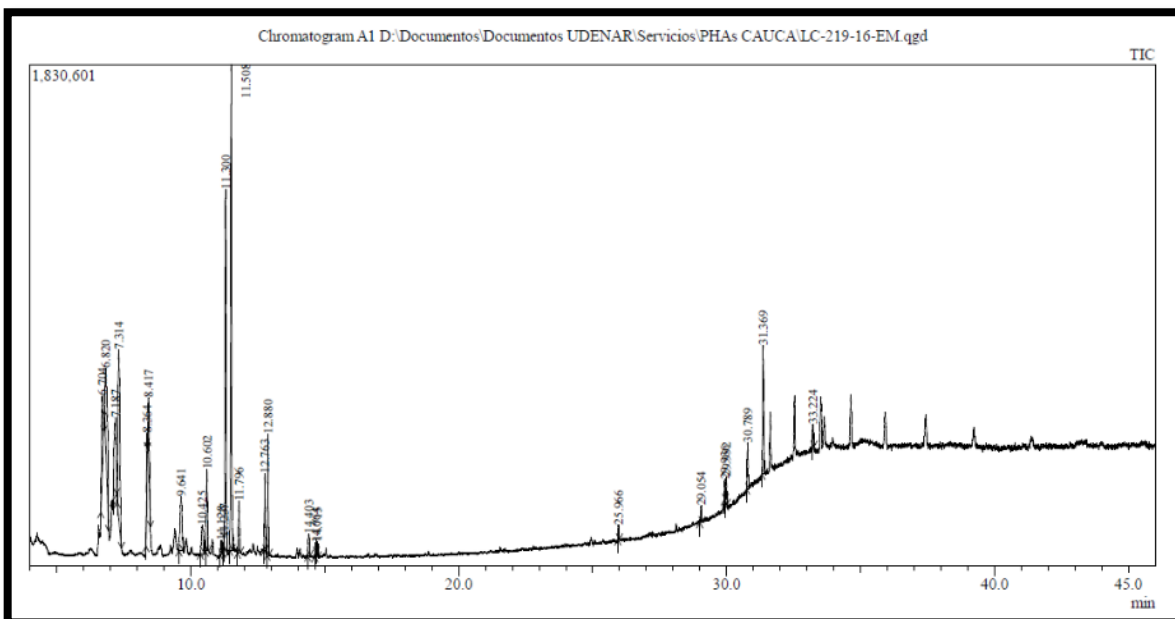
En las imágenes 11,12 y 13, se observa un cromatograma por cada muestra analizada, las demás replicas se encuentran en los anexos 14-16.

Imagen 11. Cromatograma muestra Punto en Blanco (primera replica)



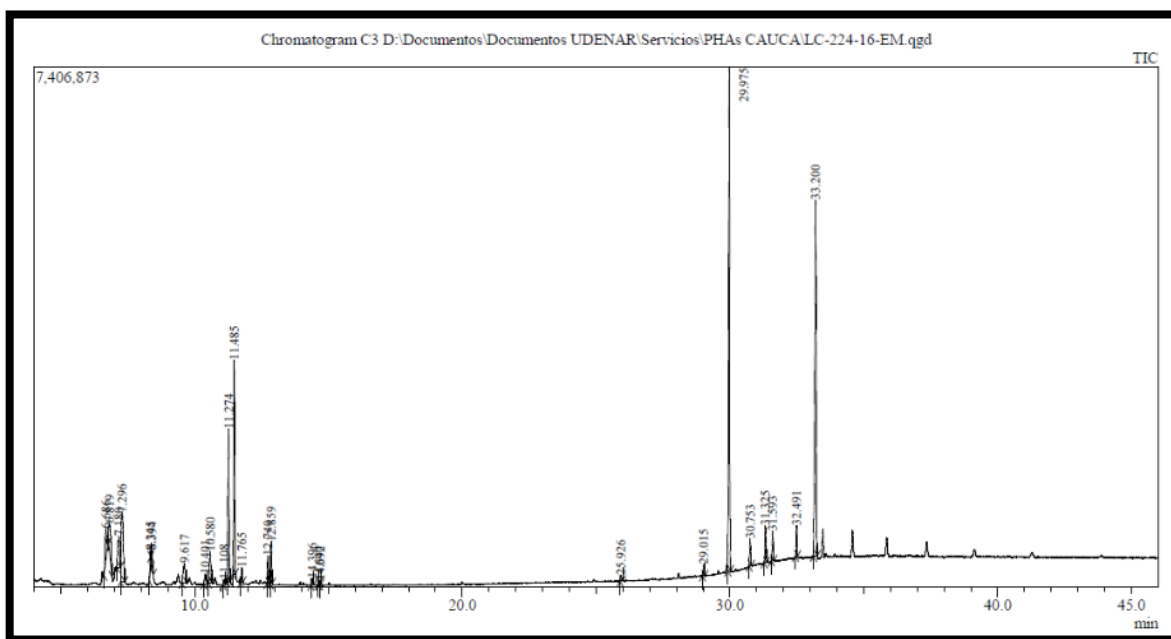
Fuente: Laboratorio Cromatografía Universidad de Nariño

Imagen 12. Cromatograma muestra Calle 4-Cra 9 en semana (primera replica)



Fuente: Laboratorio Cromatografía Universidad de Nariño

Imagen 13. Cromatograma muestra Calle 4-Cra 9 fin de semana (primera replica)



Fuente: Laboratorio Cromatografía Universidad de Nariño

En los cromatogramas (Imagen 11-13), se puede observar el espectro de los picos, donde cada uno representa el analito de la muestra en función del tiempo. La detección de cada pico se presenta de acuerdo al porcentaje de similaridad entre la muestra y la librería con que cuenta la Universidad de Nariño.

En los resultados enviados por la Universidad de Nariño, no fueron encontrados Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos con el límite de detección usado (<0,003mg/L), pero se hallaron diferentes compuestos de interés ambiental que influyen en la salud de las personas que viven y transitan en el área de estudio.

Cada punto de muestreo se analizó por triplicado para garantizar la confiabilidad de los resultados.

En la tabla 14, se muestra el resultado obtenido por cromatografía de gases masas en el punto 1 (carrera 4 con carrera9) día de semana.

Cada compuesto analizado en cada uno de los puntos, cuenta con un promedio de porcentaje de cantidad relativa (CR) que nos permite cuantificar el porcentaje en el que cada hidrocarburo, cetona, alcoholes, ésteres y ftalatos se encuentran dentro del 100%, acompañado de un porcentaje de similaridad, que corresponde a la semejanza que presenta el pico cromatográfico del compuesto frente a la base de datos o librería del espectrómetro de masas. Los promedios de cantidad relativa

fueron realizados de acuerdo a los valores de los anexos 17-19. Adicionalmente, junto con la CR se muestra el intervalo de confianza (IC) en el que se espera encontrar el valor real del compuesto, se utilizó un nivel de confianza del 95 % y α : 0,05. Estos valores de IC son muy bajos al igual que la desviación estándar lo que indica la eficiencia del método analítico al reproducir valores similares en las 3 réplicas.

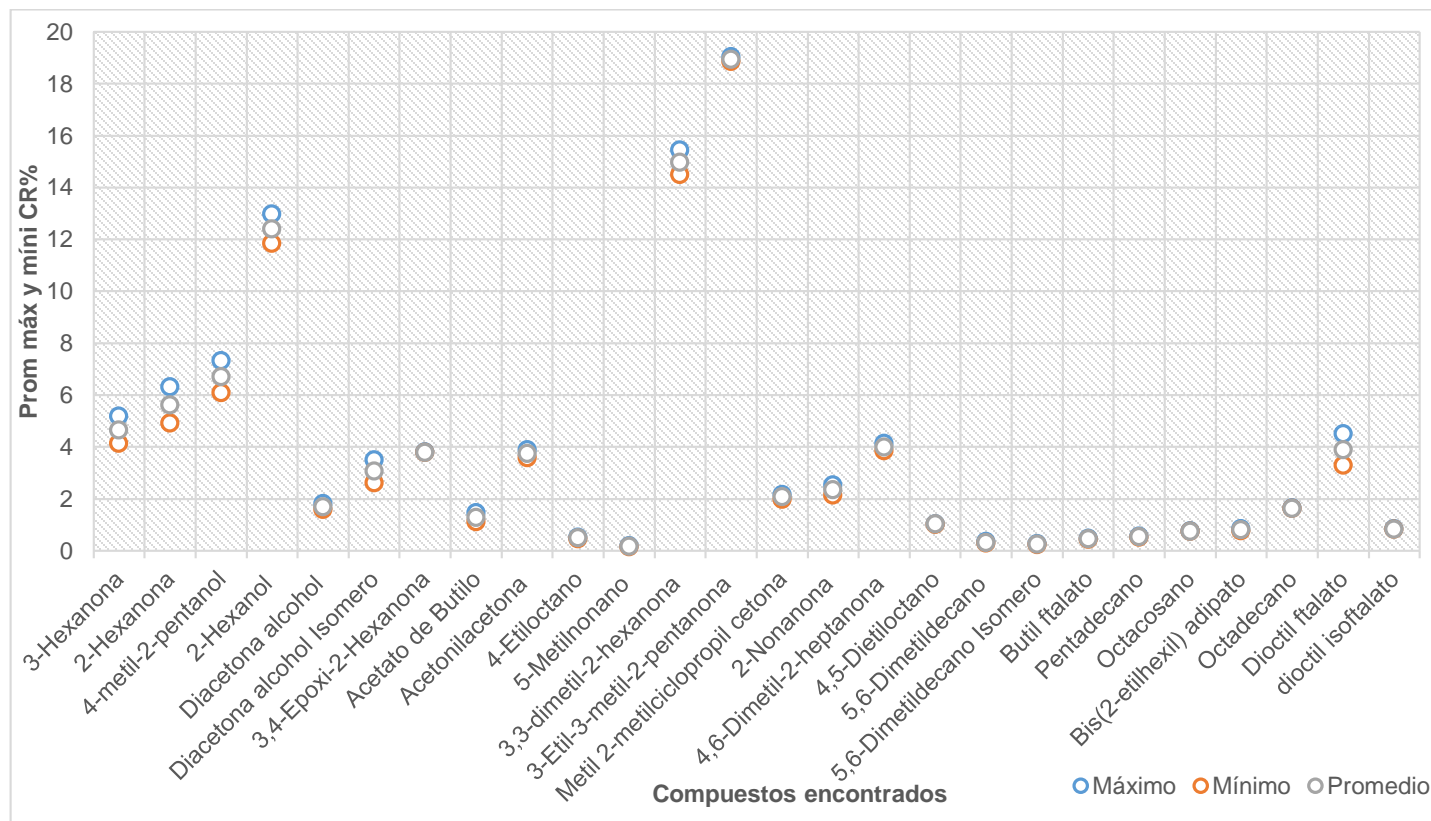
Tabla 14. Compuestos detectados, promedio de la cantidad relativa y similaridad del punto de muestreo calle 4 con carrera 9 en día de semana.

PICO N°	COMPUESTO	PROMEDIO CANTIDAD RELATIVA (CR) %	DESVIACIÓN ESTANDAR	SIMILARIDAD %
1	3-Hexanona	4,7±0,5	0,5	90
2	2-Hexanona	5,6±0,7	0,6	96
3	4-metil-2-pentanol	6,7±0,6	0,6	93
4	2-Hexanol	12,4±0,6	0,5	98
5	Diacetona alcohol	1,7±0,1	0,1	98
6	Diacetona alcohol Isómero	3,1±0,4	0,4	98
7	3,4-Epoxi-2-Hexanona	3,8±0,01	0,01	92
8	Acetato de Butilo	1,3±0,2	0,2	91
9	Acetonilacetona	3,8±0,2	0,1	98
10	4-Etiloctano	0,5±0,03	0,03	95
11	5-Metilnonano	0,2±0,02	0,01	94
12	3,3-dimetil-2-hexanona	15,0±0,5	0,4	91
13	3-Etil-3-metil-2-pentanona	19,0±0,1	0,1	94
14	Metil 2-metilciclopropil cetona	2,1±0,1	0,1	90
15	2-Nonanona	2,4±0,2	0,2	91
16	4,6-Dimetil-2-heptanona	4,0±0,1	0,1	90
17	4,5-Dietiloctano	1,0±0,02	0,01	96
18	5,6-Dimetildecano	0,3±0,03	0,03	97
19	5,6-Dimetildecano Isómero	0,3±0,02	0,02	95
20	Butil ftalato	0,5±0,02	0,02	87
21	Pentadecano	0,6±0,02	0,02	93
22	Octacosano	0,8±0,01	0,01	89
23	Bis(2-etilhexil) adipato	0,8±0,04	0,04	97
24	Octadecano	1,7±0,02	0,01	92
25	Diocil ftalato	3,9±0,6	0,5	92
26	diocil isoftalato	0,9±0,02	0,01	90

Fuente: Elaboración propia con información suministrada por Universidad de Nariño. Identificación por espectrometría de masas. 2016

En la gráfica 4, se muestran los promedios de cantidad relativa que cada compuesto analizado obtuvo en la muestra tomada en día de semana (calle 4 carrera 9), como también los valores máximos y mínimos de acuerdo al intervalo de confianza (IC) para cada uno (se utilizó IC del 95%; α : 0,05).

Gráfica 4. Compuestos presentes en la muestra día de semana (calle 4 carrera 9) e intervalo de confianza



Fuente: Elaboración propia

De la gráfica 4, se puede observar que los compuestos con mayor promedio de CR son 3-Etil-3-metil-2-pentanona, 3,3-dimetil-2-hexanona, 2-hexanol, 4-metil-2-pentanol, 2-hexanona y 3-hexanona que, según la frecuencia de exposición a la que las personas se vean expuestas pueden ser afectados en su mayoría presentando efectos negativos como irritación al tracto respiratorio, enrojecimiento y dolor en la piel, depresión del sistema nervioso central y otros, que se pueden observar en la tabla 18.

