UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

"CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO DEL AIRE AMBIENTE EN LA CIUDAD DE LOJA"

TESIS DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO EN INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

AUTOR: *Anabel Dolores Regalado Contreras.*

DIRECTOR: *Ing. Edwin Bladimir Paccha Herrera*

Loja – Ecuador

2015

CERTIFICACIÓN

Edwin Bladimir Paccha Herrera

DOCENTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, el mismo que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, habiéndose concluido dentro del cronograma aprobado por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa; cuyo tema versa en **"CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO DEL AIRE AMBIENTE EN LA CIUDAD DE LOJA"**, previo a la obtención del título en Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, realizado por la egresada: **Anabel Dolores Regalado Contreras**,

Loja, 16 de julio de 2015

Ing. Edwin Bladimir Paccha Herrera. Mg.

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Tribunal Calificador de la Tesis titulada **"CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO DEL AIRE AMBIENTE EN LA CIUDAD DE LOJA"**, de autoría de la señora Anabel Dolores Regalado Contreras, egresada de la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, certificamos que se han incorporado al trabajo final de tesis todas las sugerencias efectuadas por sus miembros.

Por lo tanto autorizamos la publicación y difusión de la tesis

Loja, 06 de agosto del 2015

Atentamente,

Ing. Roberth Guerrero, Mg. Sc.

.....

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Aurita Gonzaga, Mg. Sc.

.....

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Freddy Tinoco, Mg. Sc.

.....

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

AUTORÍA

Yo, Anabel Dolores Regalado Contreras, declaro ser autora del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional- Biblioteca Virtual

Autora: Anabel Dolores Regalado Contreras

Firma:

Cédula: 1105156838

Fecha: Loja, 06 de agosto de 2015

CARTA DE AUTORIZACIÓN

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO

Yo, Anabel Dolores Regalado Contreras declaro ser autora de la tesis titulada **"CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO DEL AIRE AMBIENTE EN LA CIUDAD DE LOJA"** como requisito para optar al grado de: **Ingeniera en Manejo y Conservación del Medio Ambiente,** autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los 06 días del mes de agosto del dos mil quince, firma el autor.

Firma:

Autor: Anabel Dolores Regalado Contreras

Cédula: 1105156838

Dirección: Membrillos y Chirimoyos.

Correo Electrónico: anytcute@hotmail.com

Teléfono: 072102151 **Celular:** 0981714075

Director de Tesis: Ing. Edwin Paccha Herrera.

Tribunal de Grado:

Ing. Roberth Guerrero	Presidente
Ing. Aurita Gonzaga	Vocal
Ing. Freddy Tinoco	Vocal

AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradezco a mi director de tesis, Ing. Edwin Paccha por su destacada dirección y conducción en el desarrollo del presente trabajo de tesis, de igual manera a todos los miembros del equipo de investigación que pertenecen al proyecto del Área de Energía denominado "Evaluación de la contaminación atmosférica por fuentes de combustión en la ciudad de Loja y su mitigación con energías renovables".

De igual manera al Departamento Ambiental del H. Consejo Provincial de Loja, quienes colaboraron con los equipos y recursos necesarios para poder realizar el trabajo de investigación.

Asimismo hago extensivo mi profundo reconocimiento al Dr. Orlando Álvarez por su asesoría científica quien contribuyó con su experiencia en los temas afines.

Por último agradezco a mis amigos, compañeros, familiares y a todos aquellos que de una u otra forma contribuyeron para la cristalización del presente trabajo.

DEDICATORIA

Esta tesis y la finalización de mi carrera, quiero dedicársela en especial a mis padres Vicente y Amparito, quienes siempre han estado a mi lado apoyándome y me han inculcado que la honestidad, perseverancia, dedicación y esfuerzo siempre serán recompensados; gracias por todo, por ustedes soy lo que soy. Puedo decir que me siento una persona orgullosa de tenerlos como padres.

Además quiero dedicar esta tesis y mi vida entera a mi hijo Sebastián quien me cambio la vida por completo y me enseño realmente lo que es amar. Aunque aún no te das cuenta de muchas cosas y no puedas demostrarme todo tu cariño, con un simple "mamá" llenas de mi vida de alegría.

No puede faltar mi esposo Cristian, el cual con su paciencia, amor y apoyo me demuestra que quiere luchar por nuestra familia.

Mis queridos hermanos Víctor y José Andrés los cuales pese a cualquier situación los quiero demasiado y siempre contaran conmigo.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS....ii
CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO....iii
AUTORÍA....iv
CARTA DE AUTORIZACIÓN....v
AGRADECIMIENTO....vi
DEDICATORIA....vii
ÍNDICE GENERAL....viii
ÍNDICE DE CUADROS....x
ÍNDICE DE FIGURAS....xi
TITULO....xii
RESUMEN....xiii
SUMMARY....xv
1. INTRODUCCIÓN.... 1
1.2 Objetivo General.... 2
1.3 Objetivos Específicos.... 2
2. REVISIÓN DE LITERATURA.... 3
2.1 Contaminación Atmosférica.... 3
2.2 Fuentes de Contaminación de Material Particulado.... 4
2.2.1 Fuentes fijas de material particulado.... 4
2.2.2 Fuentes móviles de material particulado.... 4
2.2.3 Fuentes fugitivas de material particulado.... 4
2.3 Definición de Material Particulado Respirable o PM_{10}.... 5
2.4 Clasificación del Material Particulado PM_{10}.... 5
2.4.1 Clasificación según el origen del material particulado.... 6
2.4.2 Clasificación por los mecanismos de formación del material particulado.... 7
2.4.3 Clasificación por la distribución granulométrica del material particulado.... 8
2.4.4 Clasificación por la composición química del material particulado.... 9
2.5 Constitución del Materia Particulado PM10.... 11
2.5.1 Compuestos inorgánicos del material particulado.... 12
2.5.2 Compuestos orgánicos del material particulado atmosférico.... 12
2.6 Características Generales del Material Particulado.... 13