En la tabla 15, se muestra el resultado obtenido por cromatografía de gases masas, para cada compuesto encontrado en el punto 1 (carrera 4 con carrera9) día de fin de semana.

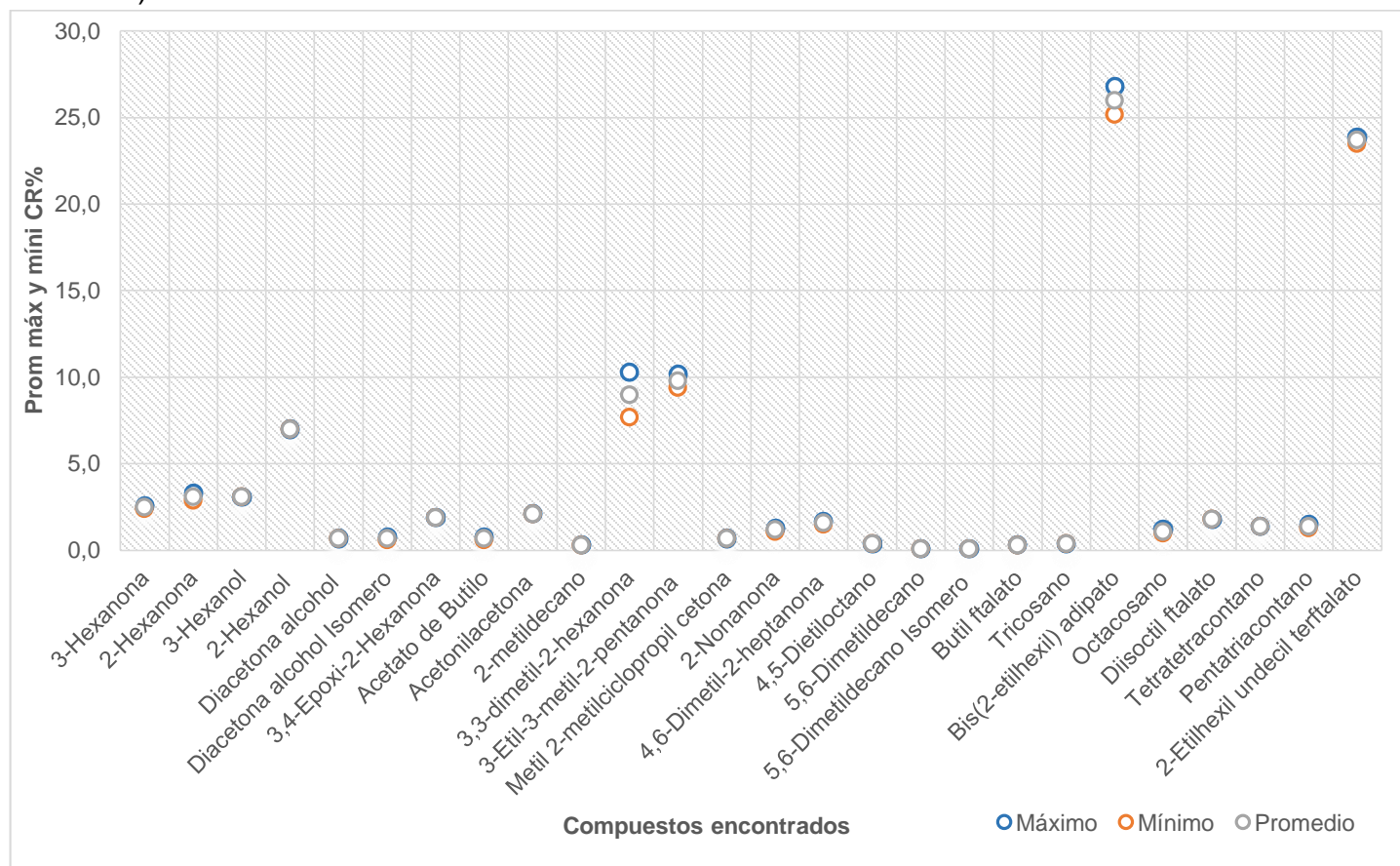
Tabla 15. Compuestos detectados, promedio de la cantidad relativa y similitud del punto de muestreo calle 4 con carrera 9 en fin de semana.

PICO N°	COMPUESTO	PROMEDIO CANTIDAD RELATIVA %	DESVIACIÓN ESTANDAR	SIMILARIDAD %
1	3-Hexanona	2,5±0,1	0,1	90
2	2-Hexanona	3,1±0,2	0,1	96
3	3-Hexanol	3,1±0,0	0,02	93
4	2-Hexanol	7,0±0,0	0,04	98
5	Diacetona alcohol	0,7±0,0	0,01	98
6	Diacetona alcohol Isómero	0,7±0,1	0,1	97
7	3,4-Epoxi-2-Hexanona	1,9±0,0	0,01	94
8	Acetato de Butilo	0,7±0,1	0,1	91
9	Acetonilacetona	2,1±0,0	0,01	98
10	2-metildecano	0,3±0,0	0,02	86
11	3,3-dimetil-2-hexanona	9,0±1,3	1,1	91
12	3-Etil-3-metil-2-pentanona	9,8±0,4	0,4	94
13	Metil 2-metilciclopropil cetona	0,7±0,0	0,01	90
14	2-Nonanona	1,2±0,1	0,05	92
15	4,6-Dimetil-2-heptanona	1,6±0,1	0,1	92
16	4,5-Dietiloctano	0,4±0,0	0,04	95
17	5,6-Dimetildecano	0,1±0,0	0,02	96
18	5,6-Dimetildecano Isómero	0,1±0,0	0,0	95
19	Butil ftalato	0,3±0,0	0,01	87
20	Tricosano	0,4±0,0	0,03	93
21	Bis(2-etilhexil) adipato	26,0±0,8	0,7	97
22	Octacosano	1,1±0,1	0,1	90
23	Diisocil ftalato	1,8±0,0	0,04	95
24	Tetratetracontano	1,4±0,0	0,04	92
25	Pentatriacontano	1,4±0,1	0,05	93
26	2-Etilhexil undecil terftalato	23,7±0,2	0,1	85

Fuente: Elaboración propia con información suministrada por Universidad de Nariño. Identificación por espectrometría de masas. 2016

En la gráfica 5, se muestran los promedios de cantidad relativa que cada compuesto analizado obtuvo en la muestra tomada en fin de semana (calle 4 carrera 9), como también los valores máximos y mínimos de acuerdo al intervalo de confianza (IC) para cada uno (se utilizó IC del 95%; α : 0,05).

Gráfica 5. Compuestos presentes en la muestra en fin de semana (calle 4 carrera 9) e intervalo de confianza



Fuente: Elaboración propia

De la gráfica 5, se puede observar que los compuestos con mayor promedio de CR son Bis(2-ethylhexil) adipato, 2-Etilhexil undecil terftalato, 3-Etil-3-metil-2-pentanona, y 3,3-dimetil-2-hexanona que, a pesar de no tener información que respalde los efectos en la salud, los que cuentan con información determinan que según la frecuencia de exposición a la que las personas se vean expuestas pueden presentar efectos negativos como irritación ocular, enrojecimiento y dolor en la piel y otros, que se pueden observar en la tabla 18.

En la tabla 16, se muestra el resultado obtenido por cromatografía de gases masas, para cada compuesto encontrado en el punto en blanco (vía a planta de tratamiento de agua potable).

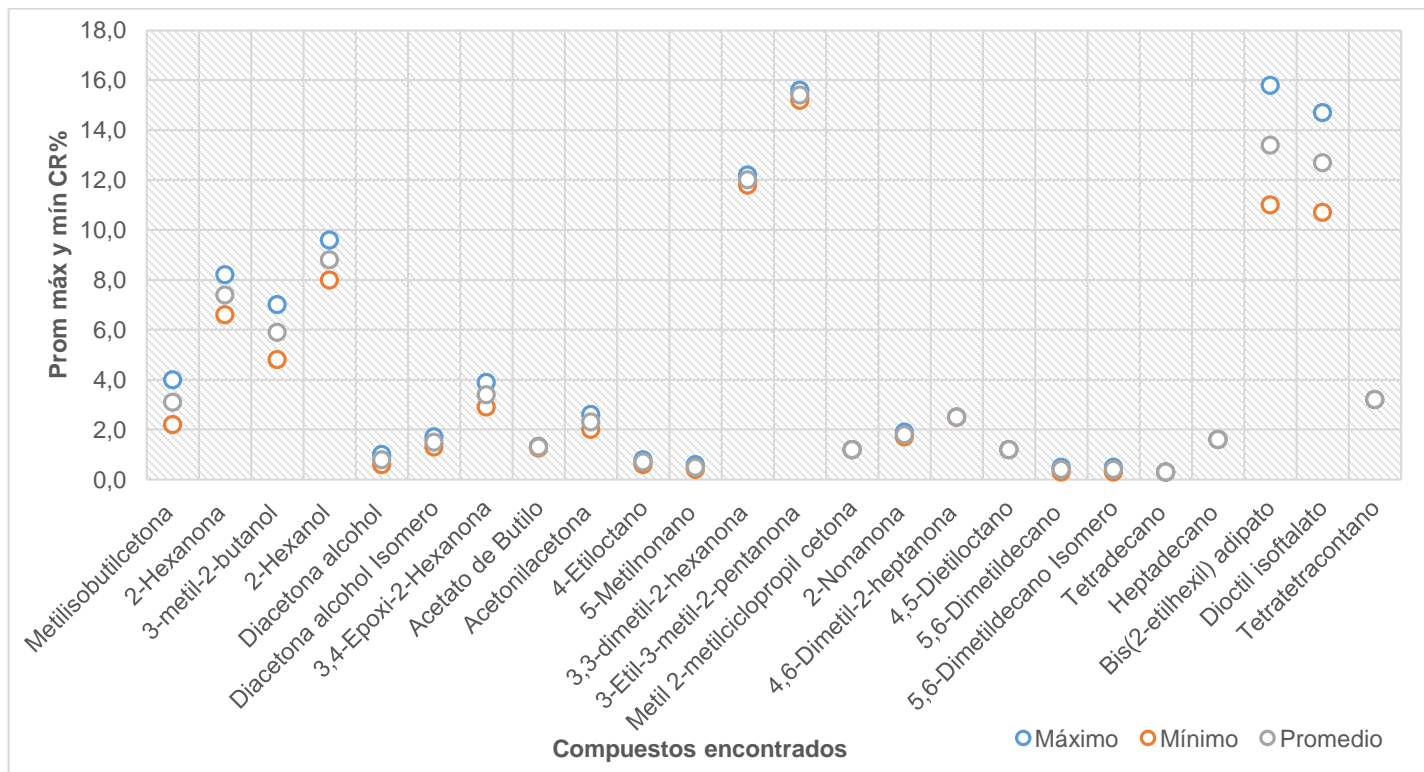
Tabla 16. Compuestos detectados, promedio de la cantidad relativa y similaridad del punto de muestreo punto en blanco.

PICO N°	COMPUESTO	PROMEDIO CANTIDAD RELATIVA %	DESVIACIÓN ESTANDAR	SIMILARIDAD %
1	Metilisobutilcetona	3,1±0,9	0,8	95
2	2-Hexanona	7,4±0,8	0,7	98
3	3-metil-2-butanol	5,9±1,1	1,0	90
4	2-Hexanol	8,8±0,8	0,7	98
5	Diacetona alcohol	0,8±0,2	0,2	98
6	Diacetona alcohol Isómero	1,5±0,2	0,2	98
7	3,4-Epoxi-2-Hexanona	3,4±0,5	0,5	92
8	Acetato de Butilo	1,3±0,03	0,03	86
9	Acetonilacetona	2,3±0,3	0,2	98
10	4-Etiloctano	0,7±0,1	0,0	95
11	5-Metilnonano	0,5±0,1	0,1	94
12	3,3-dimetil-2-hexanona	12,0±0,2	0,2	90
13	3-Etil-3-metil-2-pentanona	15,4±0,2	0,2	90
14	Metil 2-metilciclopropil cetona	1,2±0,0	0,0	90
15	2-Nonanona	1,8±0,1	0,0	91
16	4,6-Dimetil-2-heptanona	2,5±0,0	0,0	90
17	4,5-Dietiloctano	1,2±0,0	0,0	96
18	5,6-Dimetildecano	0,4±0,1	0,0	97
19	5,6-Dimetildecano Isómero	0,4±0,1	0,1	95
20	Tetradecano	0,3±0,0	0,0	90
21	Heptadecano	1,6±0,0	0,0	93
22	Bis(2-etilhexil) adipato	13,4±2,4	2,2	98
23	Diocil isoftalato	12,7±2,0	1,8	90
24	Tetratetracontano	3,2±0,0	0	95

Fuente: Elaboración propia con información suministrada por Universidad de Nariño. Identificación por espectrometría de masas. 2016

En la gráfica 6, se muestran los promedios de cantidad relativa que cada compuesto analizado obtuvo en la muestra tomada en el punto en blanco, como también los valores máximos y mínimos de acuerdo al intervalo de confianza (IC) para cada uno (se utilizó IC del 95%; α : 0,05).

Gráfica 6. Compuestos presentes en la muestra punto en blanco e intervalo de confianza



Fuente: Elaboración propia

De la gráfica 6, se puede observar que los compuestos con mayor promedio de CR son Bis(2-etilhexil) adipato, 3-Etil-3-metil-2-pentanona, Diocetil isoftalato, 3,3-dimetil-2-hexanona, 2-hexanol, 2-hexanona y 3-metil-2-butanol que, según la frecuencia de exposición a la que las personas se vean expuestas pueden ser afectados en su mayoría presentando efectos negativos como irritación ocular severo, enrojecimiento y dolor en la piel, irritación al tracto respiratorio y otros, que se pueden observar en la tabla 18.