2.7 Efectos del Material Particulado Atmosférico 15
2.7.1 Efectos sobre el clima 15
2.7.2 Efectos sobre los ecosistemas 16
2.7.3 Efectos sobre la salud 16
2.8 Métodos de Medición de Material Particulado 17
2.9 Equipos para la Medición de Material Particulado 19
2.9.1 Equipos que utilizan el método gravimétrico de alto caudal. 20
2.9.2 Equipos que utilizan el principio de la dispersión de luz 21
2.10 Marco Legal 21
2.11 Medidas y Estrategias de Solución 22
3. MATERIALES Y MÉTODOS 24
3.1 Localización y Descripción del Área de Estudio 24
3.2 Metodología 25
3.2.1 Análisis los niveles de concentración de material particulado PM_{10} en aire ambiente del núcleo urbano de la ciudad de Loja. 26
3.2.2 Formulación de un plan de monitoreo de material particulado PM_{10} en la ciudad de Loja 33
4. RESULTADOS 35
4.1 Niveles de Concentración de Material Particulado PM_{10} en Aire Ambiente del Núcleo Urbano de la Ciudad de Loja. 35
4.2 Plan de Monitoreo de Material Particulado PM_{10} en la Ciudad de Loja 41
4.2.1 Antecedentes 41
4.2.2 Objetivo General 42
4.2.3 Específicos 43
4.2.4 Estructura del plan ambiental 43
5. DISCUSIÓN 57
5.1 Análisis de los Niveles de Concentración de Material Particulado PM_{10} en Aire Ambiente del Núcleo Urbano de la Ciudad de Loja. 57
5.2 Formulación del Plan de Monitoreo de Material Particulado PM_{10} en la Ciudad de Loja. 59
6. CONCLUSIONES 63
7. RECOMENDACIONES 65
8. BIBLIOGRAFÍA 67
9. APÉNDICE 76

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Métodos de medición según la EPA 19
Cuadro 2. Valores tomados del numeral 4.1.2.1 anexo 4 del Libro VI del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria. Todos estos valores se encuentran a condiciones de 25 °C y 760 mm Hg. 22
Cuadro 3. Resultados de monitoreo de PM10 entre los meses de junio a noviembre..... 37
Cuadro 4. Promedio de material particulado por meses 40
Cuadro 5. Contaminantes a monitorear en función a las principales fuentes 46
Cuadro 6. Sitios con mayores porcentajes de contaminación atmosférica para la ubicación de estaciones de monitoreo..... 47
Cuadro 7. Cronograma de trabajo para el monitoreo de material particulado PM_{10} en la ciudad de Loja. 54
Cuadro 8. Presupuesto para el monitoreo de material particulado PM_{10} en la ciudad de Loja..... 55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del punto de muestreo de la ciudad de Loja 25
Figura 2. Promedio mensual de material particulado PM_{10} en núcleo urbano de la ciudad de Loja. 40
Figura 3. Equipo HI-VOL muestreador de material particulado (para medición de MP_{10}). 50

CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO DEL AIRE AMBIENTE EN LA CIUDAD DE LOJA

RESUMEN

El material particulado PM_{10} es uno de los principales contaminantes del aire, el cual juega un papel importante en la contaminación atmosférica como causante de efectos perjudiciales en la salud humana asociado a eventos de mortalidad y morbilidad en la población (Pope and Dockery, 2006), en el cambio climático y en los ecosistemas (IPPC, 2007).

De esta manera el presente trabajo de investigación pretende contribuir a la adquisición de un mayor conocimiento sobre la contaminación atmosférica de la ciudad de Loja, de manera específica del material particulado PM_{10}, bajo este objetivo se realizó un monitoreo entre los meses de junio a noviembre del 2014 en el núcleo urbano de la ciudad de Loja. El equipo utilizado fue un controlador de flujo de tipo volumétrico, ubicado en la sede del antiguo Banco Central del Ecuador en José A. Eguiguren entre Antonio José de Sucre y Simón Bolívar, con coordenadas UTM 17 S 699555 E y 9558054. Los resultados mostraron que las concentraciones de material particulado PM_{10} no sobrepasan el límite máximo permisible que es de 100 μg/m3, debido a que el promedio aritmético del monitoreo continuo durante 24 horas, no excedió los mencionados límites permisibles establecidos en la normativa ambiental del Ecuador TULSMA.

Aunque cabe destacar que el núcleo urbano de la ciudad de Loja en donde se llevó a cabo el monitoreo de material particulado PM_{10} no es un lugar representativo de la contaminación de atmosférica debido al poco tráfico de vehículos pesados, topografía del suelo y la carencia de industrias, existen

otros sectores en la ciudad que presentan un alto nivel de contaminación atmosférica, por lo que la investigación busca establecer como segundo objetivo una propuesta de plantear estrategias para su monitoreo, mitigación y control de material particulado PM_{10}, por lo que el plan de monitoreo instituirá los parámetros para el seguimiento de la calidad del aire de la ciudad de Loja donde se establecen los lineamiento de cómo se debería llevar a cabo un programa de monitoreo de PM_{10}.