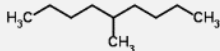
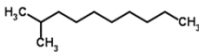
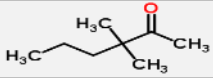
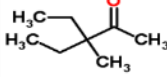
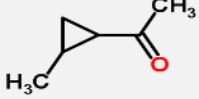
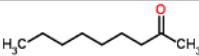
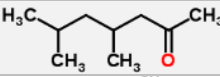
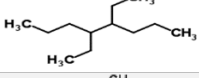
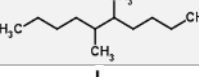
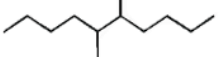
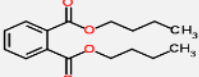






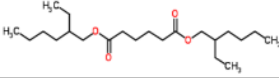
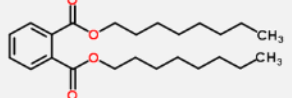
El que se hayan encontrado los mismos 16 compuestos (2-hexanona, 2-hexanol, diacetona alcohol, diacetona alcohol isómero, 3,4-Epoxi-2-Hexanona, Acetato de Butilo, Acetonilacetona, 3,3-dimetil-2-hexanona, 3-Etil-3-metil-2-pentanona, Metil 2-metilciclopropil cetona, 2-Nonanona, 4,6-Dimetil-2-heptanona, 4,5-Dietiloctano, 5,6-Dimetildecano, 5,6-Dimetildecano Isómero, Bis(2-etilhexil) adipato) en los tres puntos de muestreo (punto en blanco, calle 4 con carrera 9 en semana y fin de semana), permite determinar que las fuentes de emisión de estos compuestos son del mismo carácter, en la calle 4 con carrera 9 en día de semana y fin de semana por el alto flujo vehicular y en el punto en blanco se podría decir que la velocidad y dirección del viento, permitieron que las partículas producidas en las carreteras

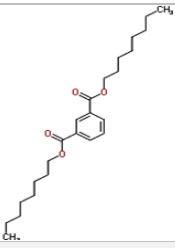


cercanas fueran esparcidas hasta el punto de muestreo donde se encontraron estos compuestos.

En la tabla 17, se dará a conocer información general de cada compuesto con su fórmula estructural y química, peso molecular, punto de ebullición y fusión, además la clasificación según efecto carcinógeno de acuerdo a información de la IARC (Agencia Internacional para la investigación del cáncer), lo que permite identificar su peligrosidad en la salud humana.

Tabla 17. Lista de compuestos encontrados, sus propiedades físicas y potencial efecto carcinógeno

Compuesto	Formula estructural	Formula química	Peso molecular	Punto de fusión (°C)	Punto de ebullición (°C)	Clasificación según efecto carcinógeno
						IARC ¹
Metilisobutilcetona		C ₆ H ₁₂ O	100,16	-83,5	116,1	2B
3-Hexanona		C ₆ H ₁₂ O	100,16	-55	119-121	3
2-Hexanona		C ₆ H ₁₂ O	100,16	-57	127	3
4-Metil-2-pentanol		C ₆ H ₁₄ O	102,18	-60	130-133	3
3-metil-2-butanol		C ₅ H ₁₂ O	88,15	ND	112	3
3-Hexanol		C ₆ H ₁₄ O	102,18	-57	134-136	3
2-Hexanol		C ₆ H ₁₄ O	102,18	-23	137-138	3
Diacetona alcohol		C ₆ H ₁₂ O ₂	116,16	-47	168	3
Diacetona alcohol Isómero		C ₆ H ₁₂ O ₂	116,16	-44	169-171	3
3,4-Epoxi-2-Hexanona		C ₆ H ₁₀ O ₂	114,14	ND	158,2	ND
Acetato de Butilo		C ₆ H ₁₂ O ₂	116,16	-98,6	117,2	3
Acetonilacetona		C ₆ H ₁₀ O ₂	114,14	-6	185-193	ND
4-Etiloctano		C ₁₀ H ₂₂	142,28	ND	163,6	ND

5-Metilnonano		$C_{10}H_{22}$	142,28	-88	165	ND
2-Metil-decano		$C_{11}H_{24}$	156,31	-49	188,7	ND
3,3-dimetil-2-hexanona		$C_8H_{16}O$	128,21	ND	149,9	3
3-Etil-3-metil-2-pentanona		$C_8H_{16}O$	128,21	ND	154	ND
Metil 2-metilciclopropil cetona		$C_6H_{10}O$	98,14	ND	127,8	ND
2-Nonanona		$C_9H_{18}O$	142,24	-15	188-190	ND
4,6-Dimetil-2-heptanona		$C_9H_{18}O$	142,24	ND	170,3	ND
4,5-Dietiloctano		$C_{12}H_{26}$	170,34	ND	201,2	ND
5,6-Dimetildecano		$C_{12}H_{26}$	170,34	ND	204,1	ND
5,6-Dimetildecano Isómero		$C_{12}H_{26}$	170,34	ND	204,1	ND
Butil ftalato		$C_{16}H_{22}O_4$	278,34	-35	340	3
Tetradecano		$C_{14}H_{30}$	198,39	6	252 - 254	3
Pentadecano		$C_{15}H_{32}$	212,42	9-10	269-270	3
Heptadecano		$C_{17}H_{36}$	240,47	22	302	3
Octadecano		$C_{18}H_{38}$	254,49	28	317	3
Tricosano		$C_{23}H_{48}$	324,63	47-50	199-200	3
Octacosano		$C_{28}H_{58}$	394,76	61-63	440	3
Bis(2-etilhexil) adipato		$C_{22}H_{42}O_4$	370,57	-67	166-168	3
Diocetil ftalato		$C_{24}H_{38}O_4$	390,56	-50	384	2B

Diocil isoftalato		$C_{24}H_{38}O_4$	390,56	ND	423,2	ND
Diisocil ftalato	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Tetratetracontano		$C_{44}H_{90}$	619,19	86-90	ND	ND
Pentatriacontano		$C_{35}H_{72}$	492,95	73-75	ND	ND
2-etilhexil undecil terftalato	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a información suministrada por la **IARC** (Agencia Internacional para la investigación del Cáncer), se encuentran 4 grupos clasificatorios de cáncer, así:

- Grupo 1: Carcinogénico para los humanos
- Grupo 2A: Probablemente carcinógeno para los seres humanos
- Grupo 2B: Posiblemente carcinógeno para los seres humanos
- Grupo 3: No es clasificable en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos
- Grupo 4: Probablemente no carcinógeno para los seres humanos

Aquella información que aparece como ND, se refiere a que no hay información disponible de determinado compuesto.

Fuente: ChemSpider and Share Chemistry; IARC Monographs on the Evaluation of carcinogenic Risks to Humans. 2016

En el análisis realizado por cromatografía de gases no fueron identificados hidrocarburos aromáticos policíclicos esto pudo deberse a que el límite de detección fue muy alto, pero se encontraron hidrocarburos alifáticos (alcanos, alquenos), éter, cetonas, alcoholes y esterés; con dos de estos compuestos (metilsobutocetona y Diocil ftalato), que de acuerdo a hojas de seguridad e información suministrada por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC), se clasificaron con un índice carcinogénico 2B, como posibles carcinógenos en el ser humano, existiendo pruebas limitadas de la carcinogenicidad en seres humanos pero si suficientes en animales. Se debe tener en cuenta que los efectos que estos causan en la salud, se relacionan con el tiempo de exposición, estilo de vida de cada

persona, su genética, tipo de persona (mujer, hombre, niño, persona mayor) entre otros factores.

Adicionalmente se debe aclarar que no todos los compuestos encontrados en análisis cromatográfico, han mostrado poseer efectos carcinogénicos, genotóxicos o mutágenos de manera individual, ya que muchas veces el efecto se atribuye a la presencia conjunta de más de un compuesto de la familia y de algunos de sus derivados (Cabellero L. & Alvarado D., 2006).

En la gráfica 4, se observa que 3-Etil-3-metil-2-pentanona, 3,3-dimetil-2-hexanona, 2-hexanol, fueron los componentes con mayor porcentaje de relatividad en cada uno de los puntos de muestreo. Los dos primeros son compuestos orgánicos que contienen el grupo funcional carbonilo –CO- (cetonas), en el que ambas valencias están necesariamente unidos a átomos de carbono (Neto, s.f.), y el último es un alcohol, que tiene un grupo oxhidrilo unido a un átomo de carbono, que a su vez está unido a una estructura carbonada de longitud variable (Arroyo, 2011). De acuerdo a información suministrada por hojas de seguridad de estos compuestos, no existen datos disponibles en cuanto a toxicidad acuática, persistencia y degradabilidad, potencial de bioacumulación y movilidad en el suelo, pero advierten que no debe permitirse que estos compuestos sean liberados sin los permisos gubernamentales apropiados y evitar un contacto con el medio ambiente.

Se observa que de los 37 compuestos encontrados en el análisis cromatográfico del material particulado, solo 16 de ellos estuvieron presentes en los tres puntos muestreados (punto en blanco, calle 4 con carrera 9 en semana y fin de semana), de los cuales 3-Etil-3-metil-2-pentanona, 3,3-dimetil-2-hexanona, 2-hexanol, 2-hexanona y Bis (2-etilhexil) adipato son los compuestos mayoritarios con relación a los demás.

Al no encontrarse información sobre efectos en la salud de compuestos como 3,3-dimetil-2-hexanona, 3-etil-3-metil-2-pentanona, 3,4-hepoxi-2-hexanona, 4-etiloctano, 2-metil-decano, metil-2-metilciclopropil cetona, 4,6-dimetil-2-heptanona, 4,5-dietiloctano, 5,6-dimetildecano, 5,6-dimetildecano isómero, Dioctil isoftalato, diisocetil isoftalato y 2-etilhexil undecil terftalato, no se puede garantizar el nivel de carcinogenicidad, genotoxicidad, mutagenicidad y toxicidad de estos compuestos, pero tampoco se puede descartar que sus propiedades incidan en la generación de otras enfermedades.

La presencia de 2-Hexanol pudo deberse a que la muestra en blanco se encontraba localizada en una zona con abundante cobertura vegetal, las cuales pueden contener este compuesto ya que les da el aroma a las plantas (Trejo M., 2010). Este

compuesto también puede encontrarse en el combustible, aceites, elaborados a partir de hidrocarburos aromáticos y alifáticos.

Con relación a la presencia de Bis (2-Etilhexil) adipato, puedo deberse a que este se puede encontrar en lubricantes y otras aplicaciones, como plastificantes y cosméticos, por ello para entender la presencia de este compuesto en el combustible y/o polvo y su incremento en la Calle 4FD, se deberían estudiar más a fondo las causas que llevaron a obtener este resultado.

4.1.7 Efectos en la salud de compuestos encontrados por cromatografía de gases

En la tabla 18, se da a conocer los efectos crónicos y/o agudos que pueden generar los compuestos encontrados en la investigación:

Tabla 18. Compuestos y sus efectos en la salud

N°	COMPUESTO	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Metilisobutilcetona (CAS 108-10-1)	X	X	X	--	--	--	--	--
2	3-Hexanona (CAS 589-38-8)	--	X	X	X	X	--	--	--
3	2-Hexanona (CAS 591-78-6)	X	X	X	X	X	X	--	--
4	4-Metil-2-pentanol (CAS 108-11-2)	X	X	X	X	--	--	X	--
5	3-metil-2-butanol (CAS 598-75-4)	--	X	X	--	--	--	--	--
6	3-Hexanol (CAS 623-37-0)	X	--	--	--	--	--	--	--
7	2-Hexanol (CAS 626-93-7)	X	--	--	--	--	--	--	X
8	Diacetona alcohol (CAS 123-42-2)	X	X	X	--	--	--	--	--
9	Diacetona alcohol isómero	X	X	X	--	--	--	--	--
10	3,4-Epoxi-2-Hexanona	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
11	Acetato de Butilo (CAS 123-86-4)	X	X	X	X	X	--	--	--
12	Acetonilacetona (CAS 110-13-4)	--	X	--	--	X	--	X	--
13	4-Etiloctano	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
14	5-Metilnonano (CAS 15869-85-9)	X	X	X	--	--	--	--	X
15	2-Metil-decano	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
16	3,3-dimetil-2-hexanona	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
17	3-Etil-3-metil-2-pentanona	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
18	Metil 2-metilciclopropil cetona	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
19	2-Nonanona (CAS 821-55-6)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
20	4,6-Dimetil-2-heptanona	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
21	4,5-Dietiloctano	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
22	5,6-Dimetildecano	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
23	5,6-Dimetildecano Isómero	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

24	Butil ftalato (CAS 84-74-2)	X	X	X	--	--	X	--	--
25	Tetradecano (CAS 629-59-4)	X	--	X	--	--	--	X	--
26	Pentadecano (CAS 629-62-9)	X	--	X	--	--	--	--	--
27	Heptadecano (CAS 629-78-7)	X	--	X	--	--	--	X	X
28	Octadecano (CAS 593-45-3)	X	--	X	--	--	--	--	X
29	Tricosano (CAS 638-67-5)	X	X	X	--	--	--	--	X
30	Octacosano (CAS 630-02-4)	X	--	X	--	--	--	--	--
31	Bis(2-etilhexil) adipato (CAS 103-23-1)	X	--	X	--	--	--	--	--
32	Diocil ftalato (CAS 117-81-7)	X	X	X	--	X	X	--	X
33	Diocil isoftalato	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
34	Diisocil ftalato	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
35	Tetratetracontano (CAS 7098-22-8)	X	X	X	--	--	--	--	X
36	Pentatriacontano (CAS 630-07-9)	--	X	X	--	X	X	--	X
37	2-etilhexil undecil terftalato	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	TOTAL	19	15	20	4	6	4	4	8

Fuente: Elaboración propia

Las casillas marcadas como ND, se refiere a que no hay información disponible de determinado compuesto.

Los ítems que van de **A–H**, representan los efectos negativos que los compuestos pueden ocasionar en la salud del ser humano. En la tabla 19, se dará a conocer el significado de cada ítem, así:

Tabla 19. Efectos en la salud de acuerdo al ítem representativo

ITEM	EFFECTOS
A	Provoca irritación ocular grave, ardor, lagrimeo y/o cambios en la visión. Dolor punzante inmediato y severo.
B	Tras inhalación, son irritantes para las membranas mucosas y tracto respiratorio, gastritis, puede causar depresión del sistema nervioso central con náusea, mareo, dolor de cabeza, estupor, conducta no coordinada, tos, dolor de pecho, dificultades respiratorias. Existe riesgo de edema pulmonar, somnolencia o vértigo, vómitos, diarrea, pérdida del conocimiento, neumonía, arritmia, irritación en esófago y estómago acompañado de dolor estomacal.
C	El contacto repetido o prolongado con la piel, la puede desengrasar (formación de piel resquebrajada y agrietada) y producir dermatitis, piel seca, enrojecimiento y dolor.

D	Tras absorción, puede causar depresiones del sistema nervioso central (narcosis), cansancio, dolor de cabeza, descenso de la presión sanguínea debido a depresión cardíaca, relajación del músculo liso en todas las regiones y depresión del músculo esquelético sin influir sobre los nervios.
E	Provoca daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas, no pueden excluirse efectos tóxicos sobre los riñones y el hígado a dosis elevadas, sistema digestivo y sistema reproductor.
F	Posible riesgo de perjudicar la fertilidad, supuesto toxico reproductivo humano y/o puede causar daño al feto.
G	La sustancia o mezcla se sabe que causa peligro de toxicidad por aspiración para el ser humano o ha de ser considerada como si causara riesgo de toxicidad por aspiración al ser humano. Existe riesgo de aspiración al vomitar, puede causar náusea, edema pulmonar y neumonía.
H	Por ingestión, puede ser nocivo, puede causar irritación del tracto respiratorio y digestivo. Por exposición crónica: La ingestión puede provocar diarrea y dolor abdominal.

Fuente: Elaboración propia de información tomada de Fichas de seguridad Alfa Aesar; Sigma Aldrich; Atsdr; Merck; TCI America; GTM; Chemical Oil; IDESA Petroquímica; Rotichrom. 2016

Durante el proceso de análisis cromatográfico gases-masas, se encontraron alrededor 37 compuestos, los cuales comparten enfermedades y efectos crónicos y agudos similares, que directamente no están relacionados en su mayoría con cáncer, pero que grupalmente lo pueden ocasionar.

Entre las enfermedades de mayor riesgo, se encuentran las causadas por compuestos con un número de carbonos igual o mayor a seis, como la pulmonía, edemas pulmonares y afectaciones crónicas en el sistema nervioso central, infertilidad, afectaciones fetales, daños en órganos vitales (hígado, riñones, pulmones), afectando drásticamente la salud humana y ambiente.

De la tabla 18, se puede observar que existen 3 efectos negativos que se generan con mayor frecuencia por exposición a estos compuestos, ocupando el primer lugar daños en la piel como se menciona en la tabla 19; seguido de problemas oculares severos y por último, complicaciones en el tracto respiratorio, depresión del sistema nervioso central y sistema cardiaco.

A pesar, de que los ítem E y F se presentaron en menor frecuencia, representan un alto riesgo al afectar órganos como riñones, hígado sistema digestivo y reproductor, causando infertilidad y daños al feto.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En el presente estudio se analizaron por cromatografía de gases GC/MS muestras de polvo recolectadas mediante barrido de calles y posterior extracción Soxhlet, procedentes de un punto en blanco (ausencia de flujo vehicular), calle 4 con carrera 9 en semana (alto flujo vehicular), y calle 4 en fin de semana (bajo flujo vehicular). No se encontró concentraciones de HAP por encima del límite de detección definido como 0, 003mg/L, pero se logró identificar 37 compuestos tales como: Metilisobutilcetona, 3-Hexanona, 2-Hexanona, 4-Metil-2-pentanol, 3-metil-2-butanol, 3-Hexanol, 2-Hexanol, Diacetona alcohol, Diacetona alcohol Isómero, 3,4-Epoxi-2-Hexanona, Acetato de Butilo, Acetonilcetona, 4-Etiloctano, 5-Metilnonano, 2-Metil-decano, 3,3-dimetil-2-hexanona, 3-Etil-3-metil-2-pentanona, Metil 2-metilciclopropil cetona, 2-Nonanona, 4,6-Dimetil-2-heptanona, 4,5-Dietiloctano, 5,6-Dimetildecano, 5,6-Dimetildecano Isómero, Butil ftalato, Tetradecano, Pentadecano, Heptadecano, Octadecano, Tricosano, Octacosano, Bis(2-etilhexil) adipato, Dioctil ftalato, Dioctil isoftalato, Diisocetil ftalato, Tetratetracontano, Pentatriacontano, 2-etilhexil undecil terftalato. Estos en su mayoría pertenecen a hidrocarburos alifáticos, cetonas, alcoholes, éteres, entre otros, que junto con los hidrocarburos aromáticos policíclicos son compuestos que en su mayoría se obtienen a partir del petróleo, del gas natural o que se pueden encontrar en el ambiente.

De lo anterior se identificaron 3-Etil-3-metil-2-pentanona, 3,3-dimetil-2-hexanona, 2-hexanol, como componentes con mayor porcentaje de relatividad en cada uno de los puntos de muestreo. Los dos primeros son compuestos orgánicos que contienen el grupo funcional carbonilo –CO- (cetonas), en el que ambas valencias están necesariamente unidos a átomos de carbono (Neto, s.f.), y el último es un alcohol, que tiene un grupo oxhidrilo unido a un átomo de carbono, que a su vez está unido a una estructura carbonada de longitud variable (Arroyo, 2011).

Al no encontrarse información sobre efectos en la salud de compuestos como 3,3-dimetil-2-hexanona, 3-etil-3-metil-2-pentanona, 3,4-hepoxi-2-hexanona, 4 etiloctano, 2-metil-decano, metil-2-metilciclopropil cetona, 4,6-dimetil-2-heptanona, 4,5-dietiloctano, 5,6-dimetildecano, 5,6-dimetildecano isómero, Dioctil isoftalato, diisocetil isoftalato y 2-etilhexil undecil terftalato, no se puede garantizar el nivel de carcinogenicidad, genotoxicidad, mutagenicidad y toxicidad de estos compuestos, pero tampoco se puede descartar que sus propiedades incidan en la generación de otras enfermedades.

Se identificó que las personas que se vean expuestas a estos compuestos por un largo tiempo, pueden presentar efectos nocivos a la salud como también daños en sus órganos como hígado, riñones, sistema reproductor y digestivo, cabe resaltar que el instituto sindical de trabajo, Ambiente y Salud, mediante base de datos estableció que los compuestos 2-Hexanona, Butil Ftalato, Pentadecano, Bis (2-etilhexil) adipato y Dioctil Ftalato se encuentran en la “lista negra” ya que pueden ser neurotóxicos, tóxicos para la reproducción, Disruptor endocrino, sensibilizadores y/o cancerígenos (ISTAS, s.f.).

5.2 Recomendaciones

El límite de detección usado en cromatografía de gases masa por la Universidad de Nariño fue de 0,003 mg/L, esto pudo representar un valor relativamente alto, que impidió la detección de HAP, por lo que se recomiendan usar valores más bajos para comparar el que represente mayor probabilidad de detección.

Es importante que las entidades ambientales y de salud de la ciudad de Popayán, realicen estudios de carácter epidemiológico y toxicológico, para determinar la influencia directa e indirecta que causan los compuestos adsorbidos por las partículas precipitadas en la población, ya que no solo las Partículas Suspendidas Totales inhaladas son responsables de enfermedades, sino también los compuestos tóxicos que las integran.

Es importante cumplir con las exigencias establecidas en la toma de muestras, con el propósito de evitar contaminación y pérdida del material recolectado. En tal sentido se debe tener claro el protocolo correspondiente de acuerdo al tipo de muestra en el proceso de recolección, almacenamiento, extracción, transporte y análisis.

Quienes estén interesados en desarrollar una investigación de este tipo, se recomienda tratar en lo posible utilizar el equipo de captura de material particulado Hi-Vol., puesto que incrementaría las posibilidades de encontrar los compuestos generados por combustión vehicular, como también contar con los materiales adecuados en la extracción del material recolectado y con la disponibilidad de laboratorio a fin de realizar la extracción por un mayor lapso de tiempo y para obtener resultados con mayor confiabilidad.

También se sugiere realizar una mejor comparación en los puntos de muestreo establecidos, es necesario realizar análisis en diferentes periodos del año, teniendo en cuenta variables climáticas adicionales y otras variables externas.

Esperamos que esta investigación incentive a aquellos que quieran abordar campos que han sido poco estudiados, como es el caso de calidad de aire y así enriquecer nuestro conocimiento, para dar a conocer a la sociedad sobre la influencia de la contaminación en el deterioro de la salud y el ambiente.

La legislación Colombiana debe ser menos muy permisiva en el control de material particulado y contaminantes asociados a esta; puesto que en el presente estudio se ha determinado que existen compuestos adsorbidos a este material particulado que pueden ser perjudiciales para la salud.

BIBLIOGRAFIA

1. Agencia de Protección Ambiental. (Diciembre de 1996). *Method 3540*. Recuperado el 04 de Abril de 2016, de Soxhlet Extraction: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/3540c.pdf>
2. Agencia de Protección Ambiental. (Enero de 1999). *Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air*. (S. Edition, Ed.) Recuperado el 04 de Abril de 2016, de To-13arr: <https://www3.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/airtox/to-13arr.pdf>
3. Agencia de Protección Ambiental. (28 de agosto de 2015). Obtenido de www3.epa.gov
4. Agencia para sustancias toxicas y registro de enfermedades. (6 de mayo de 2016). Obtenido de www.atsdr.cdc.gov/es/
5. Amador, O., Delgado, A., Villalobos, R., Munive, Z., Ortiz, R., Diaz, G., . . . Gomez, S. (1993). *Partículas Suspendidas, Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos y Mutagenicidad en el Suroeste de la Ciudad de México*. Recuperado el 11 de Febrero de 2016, de <http://www.journals.unam.mx/index.php/rica/article/view/25361/23943>
6. Arciniégas S., C. A. (2012). *Diagnóstico y Control de Material Particulado: Partículas Suspendidas Totales y Fracción Respirable PM10*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/>: <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n34/n34a12.pdf>
7. Arciniégas, E. (2012). *Diagnóstico y Control de Material Particulado: Partículas Suspendidas Totales y Fracción Respirable PM10*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2015, de <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n34/n34a12.pdf>
8. Arroyo, P. (23 de Mayo de 2011). *Química y Algo Más*. Recuperado el 08 de Septiembre de 2016, de Alcoholes: <http://www.quimicayalgomas.com/quimica-organica/alcoholes-aldehidos-cetonas/alcoholes-parte-1/>
9. Behrentz, E., Franco, J., & Zamudio, A. (Junio de 2009). *Contaminación del aire por material particulado en inmediaciones de corredores viales que han sido intervenidos por la Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial en la Ciudad de Bogotá*. Recuperado el 12 de 10 de 2015, de <https://ingenieria.uniandes.edu.co/grupos/sur/images/Informes/informefinalpm10.pdf>
10. Cabellero L., S., & Alvarado D., D. (2006). *Análisis y Determinación de la Concentración de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP) Contenidos en el Material Particulado Respirable (PM10) en la Localidad de Puente Aranda de*

Bogotá en la Zona de Alta Actividad Industrial y Alto Flujo Vehicular. Santa Fe de Bogotá.

11. Camargo C., Y., Bolaño O., T. R., & Álvarez M., A. (mayo de 2010). *Emisiones de compuestos orgánicos volátiles de origen biogénico y su contribución a la dinámica atmosférica.* Obtenido de Fundación Dialnet: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3794137>

12. Chiang, P., Y., C., Chang, E., & Chang, S. (30 de Noviembre de 2010). *Characteristics of Polynuclear Aromatic.* Obtenido de <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/027868203000953>

13. Congreso de la republica de Colombia. (19 de diciembre de 1974). *ministerio de ambiente.* Recuperado el seis de junio de 2016, de https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/ley_23_de_1973.pdf

14. Congreso de la republica de Colombia. (22 de Diciembre de 1993). *Ministerio del Medio Ambiente.* Recuperado el siete de junio de 2016, de http://www.oas.org/dsd/fida/laws/legislation/colombia/colombia_99-93.pdf

15. Congreso de la republica de Colombia. (cinco de junio de 1995). *Ministerio del Medio Ambiente.* Recuperado el siete de junio de 2016, de https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/54-dec_0948_1995.pdf

16. Consejería de Sanidad de la Región de Murcia. (Enero de 2010). *Materia particulada (PM10 y PM2,5).* Recuperado el 25 de Septiembre de 2015, de <http://www.murciasalud.es/pagina.php?id=244308&idsec=1573#>

17. Consejo Nacional de Política Económica y Social. (14 de Marzo de 2005). *Líneamientos para la formulación de la política de prevención y control de contaminación del aire.* Recuperado el 25 de Septiembre de 2015, de https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/conpes/2005/Conpes_3344_2005.pdf

18. Daza, A., Graterón, C. J., Carlos, A., Hoyos, J. I., Acevedo, H., Acevedo-Gamboa, H. H., & ... & Guio, A. (Noviembre de 2013). *Evaluación Beneficio-Costo del Uso de Biodiesel como Componente en la Formulación del Diesel.* Bogotá. Recuperado el 08 de Octubre de 2016, de Energía Limpia y Renovable de Colombia: <file:///D:/MIS%20DOCUMENTOS/Downloads/Understanding%20the%20Origins%20and%20Fate.pdf>

19. EcuRed Conocimiento con todos y para todos. (s.f). www.ecured.cu. Recuperado el 02 de Agosto de 2016, de

http://www.ecured.cu/Hidrocarburos_Alif%C3%A1ticos_C%C3%ADclicos_y_Arom%C3%A1ticos

20. Educaplus.org. (2007). *www.educaplus.org*. Recuperado el 02 de Agosto de 2016, de http://www.educaplus.org/moleculas3d/alcanos_lin.html

21. Fernández, G. (s.f). *www.quimicaorganica.org*. Recuperado el 02 de Agosto de 2016, de <http://www.quimicaorganica.org/alcanos/61-tipos-de-hidrocarburos.html>

22. Gavidia, T., Pronczuk, J., & Sly, P. D. (2009). Impactos ambientales sobre la salud respiratoria de los niños. Carga global de las enfermedades respiratorias pediátricas ligada al ambiente. *Revista Chilena de Enfermedades Respiratorias*, 99-108.