SUMMARY

Particulate matter PM_{10} is one of the major air pollutants, which plays an important role in air pollution to cause adverse effects on human health associated with morbidity and mortality events in the population (Pope and Dockery, 2006) on climate change and ecosystems (IPCC, 2007).

Thus, the present research aims to contribute to the acquisition of more knowledge about air pollution in the city of Loja, specifically particulate matter PM_{10}, under this objective monitoring in the months of June to November made 2014 in the town of Loja. The equipment used was a volumetric flow controller type, located on the site of the former Central Bank of Ecuador in José A. Eguiguren between Antonio Jose de Sucre and Simon Bolivar, with UTM coordinates E 17 S 699 555 and 9558054. The results showed that concentrations of particulate matter PM_{10} did not exceed the maximum permissible limit is 100 $\mu g/m^3$, because the arithmetic average of continuous monitoring for 24 hours, did not exceed permissible limits mentioned environmental regulations TULSMA Ecuador.

Although it is noteworthy that the town of Loja where they carried out the monitoring of particulate matter PM_{10} is not a representative of atmospheric pollution place due to the low traffic of heavy vehicles, ground topography and lack of industries There are other areas in the city that have a high level of air pollution, so the research establishes as a proposed second goal propose strategies for monitoring, mitigation and control of particulate matter PM_{10}, so the monitoring plan will institute the parameters for monitoring air quality in

the city of Loja where the outline of how to carry out a program should monitoring of PM_{10} are set.

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire es un importante problema de salud ambiental que afecta a países desarrollados y en desarrollo de todo el mundo (Organización Mundial de la Salud, 2005).

Los efectos adversos que genera la contaminación atmosférica fueron determinados tempranamente. Hipocrates (1849), descubrió que la salud de las personas podría verse afectada por el aire que se respiraba y por la calidad del aire según el área. En la década de los años 30, en Londres, la contaminación atmosférica era muy severa, por lo cual una comisión estableció la dirección del problema y las estrategias a aplicar a continuación para disminuir sus niveles (Bell y Samet, 2005).

Uno de los principales contaminantes del aire es por material particulado atmosférico (MPA), el cual juega un papel importante en la contaminación atmosférica como causante de efectos perjudiciales en la salud humana (problemas cardiovasculares y respiratorios fundamentalmente), asociado a eventos de mortalidad y morbilidad en la población (Pope y Dockery, 2006), en el cambio climático y en los ecosistemas (IPPC, 2007), es por ello que el material particulado actualmente es uno de los contaminantes atmosféricos más estudiados en el mundo (Arciniegas, 2011).

De hecho, tal como lo señalan las investigaciones, esta contaminación en las ciudades está ligada directamente a las actividades antropogénicas, donde se conjugan el transporte vehicular, la actividad industrial, el movimiento de

las personas, los espacios con poca ventilación, y el microclima característico de la urbe (Querol, *et al.* 2001).

Con objeto de minimizar el impacto ambiental y en la salud es necesario poner en funcionamiento estrategias de control y reducción de las emisiones de material particulado atmosférico, aunque para que éstas sean efectivas deben realizarse de forma paralela con la reducción de las emisiones de gases precursores (Rodríguez, 2006).

Por todo ello, se ha planteado la realización del presente trabajo de investigación, cuyos objetivos se presentan a continuación.

1.2 Objetivo General

Contribuir a la generación de información sobre el material particulado en el aire–ambiente de la ciudad de Loja como base para la solución de la problemática de la contaminación atmosférica.

1.3 Objetivos Específicos

- Analizar los niveles de concentración de material particulado PM_{10} en aire ambiente del núcleo urbano de la ciudad de Loja.
- Formular un plan de monitoreo de material particulado PM_{10} en la ciudad de Loja.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Contaminación Atmosférica

El aire en la atmósfera está compuesto natural y originalmente por diversos gases entre los cuales el nitrógeno (78 %) es el predominante, el oxígeno (21 %) y completándose con cantidades sumamente reducidas de otros gases tales como argón (0.9 %), dióxido de carbono (0.03 %) y otros (Silva, 2012). Además de estos gases, de manera natural, el aire también contiene diversas partículas características propias del sitio en que se encuentre un ambiente determinado y de la época anual.

Cuando la composición natural del aire en la atmosfera se ve alterado se habla de contaminación atmosférica, la cual es un importante problema de salud ambiental que afecta a países desarrollados y en desarrollo de todo el mundo, es así que se puede definir a la contaminación atmosférica como la presencia de sustancias extrañas en la atmósfera en concentraciones suficientes como para interferir en la salud, seguridad o bienestar de los seres vivos, además de constituir un problema ambiental debido a que la acción antrópica genera un efecto sobre un componente ambiental (aire) y a su vez el deterioro de éste afecta la supervivencia y la calidad de vida del hombre (Bogo, *et al.* 2003).

De la misma manera Angulo (2008), expresa que la contaminación atmosférica es la presencia en la atmósfera exterior de uno o más contaminantes o sus combinaciones, en cantidades tales y con tal duración que sean o puedan afectar la vida humana, de animales, de plantas o de

propiedades, que interfiera el goce de la vida, la propiedad o el ejercicio de las actividades.

2.2 Fuentes de Contaminación de Material Particulado

Las principales fuentes emisoras de contaminantes, pueden ser clasificadas, según sus características en fuentes fijas, móviles y fugitivas.

2.2.1 Fuentes fijas de material particulado

Las fuentes fijas consideran las emisiones generadas por la quema de combustibles producto de actividades industriales y residenciales, ya sea para la generación de energía, calor o vapor y otros procesos industriales, como por ejemplo la fundición del cobre. También incluyen las emisiones generadas por la quema de otros combustibles como la biomasa, asociada a la calefacción de viviendas (Jorquera, 2007).

2.2.2 Fuentes móviles de material particulado

Las fuentes móviles corresponden a las emisiones provenientes de los gases de escape, desgaste de frenos y neumáticos, de distintos tipos de transporte: automóviles, camiones, buses y motocicletas (Jorquera, 2007).

2.2.3 Fuentes fugitivas de material particulado

Las fuentes fugitivas, consisten en emisiones que no son canalizadas por ductos, chimeneas u otros sistemas hacia el exterior, tales como emisiones provenientes de calles pavimentadas y sin pavimentar, así como de la construcción, demolición, entre otras. El material particulado asociado a este tipo

de fuentes corresponde principalmente a partículas gruesas, siendo prácticamente el 90 % mayores a 2,5 micrometros (μm) (Cantor, 2013.).

Las emisiones fugitivas también tienen un origen natural, debido a la suspensión de tierra o erosión de rocas por acción del viento. Sus tasas de emisión dependen fuertemente de parámetros meteorológicos como la velocidad del viento, humedad ambiental y precipitaciones (Jorquera, 2007).

2.3 Definición de Material Particulado Respirable o PM_{10}

Según el Texto Unificado de Legislación Ambiental, libro VI sobre la norma de calidad del aire ambiente, anexo 4, definen al material particulado como que está constituido por material solido o liquido en forma de partículas, con excepción del agua no combinada, presente en la atmosfera en condiciones normales, además se designa como PM_{10} al material particulado de diámetro aerodinámico menor a 10 micrones.

Por otra parte Angulo (2008) y Cantor (2013) manifiesta que material particulado es un término empleado para describir material sólido y liquido suspendido en el aire, siendo una mezcla compleja de componentes tales como el hollín de diésel, polvo de vías, el polvo de la agricultura y las partículas resultantes de procesos productivos con características físicas y químicas muy diversas que están determinadas por los mecanismos de su origen.

2.4 Clasificación del Material Particulado PM_{10}

Según García (2007), el material particulado atmosférico, se puede clasificar en diversos tipos atendiendo a varios criterios:

- **Origen:** Puede ser de origen natural o antropogénico y, siendo de origen antropogénico, puede proceder de diversas fuentes de emisión tales como tráfico, industria o agricultura.
- **Mecanismo de formación:** El material particulado se clasifica en partículas primarias, que son aquellas emitidas directamente en estado sólido a la atmosfera desde la fuente de emisión; y partículas secundarias, que son aquellas generadas a partir de precursores gaseosos.
- **Granulometría:** El material particulado se separa, principalmente, en partículas ultrafinas, partículas finas y partículas gruesas.
- **Naturaleza o composición:** El cual puede estar formado por distintos compuestos químicos, dependiendo de la fuente de procedencia**.**

2.4.1 Clasificación según el origen del material particulado

El material particulado se clasifica según el origen en naturales o antropogénicas. La fuente del origen, determina en parte, las propiedades físicas y químicas de la partícula (Ríos, 2007).

Es así que son consideradas fuentes naturales las erupciones volcánicas, las actividades sísmicas, actividad geotérmica, incendios no provocados de zonas silvestres, resuspensión atmosférica debido a fuertes vientos y el transporte de partículas naturales procedentes de regiones áridas (Unión Europea, 2005). Esta definición de fuentes naturales se ha visto modificada recientemente en la nueva propuesta de directiva de calidad del aire de la Unión Europea (2008/50/CE) como "Emisiones de contaminantes no causadas directa o indirectamente por las actividades humanas".

Según esta definición, también se incluiría el aerosol marino, el cual no se ha considerado como tal en anteriores directivas (UE, 2005).

Por otro lado el material particulado de origen antropogénico son los procedentes de las actividades generadas por los humanos como emisiones residenciales y domésticas, tráfico rodado, procesos industriales, generación de energía, actividades de construcción y demolición, procesos extractivos, agricultura, ganadería, incendios forestales intencionados, quema de biomasa, entre otros); es decir por consecuencia de la influencia del hombre en el material particulado en la atmósfera propiciado principalmente por la interacción de las actividades productivas en un medio determinado (IPCC, 2007).

2.4.2 Clasificación por los mecanismos de formación del material particulado

La clasificación del material particulado según los mecanismos de formación pueden ser catalogadas como partículas primarias, emitidas directamente a la Atmósfera desde la fuente emisora, sin sufrir ninguna transformación física o química; y las partículas secundarias son el resultado de transformaciones químicas a partir de la emisión de precursores gaseosos mediante transformaciones químicas. Estos procesos de conversión de gas a partícula pueden conducir a la formación de partículas nuevas por condensación que después aumentan por coalescencia. A este proceso se le denomina nucleación homogénea (cambio de estado). Por el contrario si la

condensación se produce sobre partículas ya existentes, entonces se denominará nucleación heterogénea (Instituto Nacional de Ecología, 2010).

En ambos procesos se produce un aumento en la masa de partículas por unidad de volumen, pero solo en la nucleación homogénea se produce un aumento de número de partículas por unidad de volumen. Las partículas secundarias están incluidas en su mayoría en el rango de las partículas finas además de ser en gran parte de origen antrópico (Kulmala, *et al.* 2001).