23. ISTAS. (s.f.). *Base de Datos de Sustancias Tóxicas y Peligrosas RISCTOX*. Obtenido de <http://risctox.istas.net/index.asp>

24. Jiménez, A. (21 de 02 de 2014). *Conoce los países con los niveles de contaminación más elevados en el mundo*. Recuperado el 12 de 10 de 2015, de la tercera.com: <http://www.latercera.com/noticia/mundo/2014/02/678-566382-9-conoce-los-paises-con-los-niveles-de-contaminacion-atmosferica-mas-elevados-en.shtml>

25. López, S. N. (2006). Análisis y Determinación de la Concentración de Hidrocarburos.

26. Meléndez, I., Martínez, M., & Quijano, A. (2011). Actividad Mutagénica y Genotóxica en el Material Particulado. 10.

27. Mikel, D. (01 de Abril de 2016). Aromáticos Policíclicos. Estados Unidos.

28. Mikel, D. (10 de Febrero de 2016). Metodo de recolección. Estados Unidos.

29. Mikel, D. (11 de Febrero de 2016). Metodología Toma de Muestras por Método de Barrido de Calles. Estados Unidos. Recuperado el 11 de Febrero de 2016

30. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (24 de Marzo de 2010). *Resolución 601 del 4 de abril de 2006*. Recuperado el 08 de Junio de 2016, de <https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/bf-Resoluci%C3%B3n%20610%20de%202010%20-%20Calidad%20del%20Aire.pdf>

31. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). *Minambiente*. Recuperado el 07 de Junio de 2016, de <https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=1801:plataforma-asuntos-ambientales-y-sectorial-y-urbana-2>

32. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (29 de marzo de 2010). Recuperado el 08 de octubre de 2016, de Minambiente.gov.co: <http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/1b-Resoluci%C3%B3n%20651%20de%202010%20-%20Creaci%C3%B3n%20del%20SISAIRE.pdf>
33. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire*. Recuperado el 23 de Octubre de 2015, de Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial: https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/Polit%C3%ACcas_de_la_Direcci%C3%B3n/Pol%C3%ADtica_de_Prevenci%C3%B3n_y_Control_de_la_Contaminaci%C3%B3n_del_Aire.pdf
34. Neto, J. (s.f.). *Química - Cetonas*. Recuperado el 08 de Septiembre de 2016, de Nomes oficiais dos compostos orgânicos: <http://www.profjoaoneto.com/quimicao/cetonas/cetonas.htm>
35. Nicasio, E. (10 de Abril de 2013). *Propiedades de los alcanos, alquenos y alquinos*. Recuperado el 02 de Agosto de 2016, de <http://edithnicasio108b4.blogspot.com.co/2013/04/propiedades-de-los-alcanos-alquenos-y.html>
36. Nuñez, C. (2008). *Extracciones con equipo Soxhlet*. Argentina: cenunez.com.ar.
37. Organización Mundial de la Salud. (2005). *Guías de calidad de aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*. Organización Mundial de la Salud (OMS). Ginebra, suiza: Organización Mundial de la Salud (OMS). Recuperado el siete de junio de 2016, de http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69478/1/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf
38. Organización Mundial de la salud. (25 de marzo de 2014). Obtenido de www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/es/
39. Pindado, O., Perez, R., Garcia, S., Barrado, A., Sevillano, M., & Gonzalez, D. (2006). *Desarrollo de Metodologías para la Determinación de Componentes Orgánicos del Aerosol Atmosférico*.
40. Préndez, M., Corvalán, R. M., & Cisternas, M. (2007). Estudio Preliminar del Material Particulado de Fuentes Estacionarias: Aplicación al Sistema de Compensación de Emisiones en la Región Metropolitana, Chile. *sciELO*, 18(2), 93-100.
41. Quijano, M., Quijano, A., & Meléndez, I. (2014). *Identificación de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP) en el PM2.5 del Aire de Pamplona-Colombia*.

Recuperado el 25 de Septiembre de 2015, de <http://www.udca.edu.co/wp-content/uploads/2014/12/identificacion-hidrocarburos-aromaticos-policiclicos-haps-pm-aire-pamplona-colombia.pdf>

42. RODAS. (s.f). *Modulo General*. Recuperado el 2 de Octubre de 2016, de Rotavapor: https://rodas5.us.es/file/116d23b8-c458-2012-481b-2357ffa2b34/2/modulo_general_SCORM.zip/pagina_19.htm

43. Román, N., & Dávila, D. (2011). Estimación de Emisiones Contaminantes de las Fuentes Móviles en la Ciudad Minera de Pasco Empleando el Modelo IVE. *Revista del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográfica*, 1-10.

44. Sanchez P., N. E. (2014). *Estudio de la formación de hidrocarburos aromaticos policiclicos en la pirolisis de acetileno y etileno*. Zaragoza, España. Recuperado el 19 de septiembre de 2016

45. Sbarato, V., D., S., Basan, R., Manzo, P., Ortega, J., Campos, M., & Salort, M. (s.f.). *Análisis y Caracterización del Material Particulado Atmosférico*. Cordoba, argentina .

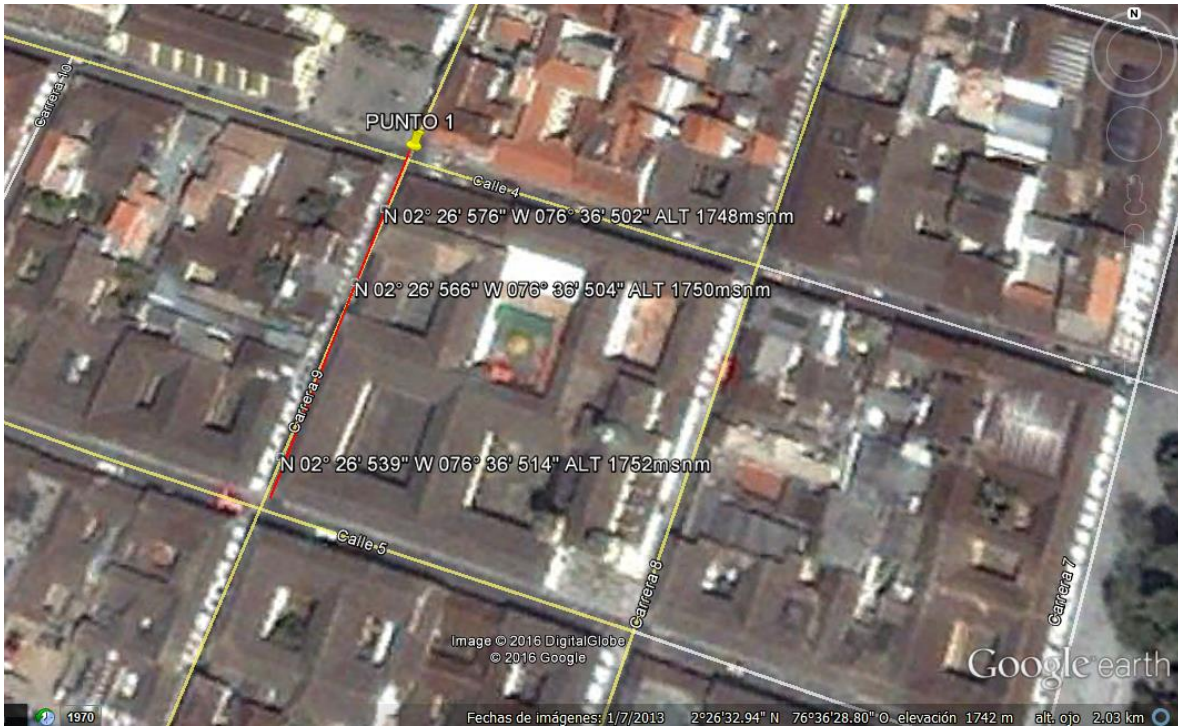
46. Trejo M., M. (26 de febrero de 2010). *Generación Enzimatica de Aromas y Sabores*. Recuperado el 08 de octubre de 2016, de <http://es.slideshare.net/postcosecha/generacion-de-aromas>

47. Universidad de Granada. (s.f). *Extracción Sólido-Líquido y Recuperación del Disolvente: Obtención de Aceite de Girasol*. España.

48. Universidad de Nariño. (2016). *Informe de Resultados Cromatografía*. Analisis cromatografico , Universidad de Nariño, Nariño, Pasto.