2.4.3 Clasificación por la distribución granulométrica del material particulado

Otra de las clasificaciones del material particulado es por su tamaño o distribución granulométrica, que se separa, principalmente, en partículas ultrafinas, partículas finas y partículas gruesas.

La denominación de las partículas incluidas en determinados rangos granulométricos varía en función del ámbito de estudio; así, en ciencias atmosféricas se denominan "partículas ultrafinas" a las partículas de diámetro inferior a 0.1 μm ($PM_{0.1}$) y "partículas finas" a aquellas de diámetro <1 μm (PM_1), mientras que en epidemiologia esta última definición abarca hasta las partículas de diámetro <2.5 μm de diámetro, mientras que en ciencias de la atmosfera se considera gruesas las partículas de diámetro superior a 1 μm (PM_{10}) (Kumala, *et al.* 2001).

2.4.4 Clasificación por la composición química del material particulado

El material particulado puede considerarse como un sistema complejo desde el punto de vista mineralógico y químico. Dependiendo de las zonas de muestreo, la mineralogía y química global de las partículas es muy variada.

Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) en el 2007, exponen que las partículas de naturaleza mineral y el aerosol marino dominan el material particulado a escala global.

Se pueden considerar los siguientes grupos principales:

- **Fracción mineral:** La composición química de las partículas minerales es variable de unas zonas a otras, y depende en gran medida de las condiciones de los suelos locales, aunque bajo determinadas circunstancias esta composición original puede verse alterada. Los principales constituyentes son cuarzo (SiO_2); carbonatos como calcita ($CaCO_3$) y dolomita (Ca, $MgCO_3$); minerales de arcilla como caolinita o ililita; cloritas; feldespatos como albita, anortita y microclina; sulfatos como yeso, anhidrita y baritina; fosfatos como apatito; y óxidos de hierro como hematites, magnetita e ilmenita. Estas partículas son casi siempre de tipo primario.

  Las partículas minerales tienen, a escala global, un origen mayoritariamente natural, si bien a escala local las fuentes antrópicas pueden ser las fuentes que más contribuyen a los niveles de materia mineral.

- **Aerosol marino**: Son aquellas originadas en las zonas marinas (mares y océanos), cuya composición reflejara en gran medida la composición del medio originario de las mismas, el agua del mar. Serán por lo tanto partículas de NaCl principalmente aunque pueden existir otros constituyentes como el $MgCl_2$, $MgSO_4$ o el $NaSO_4$. Los mares y océanos son además una fuente de aerosoles de naturaleza biogénica, como residuos orgánicos resultantes de la descomposición de algas y plancton. El aerosol marino, a escala global, constituyen el segundo grupo más importante en cuanto a masa, siendo en algunas zonas el tipo de partículas dominantes, bajo determinados escenarios meteorológicos.
- **Compuestos de azufre:** Los compuestos de azufre presentes en el material particulado son principalmente sulfatos secundarios, generados como resultado de la oxidación de precursores gaseosos. El diámetro de este tipo de partículas suele ser <1 μm.

  Los compuestos de azufre representan aproximadamente el 7-10 % de las emisiones globales terrestres de material particulado. Los sulfatos de origen no natural constituyen la fracción principal del material particulado atmosférico antropogénico, las cuales son responsables del 60- 80 % del azufre en la atmosfera a escala global (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 2001).
- **Compuestos de nitrógeno:** Los compuestos de nitrógeno que se encuentran principalmente en el material particulado son NO_3 y NH_4, la mayoría de origen antropogénico, provenientes de la reacción de precursores gaseosos.

Los compuestos de nitrógeno de origen natural provienen en su mayoría de las emisiones de los suelos (nitrificación), los incendios forestales, descargas eléctricas y las emisiones biogénicas.

Por otro lado la producción antropogénica de gases precursores de nitratos secundarios se da en procesos de producción eléctrica (combustión de gas, fuel-0il y carbón) y otros procesos de combustión como los que ocurren en los motores de los vehículos, quema de biomasa, entre otros. (Schaap, *et al*. 2004).

- **Compuestos de carbono:** Los compuestos carbonosos comprenden una amplia variedad de especies naturales y antrópicas de composición y estructura diversa. El carbono presente en la atmosfera se puede encontrar como carbono elemental, carbono orgánico y carbono de carbonatos. El carbono elemental tiene su origen principalmente de emisiones antrópicas, tales como las debidas a procesos de combustión incompleta que se dan esencialmente de los motores a diésel, los cuales constituyen una fuente principal del carbono elemental.

  Los compuestos de carbono orgánico, por otra parte, pueden ser emitidos directamente a la atmosfera ya sea por fuentes naturales y antropogénicas o formarse por condensación de compuestos orgánicos volátiles (COVs) (Schaap, *et al.* 2004).

2.5 Constitución del Materia Particulado PM10

El material particulado atmosférico consiste en una mezcla compleja de compuestos de naturaleza orgánica e inorgánica con diferentes distribuciones

granulométricas y composición química, ambas condicionadas por la composición de los gases que las rodean (Rodríguez, 2006).

2.5.1 Compuestos inorgánicos del material particulado

Los principales compuestos inorgánicos que se han encontrado en el material particulado son sulfatos, amonio, iones nitrato, plomo, material con carbono como cenizas, y otras especies tóxicas como As, Se, Cd, Zn, Fe, Ca y Si (Sbarato, *et al*. 2010).