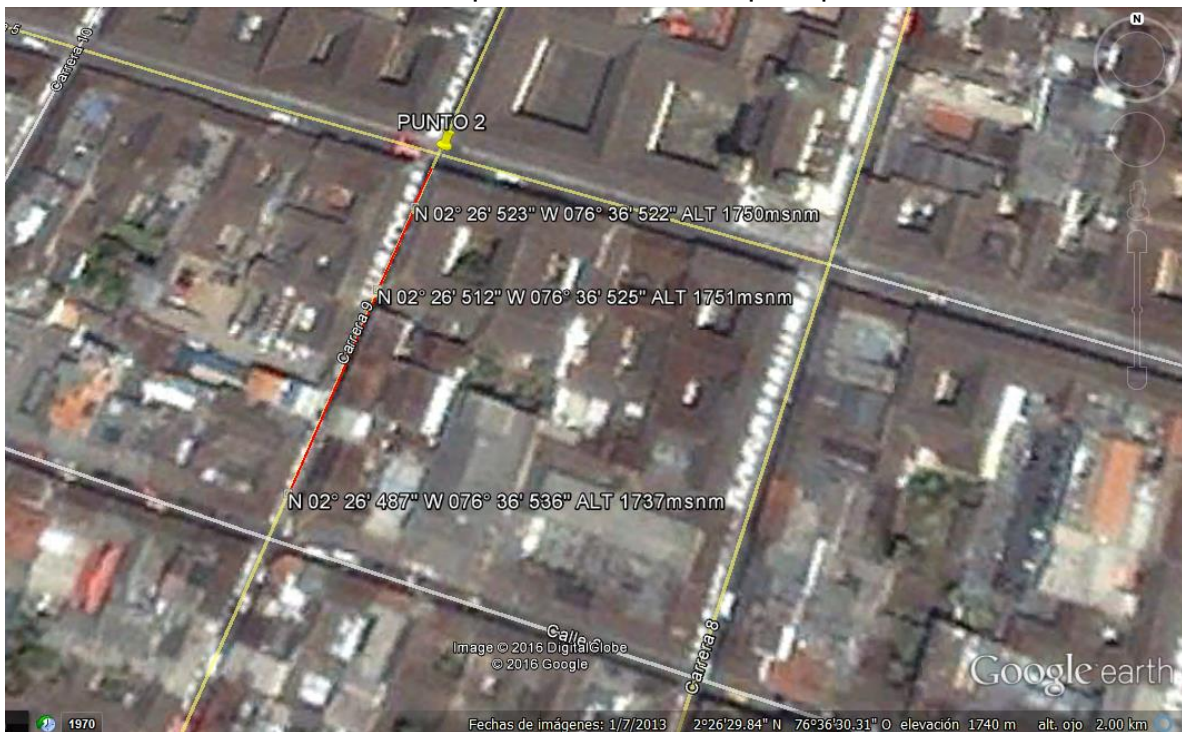
ANEXOS

Anexo 1. Coordenadas de cada punto de muestreo para punto 1



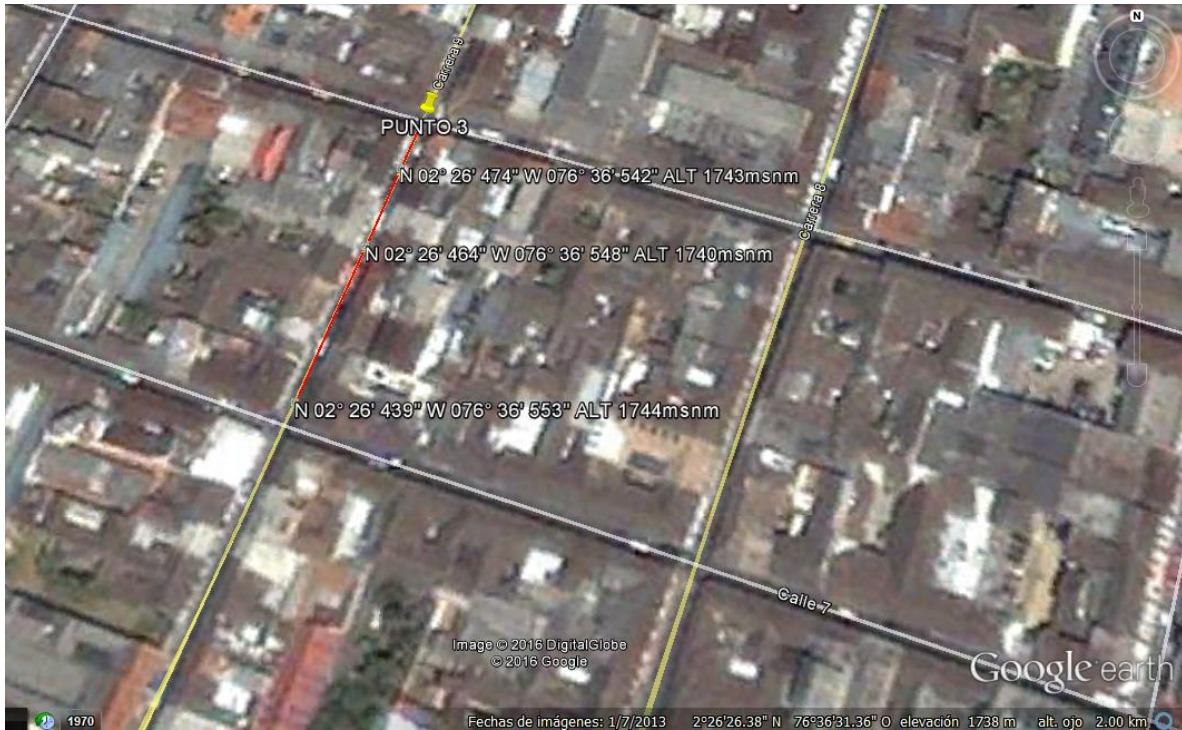
Fuente: Google Earth

Anexo 2. Coordenadas de cada punto de muestreo para punto 2



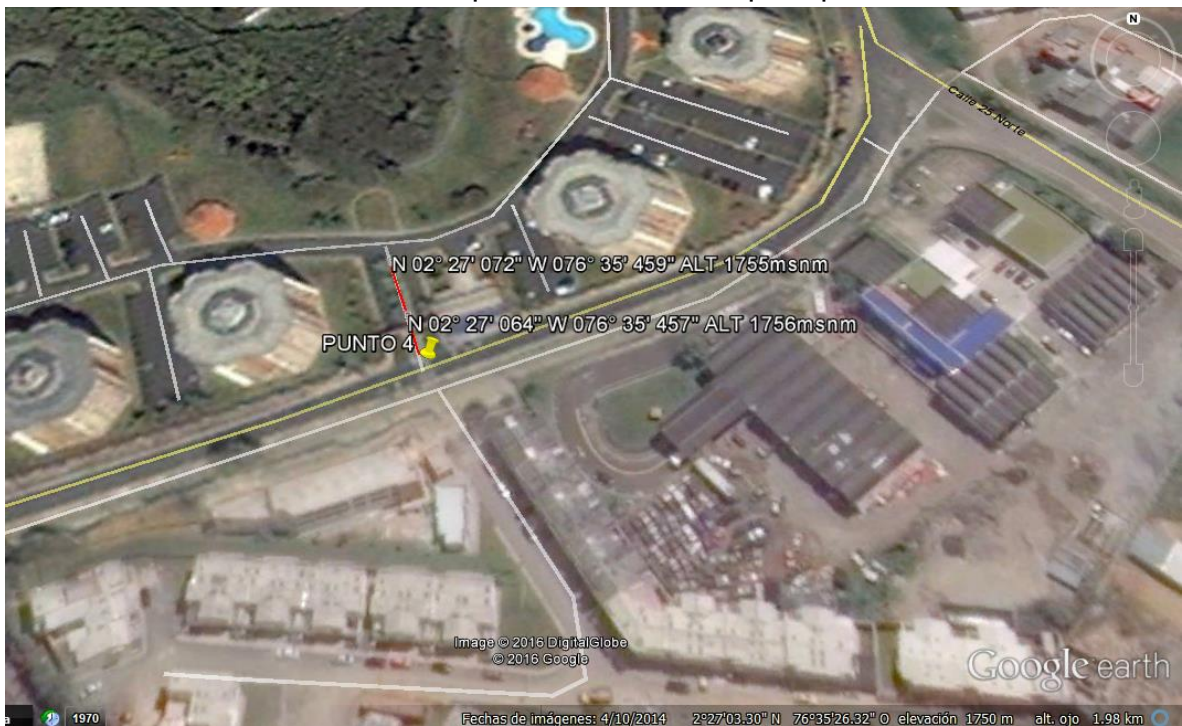
Fuente: Google Earth

Anexo 3. Coordenadas de cada punto de muestreo para punto 3



Fuente: Google Earth

Anexo 4. Coordenadas de cada punto de muestreo para punto 4



Fuente: Google Earth

Anexo 5. Coordenadas de cada punto de muestreo para punto 5



Fuente: Google Earth

Anexo 6. Cálculos promedio PST recolectado en una hora

Calculo peso promedio en una hora por día del punto 1

$$\frac{\text{Peso de PST semana para cada punto muestreado}}{7 \text{ horas}} = \frac{27,138gr}{7} = 3,8769g/h$$

Calculo peso promedio en una hora por día del punto 2

$$\frac{\text{Peso de PST semana para cada punto muestreado}}{7 \text{ horas}} = \frac{21,673g}{7} = 3,0961g/h$$

Calculo peso promedio en una hora por día del punto 3

$$\frac{\text{Peso de PST semana para cada punto muestreado}}{7 \text{ horas}} = \frac{28,811g}{7} = 4,1159g/h$$

Calculo peso promedio en una hora por día del punto 4

$$\frac{\text{Peso de PST semana para cada punto muestreado}}{7 \text{ horas}} = \frac{1,388g}{7} = 0,1983g/h$$

Calculo peso promedio en una hora por día del punto 5

$$\frac{\text{Peso de PST semana para cada punto muestreado}}{7 \text{ horas}} = 1,4820g/h$$

Anexo 7. Hoja de datos de recolección de muestra para Condominio

HOJA DE DATOS

Mes muestreo: Abril-Mayo Lugar de muestreo: Condominio Campo Real

Coordenadas: 1. N 02° 27' 064" W 076° 35' 457" Altura 1756 msnm
2. N 02° 27' 072" W 076° 35' 459" Altura 1755 msnm

Hora inicio (am):

1. 8:00	2. 8:50	3. 9:28	4. 9:25
5. 9:40	6. 9:20	7. 9:08	8. 9:25

 Hora terminación (am):

1. 9:00	2. 9:50	3. 10:28	4. 10:25
5. 10:40	6. 10:20	7. 10:08	8. 10:25

Fecha Muestreo	Temperatura °C		Velocidad viento (ms)		Dirección viento		Peso bolsa vacía (gr)	Peso bolsa + PST (gr)	Peso PST (gr)
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final			
1. 25-04-16	28,5	27,5	1,38	2,67	Occ-Ori	Ori-Occ	1,210	4,975	3,765
2. 26-04-16	24,7	27,4	1,87	1,33	Occ-Ori	Ori-Occ	1,237	1,522	0,285
3. 04-05-16	25,2	27,5	2,58	1,51	Ori-Occ	Ori-Occ	1,233	1,396	0,163
4. 05-05-16	23,8	28,0	0,82	1,45	Ori-Occ	Ori-Occ	1,210	1,452	0,242
5. 29-04-16	25,2	25,8	1,56	2,76	Occ-Ori	Ori-Occ	1,230	1,452	0,222
6. 30-04-16	24,8	25,9	0,51	0,29	Occ-Ori	Ori-Occ	1,232	1,367	0,135
7. 01-05-16	22,2	25,5	0,69	0,93	Occ-Ori	Ori-Occ	1,227	1,341	0,114
8. 02-05-16	23,0	25,7	2,00	0,91	Occ-Ori	Ori-Occ	1,230	1,457	0,227
Total recolectado									1,388

Lluvia: Si _____ No X

Observaciones:

Tipo vehículo	Cantidad (Unid)								Total
Pesado (buseta, bus, camión, etc.)	1. 0	2. 1	3. 0	4. 0	5. 1	6. 1	7. 0	8. 0	3
Liviano (camionetas, autos, motos, etc.)	1. 22	2. 38	3. 31	4. 29	5. 29	6. 63	7. 46	8. 24	282
Total	22	39	31	29	30	64	46	24	285

Comentarios:

Las distancias entre los puntos de muestreo fueron de 10 y 15 mts, debido a la longitud de la vía. Los días 27 y 28 de Abril no pudimos realizar muestreo por lluvias intensas, por lo tanto se realizaron la semana siguiente en los mismos días.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 8. Hoja de datos de recolección de muestra para Punto en blanco

HOJA DE DATOS

Mes muestreo: Mayo Lugar de muestreo: Punto en Blanco

Coordenadas: 1. N 02° 26' 617" W 076° 35' 883" Altura 1780 msnm
2. N 02° 26' 612" W 076° 35' 882" Altura 1785 msnm
3. N 02° 26' 600" W 076° 35' 884" Altura 1795 msnm

Hora inicio (am):

1. 11:30	2.	3.	4.
5.	6.	7.	8.

 Hora terminación (pm):

1. 12:30	2.	3.	4.
5.	6.	7.	8.

Fecha Muestreo	Temperatura °C		Velocidad viento (ms)		Dirección viento		Peso bolsa vacía (gr)	Peso bolsa + PST (gr)	Peso PST (gr)
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final			
1. 01-05-16	27,6	27,7	0,55	1,24	Nor-Sur	Nor-Sur	1,203	2,685	1,482
2.									
3.									
4.									
5.									
6.									
7.									
8.									
Total recolectado									1,482

Lluvia: Si _____ No X

Observaciones:

Tipo vehículo	Cantidad (Unid)								Total
Pesado (buseta, bus, camión, etc.)	1. 0	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	0
Liviano (camionetas, autos, motos, etc.)	1. 0	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	0
Total	0								0

Comentarios:

El punto en blanco se realizó a unos metros de la entrada de la planta de tratamiento de agua potable Tulcán. El muestreo se realizó una vez puesto que este punto se tomara como referencia para comparación con otra muestra.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 9. Hoja de datos de recolección de muestra para calle 5

HOJA DE DATOS

Mes muestreo: Abril-Mayo Lugar de muestreo: Calle 5, Cra 9

Coordenadas: 1. N 02° 26' 523" W 076° 36' 522" Altura 1750 msnm
 2. N 02° 26' 512" W 076° 36' 525" Altura 1751 msnm
 3. N 02° 26' 487" W 076° 36' 536" Altura 1737 msnm

Hora inicio (am):

1. 7:25	2. 6:53	3. 6:34	4. 6:30
5.	6. 6:43	7. 6:37	8. 6:36

Hora terminación (pm):

1. 8:25	2. 7:53	3. 7:34	4. 7:30
5.	6. 7:43	7. 7:37	8. 7:36

Fecha Muestreo	Temperatura °C		Velocidad viento (ms)		Dirección viento		Peso bolsa vacía (gr)	Peso bolsa + PST (gr)	Peso PST (gr)
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final			
1. 25-04-16	21,2	22,8	1,20	1,02	NorOcc-SurOri	NorOcc-SurOri	1,236	32,467	31,231
2. 26-04-16	21,0	22,6	1,47	1,56	NorOcc-SurOri	NorOcc-SurOri	1,235	4,290	3,063
3. 04-05-16	20,2	21,9	1,56	1,62	NorOcc-SurOri	NorOcc-SurOri	1,219	3,839	2,620
4. 05-05-16	19,3	22,6	2,00	2,16	NorOcc-SurOri	NorOcc-SurOri	1,239	4,249	3,010
5. 29-04-16	20,7	20,5	0,95	1,27	NorOcc-SurOri	NorOcc-SurOri	1,248	5,485	4,237
6. 30-04-16	20,6	20,8	1,20	1,29	NorOcc-SurOri	NorOcc-SurOri	1,247	4,740	3,493
7. 01-05-16	19,5	20,9	1,56	1,16	NorOcc-SurOri	NorOcc-SurOri	1,249	4,074	2,825
8. 02-05-16	19,7	20,9	2,25	2,34	NorOcc-SurOri	NorOcc-SurOri	1,227	3,652	2,425
								Total recolectado	21,673

Lluvia: Si _____ No X

Observaciones:

Tipo vehículo	Cantidad (Unid)								Total
Pesado (buseta, bus, camión, etc.)	1. 65	2. 66	3. 83	4. 77	5. 86	6. 74	7. 25	8. 73	549
Liviano (camionetas, autos, motos, etc.)	1. 780	2. 713	3. 998	4. 1.089	5. 959	6. 405	7. 201	8. 1.175	6.320
Total	845	779	1.081	1.166	1.045	479	226	1.284	6.869

Comentarios:

Las distancias entre los puntos son de 10, 20 y 50 mts. El 27 y 28 de abril no se pudo hacer muestreo por lluvias continuas, por ello se repitieron los mismos días de la siguiente semana. El primer día de muestreo se tomó para comparar con los demás.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 10. Hoja de datos de recolección de muestra para calle 6

HOJA DE DATOS

Mes muestreo: Abril-Mayo Lugar de muestreo: Calle 6, Cra 9

Coordenadas: 1. N 02° 26' 474" W 076° 36' 542" Altura 1743 msnm
 2. N 02° 26' 464" W 076° 36' 548" Altura 1740 msnm
 3. N 02° 26' 439" W 076° 36' 553" Altura 1744 msnm

Hora inicio (am):

1. 7:50	2. 7:05	3. 6:45	4. 6:40
5. 6:40	6. 6:40	7. 6:40	8. 6:45

Hora terminación (pm):