2.5.2 Compuestos orgánicos del material particulado atmosférico

La composición orgánica del material particulado es muy diversa y depende también de la fuente emisora como del mecanismo de formación de las partículas.

A estos grupos generales hay que añadir otros compuestos complejos derivados de las actividades industriales, los cuales aportan concentraciones anómalas desde un punto de vista geoquímico a la Atmósfera.

A pesar de que las emisiones antropogénicas de MPA son mucho menos importantes a escala global que las emisiones naturales, el MPA de origen antrópico es mucho más importante en las áreas urbanas. Además, es más toxico que el de origen natural debido fundamentalmente a su composición química.

Entre la composición orgánica frecuente del material particulado están los compuestos del tipo de los alcanos, alquenos, aromáticos e hidrocarburos

aromáticos policíclicos (PAHs). Los alcanos encontrados en el particulado atmosférico son cadenas hidrocarbonadas con un rango que va desde C_{17} a C_{36}. Los PAHs son los compuestos más fuertemente estudiados en el material particulado y la importancia de su estudio no radica en la cantidad en masa que compone el particulado, la cual es una pequeña fracción, sino en los posibles efectos adversos sobre la salud. Compuestos oxigenados (ácidos, cetonas, aldehídos, ésteres y fenoles) emitidos directamente de sus fuentes o producidos por reacciones de oxidación en la atmósfera, compuestos nitrados (ejemplo las N-Nitrosaminas, potentes cancerígenos), compuestos halogenados y compuestos heterocíclicos azufrados, son algunos de los grandes grupos que componen la materia orgánica particulada (Sbarato, *et al.* 2010).

2.6 Características Generales del Material Particulado

El material particulado (MP), se define como partículas sólidas y liquidas mezcladas que se encuentran suspendidas en el aire y que varían en número, tamaño, forma, área de superficie, composición química, solubilidad y origen. La distribución total de partículas suspendidas, según su tamaño en el ambiente aéreo son de dimensión trimodal, incluyendo partículas gruesas, finas y ultra finas. La selección del tamaño del MP se determina según si la colección de partículas se encuentra, debajo, encima o dentro de un rango de tamaño aerodinámico específico, ya que cada uno de estos tiene una especial relevancia en la inhalación y deposito, fuentes o toxicidad (Pope y Dockery, 2006). Las partículas se definen por su punto de corte según su diámetro

aerodinámico (como 2,5 o 10 Dm) (Pope y Dockery, 2006). El diámetro aerodinámico se define como el diámetro de una esfera de unidad de densidad uniforme, que lograría la misma velocidad terminal que las partículas de interés (Bell y Samet, 2005).

El material particulado atmosférico consiste en una mezcla compleja de compuestos de naturaleza orgánica e inorgánica con diferentes distribuciones granulométricas y composición química, ambas condicionadas por la composición de los gases que las rodean. Los niveles de material particulado atmosférico se suelen expresar en forma de concentración de masa o número de partículas por unidad de volumen de aire ($\mu g/m^3$) (Martin, 2005).

Las partículas difieren de acuerdo con sus fuentes de emisión, formas, tamaños, mecanismos de formación y composición química y pueden caracterizarse por sus propiedades físicas y químicas. Mientras las propiedades físicas tienen efecto sobre el transporte y el depósito de las partículas en el sistema respiratorio humano, la composición química de las partículas determina el impacto de éstas sobre la salud (Martin, 2005).

Algunas de las sustancias que están presentes en el material particulado son el plomo, arsénico, cadmio, mercurio, ácido sulfúrico y sulfatos. El plomo, emitido a causa de la combustión de gasolina que incorporan como aditivo tetraetilplomo u otros compuestos orgánicos de plomo, es una de las partículas metálicas que más presente se encuentra en la atmósfera urbana. El plomo en el interior del organismo interfiere en el proceso de maduración de las células rojas de la sangre, así como también induce la excreción, a través

de la orina, de porfirinas, que son sustancias precursoras de la hemoglobina. Se acumula en los huesos y tejidos, produciendo alteraciones nerviosas y reducción de la función renal. Por esa razón se suele medir su concentración en aire por separado (Moragues, 2001).

2.7 Efectos del Material Particulado Atmosférico

Los efectos que son causados del material particulado son muy derivados y dependen básicamente de la concentración y las propiedades físico-químicas de estas partículas.

2.7.1 Efectos sobre el clima

Las partículas de material particulado juegan un papel importante en la regulación del clima, debido a que influye en la formación de las nubes, así como en el balance radiactivo global. Es decir que para que estas partículas de vapor condensen y lleguen a formar las masas nubosas que originan las precipitaciones, es necesaria la presencia de aerosoles en donde condense el vapor y forme las nubes (Aldabe, 2011).

Además las partículas atmosféricas en las nubes constituyen un medio adecuado para que se produzcan reacciones de transformación de gas a partículas.

Por otro lado el material particulado ejerce un efecto directo sobre el balance radiactivo global, ya que tiene la capacidad de dispersar y absorber radiación dependiendo del tamaño y la composición química de estas partículas (Aldabe, 2011).

2.7.2 Efectos sobre los ecosistemas

El material particulado también ejerce efectos sobre los ecosistemas debido a que las partículas de mayor diámetro, tales como el polvo mineral, pueden reducir la capacidad de intercambio gaseoso al depositarse sobre las hojas de las plantas, así como afectar a la fotosíntesis, lo cual limita el crecimiento .

Además puede afectar a las características edáficas e inhibir funciones como la toma de nutrientes por parte de las plantas cuando estas partículas se depositan sobre la superficie terrestre en altas concentraciones, aunque también puede contribuir a la acidificación y eutrofización de suelos y aguas superficiales, lo que a su vez puede repercutir sobre la composición de las aguas subterráneas (Grantz, *et al.* 2003).

2.7.3 Efectos sobre la salud

Según la Organización Mundial de la Salud el material particulado es el causante del incremento de mortalidad y morbilidad (admisiones hospitalarias, síntomas respiratorios, disminución de la función pulmonar, etc.), estudios reportan que al aumentar en 10 $\mu g.m^3$ PM_{10} se genera un incremento de por lo menos el 8 % en el número de consultas por enfermedad respiratoria en los niños entre 5 y 14 años de edad.

El material particulado puede producir efectos nocivos como la reducción de la función pulmonar, aumento de la susceptibilidad de contraer infecciones respiratorias, muertes prematuras y cáncer, entre otros (Ministerio del Medio

Ambiente de Chile, 2011). Además la exposición de mujeres embarazadas a altos niveles de material particulado se relaciona con reducciones en el periodo de gestación así como en el peso de los recién nacidos (Cárdenas, 2010).

Las partículas de tamaño comprendido en el intervalo 2.5 – 10 μm se depositan en la tráquea, bronquios y bronquiolos. Las partículas de tamaño inferior a 2.5 μm, incluyendo las nanopartículas, con medidas del orden de micrómetros, son capaces de llegar al interior de los alvéolos pulmonares, donde las más hidrosolubles se disuelven y las menos hidrosolubles se depositan. En general todas estas partículas pueden acumularse en el sistema respiratorio y producir diversos efectos negativos en la salud que se expresan en el aumento de enfermedades respiratorias como la bronquitis y exacerbar los efectos de otras enfermedades cardiovasculares (Díaz y Páez, 2006).

Además algunas investigaciones realizadas desde mediados de la década de los 90, en países como Bélgica, EE.UU, Inglaterra, evidencian que la contaminación atmosférica por material particulado causa efectos en la salud cardiovascular. En el año 2004 la Sociedad Americana de Cardiología publico estudios científicos que determinaron un incremento consistente en el riesgo cardiovascular en relación a la exposición diaria tanto a corto como a largo plazo al material particulado (Pope y Dockery, 2006).

2.8 Métodos de Medición de Material Particulado

La Agencia de la protección del medio ambiente de los Estados Unidos (EPA), certifica varios métodos para la medición de material particulado, entre

los cuales tenemos el método gravimétrico o método analítico cuantitativo en los cuales las determinaciones de las sustancias se llevan a cabo por una diferencia de pesos, donde se determina la masa pesando el filtro, a temperatura y humedad relativa controladas, antes y después del muestreo. Existen métodos gravimétricos para conocer la concentración de una muestra en solución, en los que se llevan a cabo precipitaciones de las muestras por medio de la adición de un exceso de reactivo aprovechando el efecto del ion común. Este método puede ser dividido en varias maneras: método gravimétrico mediante captación de partículas en envases abiertos (método 502 del EPA), Método Gravimétrico mediante muestreador de alto caudal o de bajo caudal (referencia 40 CFR Part50). Existen también métodos alternativos que son utilizados en varios casos como son: métodos de medición continua, como Micro balanza Oscilante o Atenuación Beta (Cárdenas, 2010).

Según Cárdenas (2010), manifiesta que para un adecuado monitoreo se debe disponer de estaciones de calidad del aire y meteorológicas, en número y posiciones apropiadas, aunque también se debe tomar en cuenta que por simple integridad de los equipos de las estaciones de medición, estos deben estar a la altura y distancias apropiadas de las fuentes móviles de emisiones por medir.

Según la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA) (2010), diferentes medios de medición de sustancias contaminantes como se indica en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Métodos de medición según la EPA

SUSTANCIAS	TÉCNICA O PRINCIPIO DE MEDICIÓN
Ozono- O_3	Absorción Ultravioleta
Monóxido de Carbono- CO	Absorción Infrarroja; filtros (NDIR)
SO_2	Métodos colorimétrico
NO_X	Luminiscencia Química
MP_{10}	Gravimetría

Fuente: EPA, (2010).
Elaboración: Autor

2.9 Equipos para la Medición de Material Particulado

Los equipos utilizados para la medición de material particulado, succionan una cantidad medible de aire ambiente hacia una caja de muestreo a través de un filtro, durante un periodo de tiempo conocido, generalmente 24 horas. El filtro es pesado antes y después para determinar el peso neto ganado. El volumen total de aire muestreado se determina a partir de la velocidad promedio de flujo y el tiempo de muestreo. La concentración total de partículas en el aire ambiente se calcula como la masa recolectada dividida por el volumen de aire muestreado, ajustado a las condiciones de referencia. Existen dos muestreadores de este tipo que se diferencian en su controlador de flujo, pueden ser de sistema MFC (controlador de flujo de tipo másico) o VFC (controlador de flujo de tipo volumétrico) (MAVDT, 2010).

Según García (2002), en las mediciones de partículas hay muchas causas de error, estas incluyen interferencias, niveles de blancos, reproducibilidad de los métodos de muestreo y muestreo estadístico. Cada medida tiene un grado de incertidumbre debido a los límites de medición de los equipos y las personas que usan estos equipos.