1. 8:50	2. 8:05	3. 7:45	4. 7:40
5. 7:40	6. 7:40	7. 7:40	8. 7:45

Fecha Muestreo	Temperatura °C		Velocidad viento (ms)		Dirección viento		Peso bolsa vacía (gr)	Peso bolsa + PST (gr)	Peso PST (gr)
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final			
1. 25-04-16	21,8	22,9	2,07	1,13	NorOcc-SurOri	NorOcc-SurOri	1,236	42,956	41,720
2. 26-04-16	20,3	23,3	1,65	1,24	NorOcc-SurOri	NorOcc-SurOri	1,223	5,510	4,287
3. 04-05-16	20,1	21,4	0,76	1,40	NorOcc-SurOri	NorOcc-SurOri	1,216	4,620	3,404
4. 05-05-16	19,8	21,3	1,56	1,89	NorOcc-SurOri	NorOcc-SurOri	1,224	4,883	3,659
5. 29-04-16	20,3	20,5	0,69	1,45	NorOcc-SurOri	NorOcc-SurOri	1,207	11,396	10,189
6. 30-04-16	20,8	20,8	1,04	1,56	NorOcc-SurOri	NorOcc-SurOri	1,201	2,619	1,418
7. 01-05-16	19,5	20,7	1,27	1,47	NorOcc-SurOri	NorOcc-SurOri	1,209	3,633	2,424
8. 02-05-16	19,8	20,8	1,07	2,09	NorOcc-SurOri	NorOcc-SurOri	1,222	4,652	3,430
								Total recolectado	28,811

Lluvia: Si _____ No X

Observaciones:

Tipo vehículo	Cantidad (Unid)								Total
Pesado (buseta, bus, camión, etc.)	1. 67	2. 68	3. 64	4. 73	5. 73	6. 40	7. 26	8. 72	483
Liviano (camionetas, autos, motos, etc.)	1. 767	2. 870	3. 930	4. 884	5. 650	6. 274	7. 237	8. 1.004	5.616
Total	834	938	994	957	723	314	263	1.076	6.099

Comentarios:

Las distancias entre los puntos son de 10, 20 y 40 mts, debido a que la longitud de la calle es menor a las demás. El 27 y 28 de abril no se pudo hacer muestreo por lluvias continuas, por ello se repitieron los mismos días de la siguiente semana. El primer día de muestreo se tomó para comparar con los demás.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 11. Hoja de datos punto en blanco para extracción Soxhlet

HOJA DE DATOS

Mes muestreo: Mayo Lugar de muestreo: Punto en blanco

Coordenadas: 1. N 02° 26' 617" W 076° 35' 883" Altura 1780 msnm
 2. N 02° 26' 612" W 076° 35' 882" Altura 1785 msnm
 3. N 02° 26' 600" W 076° 35' 884" Altura 1795 msnm

Hora inicio (am): 6:35

Hora terminación (am): 7:35

Fecha Muestreo	Temperatura °C		Velocidad viento (m/s)		Dirección viento		Peso PST (gr)
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	
1. 20-05-16	21,6	19,7	0,33	0,60	Nor-Sur	Nor-Sur	3,5230

Lluvia: Si _____ No X

Observaciones:

Tipo vehículo	Cantidad (Unid)
Pesado (buseta, bus, camión, etc.)	19
Liviano (camionetas, autos, motos, etc.)	1
Total	20

Comentarios:

Las PST se conservan a 4°C aproximadamente para posterior extracción Soxhlet.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 12. Información de extracción muestra calle 4, día sábado 21 de mayo

CICLO	HORA SIFON	TEMPERATURA °C	TIEMPO TRANSCURRIDO
1	9:50am	212	
2	10:16 am	228	26 min
3	10:36 am	228	20 min
4	10:57 am	228	21 min
5	11:20 am	179	23 min
6	12:10 pm	221	50 min

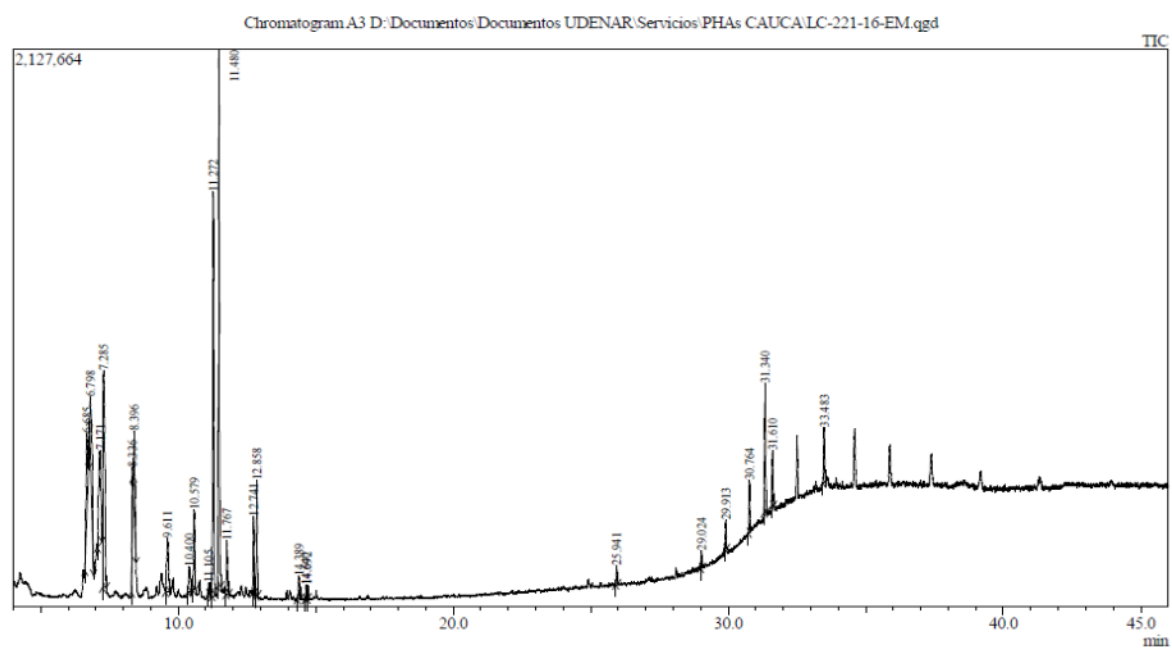
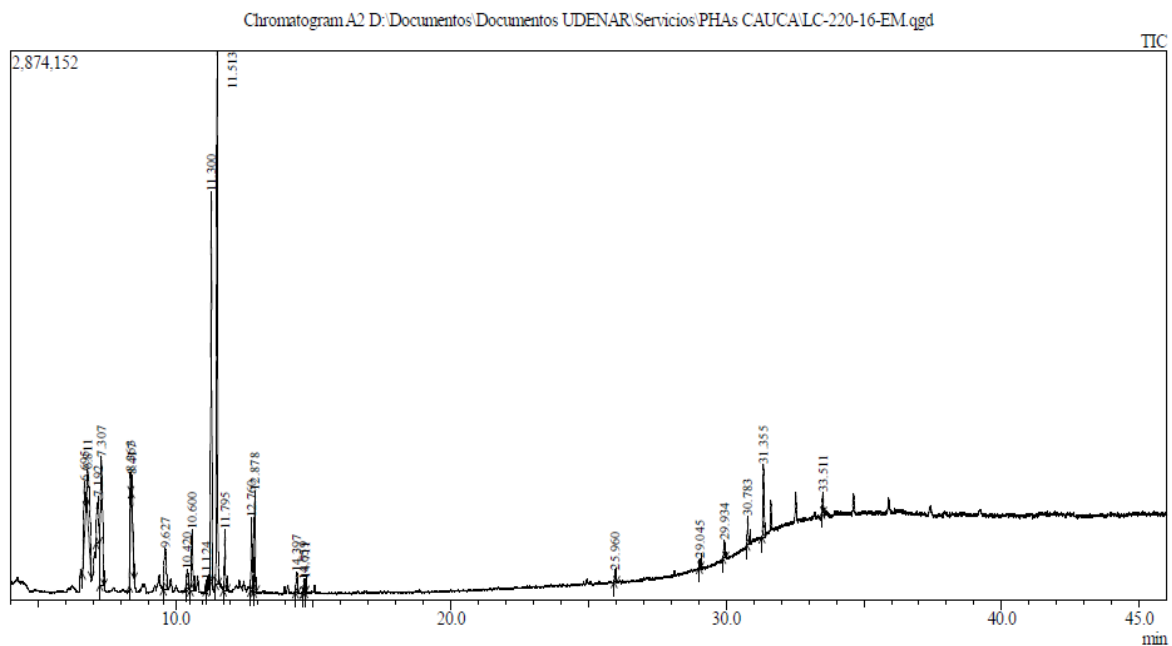
Fuente: Elaboración propia

Anexo 13. Información de extracción muestra punto en blanco, día viernes 20 de mayo

CICLO	HORA SIFON	TEMPERATURA °C	TIEMPO TRANSCURRIDO
1	10:13am	230	
2	11:10 am	230	57 min
3	11:34 am	230	24 min
4	12:05 pm	228	31 min
5	12:34 pm	229	31 min
6	1:05 pm	228	31 min

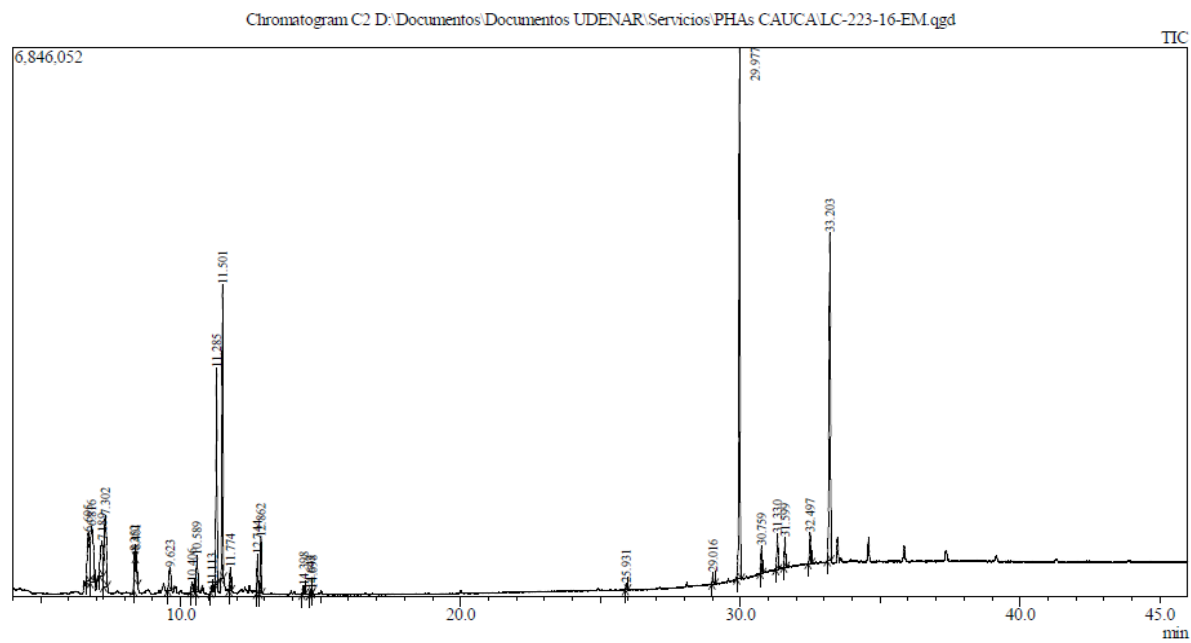
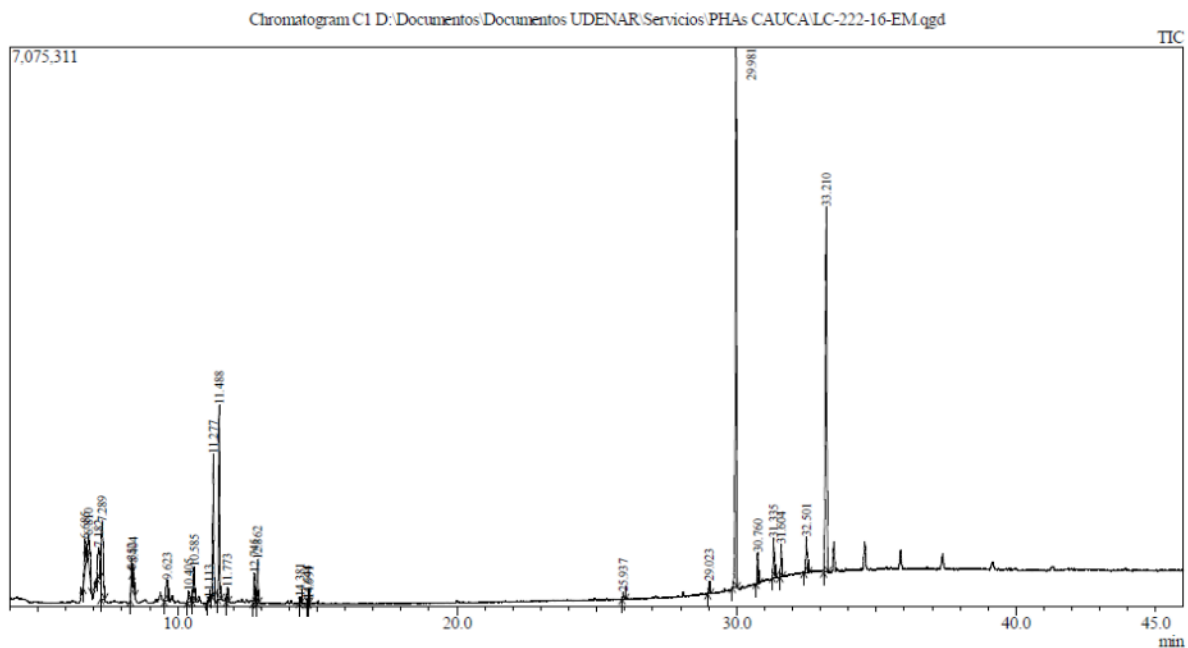
Fuente: Elaboración propia

Anexo 14. Cromatogramas segunda y tercera réplica del punto 1 (calle 4-martes)



Fuente: Laboratorio de Cromatografía, Universidad de Nariño. 2016

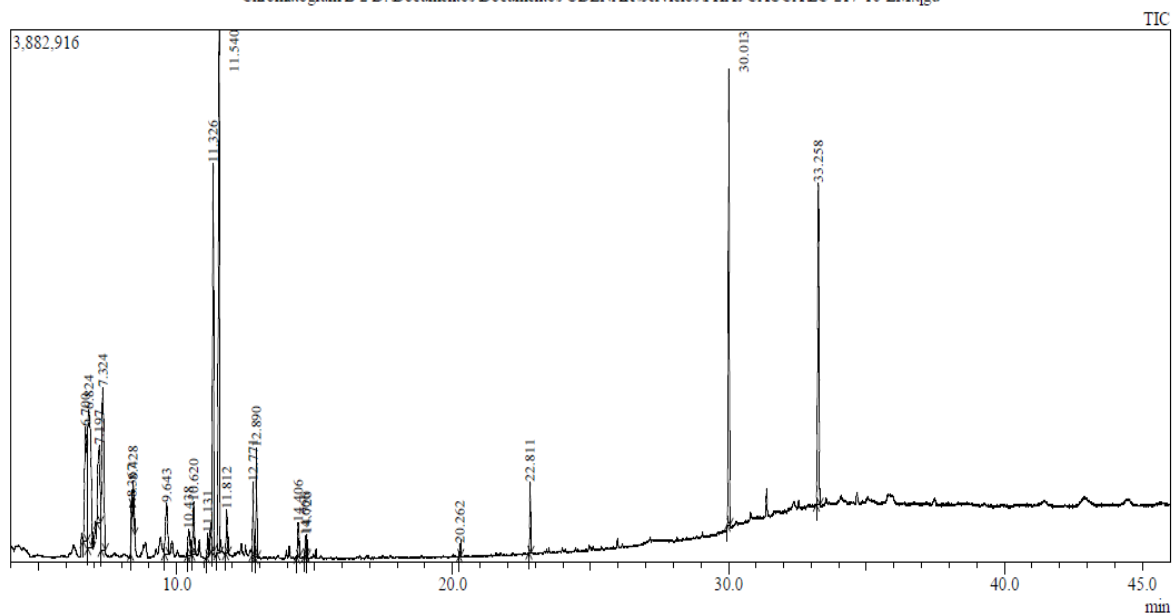
Anexo 15. Cromatogramas segunda y tercera replica punto 1 (calle 4-sábado)



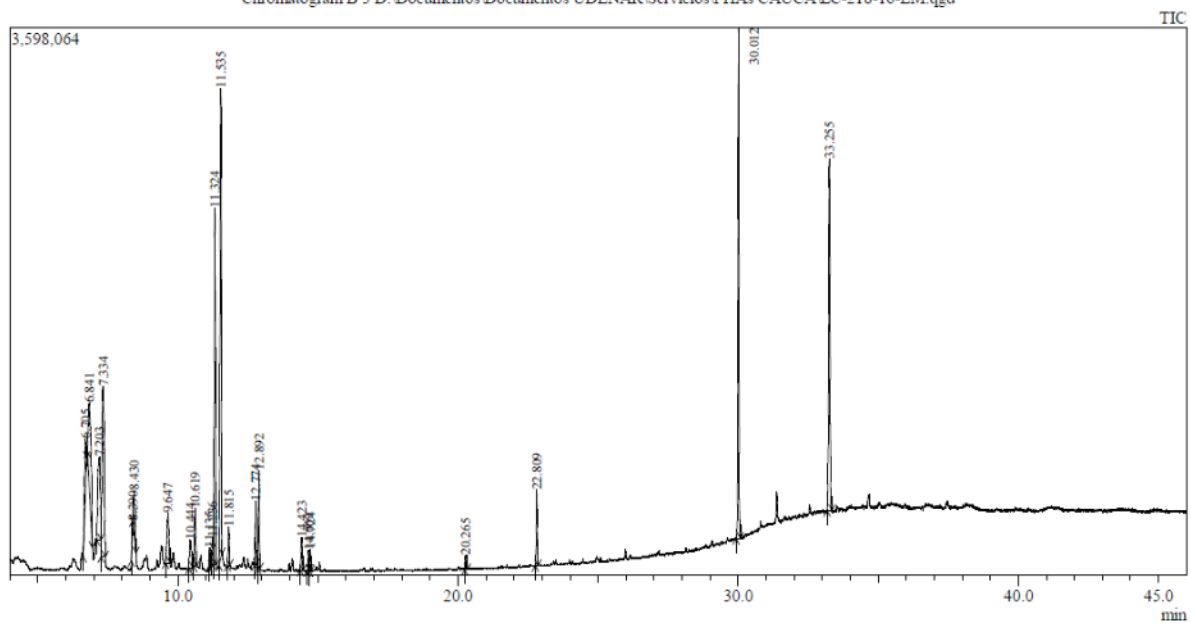
Fuente: Laboratorio de Cromatografía, Universidad de Nariño. 2016

Anexo 16. Cromatogramas segunda y tercera réplica del punto 5 (punto en blanco)

Chromatogram B 2 D:\Documentos\Documentos UDENAR\Servicios\PHAs CAUCA\LC-217-16-EM.qgd



Chromatogram B 3 D:\Documentos\Documentos UDENAR\Servicios\PHAs CAUCA\LC-218-16-EM.qgd



Fuente: Laboratorio de Cromatografía, Universidad de Nariño. 2016

Anexo 17. Primer análisis de compuestos encontrados por cromatografía de gases masas en muestras de partículas suspendidas totales.

COMPUESTO	BLANCO 1		CALLE 4S		CALLE 4FD	
	C.R%	Similaridad %	C.R%	Similaridad %	C.R%	Similaridad %
Metilisobutilcetona	3.68	95	--	--	--	--
3-Hexanona	--	--	4.35	90	2.56	90
2-Hexanona	7.95	98	7.54	96	3.00	96
4-Metil-2-pentanol	--	--	6.33	93	--	--
3-metil-2-butanol	6.57	90	--	--	--	--
3-Hexanol	--	--	--	--	3.07	93
2-Hexanol	13.08	98	12.77	98	6.93	98
Diacetona alcohol	0.91	98	1.64	98	0.70	98
Diacetona alcohol Isómero	1.33	98	3.35	98	0.73	97
3,4-Epoxi-2-Hexanona	3.68	92	3.81	92	1.83	94
Acetato de Butilo	1.52	86	1.98	91	0.79	91
Acetonilacetona	2.52	98	3.85	98	1.95	98
4-Etiloctano	1.04	95	0.53	95	--	--
5-Metilnonano	0.79	94	0.15	94	--	--
2-Metil-decano	--	--	--	--	0.33	86
3,3-dimetil-2-hexanona	15.47	90	14.69	91	8.23	91
3-Etil-3-metil-2-pentanona	19.34	90	18.90	94	10.06	94
Metil 2-metilciclopropil cetona	1.70	90	2.15	90	0.73	90
2-Nonanona	2.42	91	2.48	91	1.16	92
4,6-Dimetil-2-heptanona	3.41	90	3.91	90	1.67	92
4,5-Dietiloctano	1.64	96	1.05	96	0.41	95
5,6-Dimetildecano	0.57	97	0.31	97	0.09	96
5,6-Dimetildecano Isómero	0.59	95	0.25	95	0.12	95
Butil ftalato	--	--	0.49	87	0.28	87
Tetradecano	0.34	90	--	--	--	--
Pentadecano	--	--	0.57	93	--	--
Heptadecano	1.62	93	--	--	--	--
Octadecano	--	--	1.64	92	--	--
Tricosano	--	--	--	--	0.46	93
Octacosano	--	--	0.53	89	1.16	90
Bis(2-etilhexil) adipato	4.64	98	0.93	97	25.48	97
Diocil ftalato	--	--	4.96	92	--	--
Diocil isoftalato	2.03	90	0.84	90	--	--
Diioctil ftalato	--	--	--	--	1.84	95
Tetratetracontano	3.16	95	--	--	1.41	92

Pentatriacontano	--	--	--	--	1.40	93
2-etilhexil undecil terftalato	--	--	--	--	23.61	85

Fuente: Universidad de Nariño. Identificación por espectrometría de masas. 2016

Anexo 18. Segunda replica de compuestos encontrados por cromatografía de gases masas en muestras de partículas suspendidas totales.

COMPUESTO	BLANCO 1		CALLE 4S		CALLE 4FD	
	C.R. %	Similaridad %	C.R. %	Similaridad %	C.R. %	Similaridad %
Metilisobutilcetona	6,63	95	--	--	--	--
3-Hexanona	--	--	3,74	90	2,46	90
2-Hexanona	11,28	98	6,07	96	3,20	96
4-Metil-2-pentanol	--	--	3,83	93	--	--
3-metil-2-butanol	4,63	90	--	--	--	--
3-Hexanol	--	--	--	--	2,72	93
2-Hexanol	9,31	98	12,07	98	6,98	98
Diacetona alcohol	0,66	98	2,04	98	0,42	98
Diacetona alcohol Isómero	0,93	98	1,65	98	0,99	97
3,4-Epoxi-2-Hexanona	2,78	92	3,80	92	1,94	94
Acetato de Butilo	1,31	86	1,19	91	0,92	91
Acetonilacetona	1,96	98	3,66	98	2,11	98
4-Etiloctano	0,72	95	0,49	95	--	--
5-Metilnonano	0,57	94	0,20	94	--	--
2-Metil-decano	--	--	--	--	0,24	86
3,3-dimetil-2-hexanona	11,89	90	18,12	91	6,89	91
3-Etil-3-metil-2-pentanona	15,25	90	24,47	94	9,56	94
Metil 2-metilciclopropil cetona	1,22	90	2,91	90	0,72	90
2-Nonanona	1,77	91	2,84	91	1,23	92
4,6-Dimetil-2-heptanona	2,53	90	4,09	90	1,58	92
4,5-Dietiloctano	1,20	96	1,18	96	0,31	95
5,6-Dimetildecano	0,38	97	0,41	97	0,12	96
5,6-Dimetildecano Isómero	0,37	95	0,38	95	0,12	95
Butil ftalato	--	--	0,46	87	0,32	87
Tetradecano	0,24	90	--	--	--	--
Pentadecano	--	--	0,31	93	--	--
Heptadecano	1,57	93	--	--	--	--
Octadecano	--	--	1,12	92	--	--
Tricosano	--	--	--	--	0,56	93
Octacosano	--	--	0,77	89	1,35	90

Bis(2-etilhexil) adipato	11,92	98	0,85	97	26,45	97
Diocetil ftalato	--	--	3,54	92	--	--
Diocetil isoftalato	11,46	90	0,86	90	--	--
Diisocetil ftalato	--	--	--	--	1,79	95
Tetratetracontano	--	95	--	--	1,47	92
Pentatriacontano	--	--	--	--	1,75	93
2-etilhexil undecil terftalato	--	--	--	--	23,80	85

Fuente: Universidad de Nariño. Identificación por espectrometría de masas. 2016

Anexo 19. Tercera replica compuestos encontrados por cromatografía de gases masas en muestras de partículas suspendidas totales.

COMPUESTO	BLANCO 1		CALLE 4S		CALLE 4FD	
	C.R. %	Similaridad %	C.R. %	Similaridad %	C.R. %	Similaridad %
Metilisobutilcetona	2,61	95	--	--	--	--
3-Hexanona	--	--	5,00	90	4,06	90
2-Hexanona	6,94	98	5,19	96	6,24	96
4-Metil-2-pentanol	--	--	7,11	93	--	--
3-metil-2-butanol	5,18	90	--	--	--	--
3-Hexanol	--	--	--	--	3,04	93
2-Hexanol	8,28	98	14,62	98	5,77	98
Diacetona alcohol	0,39	98	1,78	98	0,69	98
Diacetona alcohol Isómero	1,64	98	2,80	98	0,61	97
3,4-Epoxi-2-Hexanona	3,04	92	3,48	92	1,92	94
Acetato de Butilo	1,35	86	1,41	91	0,70	91
Acetonilacetona	2,17	98	3,25	98	2,13	98
4-Etiloctano	0,65	95	0,37	95	--	--
5-Metilnonano	0,40	94	0,18	94	--	--
2-Metil-decano	--	--	--	--	0,27	86
3,3-dimetil-2-hexanona	12,15	90	15,28	91	9,83	91
3-Etil-3-metil-2-pentanona	15,50	90	19,01	94	12,39	94
Metil 2-metilciclopropil cetona	1,24	90	2,03	90	0,97	90
2-Nonanona	1,84	91	2,23	91	1,45	92
4,6-Dimetil-2-heptanona	2,47	90	3,31	90	2,05	92
4,5-Dietiloctano	1,24	96	1,03	96	0,47	95
5,6-Dimetildecano	0,45	97	0,35	97	0,21	96
5,6-Dimetildecano Isómero	0,47	95	0,28	95	0,10	95
Butil ftalato	--	--	0,58	87	0,26	87
Tetradecano	0,34	90	--	--	--	--

Pentadecano	--	--	0,54	93	--	--
Heptadecano	1,88	93	--	--	--	--
Octadecano	--	--	1,66	92	--	--
Tricosano	--	--	--	--	0,42	93
Octacosano	--	--	0,76	89	1,05	90
Bis(2-etilhexil) adipato	14,97	98	0,80	97	22,81	97
Dioctil ftalato	--	--	4,29	92	--	--
Dioctil isoftalato	14,02	90	1,66	90	--	--
Diioctil ftalato	--	--	--	--	1,58	95
Tetratetracontano	--	95	--	--	1,20	92
Pentatriacontano	--	--	--	--	1,33	93
2-etilhexil undecil terftalato	--	--	--	--	18,45	85

Fuente: Universidad de Nariño. Identificación por espectrometría de masas. 2016