Las principales fuentes de error son:

- Contaminación artificial de las muestras en su manipulación.
- Pérdida de material colectado durante el muestreo, recolección o almacenamiento de los filtros.
- Inadecuado manejo de los filtros durante su transporte o almacenamiento.
- Modificación de las muestras durante su análisis.
- Errores en el manejo de los datos.

Existen diferentes y variados equipos para la realización de mediciones de concentración de material particulado, las cuales se pueden clasificar en dos grandes grupos los cuales son los más utilizados, equipos que utilizan el método gravimétrico de alto caudal y los equipos que utilizan el principio de la dispersión de luz (Cárdenas, 2010).

2.9.1 Equipos que utilizan el método gravimétrico de alto caudal.

En este tipo de equipos como el controlador de flujo de tipo volumétrico se utilizan filtros cuadrados de 30 x 45 cm, donde es captado el material particulado, la mayor ventaja que presentan estos equipos es su solidez para ser utilizados en exteriores y la exactitud de los resultados obtenidos depende fundamentalmente en la precisión de la balanza que se utiliza para medir el peso de los filtros utilizados, sin embargo el tiempo que lleva obtener los resultados de una medición es alrededor de 3 a 4 días.

Un ejemplo de equipo que utiliza este tipo de método es el Anderson, el cual mide PM_{10}, este equipo utiliza una bomba de succión de alto caudal y cuenta con una compleja distribución de impactadores con los cuales filtran las partículas totales para medir solo material particulado menor a 10 µm (PM_{10}). Por otro lado otro equipo con similares características es el Partisol, este equipo permite medir material particulado menor a 10 µm o material particulado menor a 2.5 µm, la diferencia está en el impactador removible con el cual está equipado, utiliza filtros de 37 mm de diámetro, dependiendo del modelo puede adaptarse un anemómetro para medir la dirección y velocidad del viento (Angulo, 2008).

2.9.2 Equipos que utilizan el principio de la dispersión de luz

Este tipo de equipos que utilizan el principio de la dispersión de luz para calcular la concentración de material particulado, utilizan diferentes impactadores para poder medir PM_{10} o $PM_{2.5}$, utilizan un sensor óptico para detectar y medir el material particulado en concentraciones de hasta 100 miligramos por metro cúbico (mg/m^3), adicionalmente utilizan una bomba de bajo caudal de flujo continuo la cual es utilizada también para la purga del equipo, asegurando así mediciones exactas.

2.10 Marco Legal

La legislación para el control del material particulado y de otros contaminantes en el Ecuador es el Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), emitida el 16 de diciembre del 2002, a través del Registro Oficial 725. El TULSMA se

encuentra dividida en varios libros, entre ellos el Libro VI, anexo 4 indica la normativa para la calidad del aire ambiente; los valores máximos permisibles de concentración de material particulado presentes en la atmósfera (Cuadro 2).

Los límites máximos permitidos establecidos en la legislación ecuatoriana son 15 µg/m^3 (promedio anual) y 50 µg.m^3 (promedio 24 horas) para $PM_{2.5}$ y 50 µg.m^3 (promedio anual) y 100 µgm^3 (promedio 24 horas) para PM_{10}. Estos valores son equiparables con los existentes en la mayoría de los países latinoamericanos e incluso con los fijados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, EPA.

Cuadro 2. Valores tomados del numeral 4.1.2.1 anexo 4 del Libro VI del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria. Todos estos valores se encuentran a condiciones de 25 °C y 760 mm Hg.

CONTAMINANTE	TIEMPO DE EXPOSICIÓN	MÁXIMA CONCENTRACIÓN PERMITA
Partículas Sedimentables	30 días	1 mg/cm2
PM_{10}	1 AÑO	50 µg/m^3
	24 horas	150 µg/m^3
$PM_{2,5}$	1 AÑO	15 µg/m^3
	24 horas	65 µg/m^3

Fuente: TULSMA, 2002.
Elaboración: Autor

2.11 Medidas y Estrategias de Solución

El objetivo de proponer medidas y estrategias de solución contra la contaminación de material particulado, es proteger la salud de las personas de los efectos agudos y crónicos de dicho contaminante.

Para tal efecto las normas de calidad permiten fundamentar las políticas de control de emisiones. Sin embargo, tanto para la evaluación de tipo diagnóstico orientada a verificar los niveles de calidad del aire en relación con los estándares, como para el seguimiento de los impactos de las medidas de control sobre la calidad del aire, se requiere contar con sistemas de monitoreo de la calidad del aire (Dirección Meteorología de Chile, 2010).

Además junto con la medición del material particulado fino, se requiere avanzar en la caracterización de sus componentes. Los principales constituyentes del $MP_{2,5}$ son carbono orgánico, carbono elemental, sulfatos, nitratos, amonios, cloruro de sodio o sal, materiales de origen geológico en forma de polvo superficial, metales y otros elementos traza. A través de la caracterización de sus componentes es posible identificar las fuentes emisoras responsables de su formación con mayor precisión, lo que permite determinar las medidas de control más adecuadas a incorporar en los planes de descontaminación atmosféricos (Dirección Meteorología de Chile, 2010).

Con respecto al impacto sobre la salud, la Organización Mundial de la Salud recomienda el control tanto de $PM_{2.5}$ como de PM_{10}, basándose en estudios que demuestran el impacto de ambos contaminantes en la salud.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el logro de los objetivos planteados se realizaron una serie de etapas metodológicas, las cuales se describen a continuación:

3.1 Localización y Descripción del Área de Estudio

La ciudad de Loja (Figura 1), se encuentra ubicada al sur de la República del Ecuador, en la provincia y cantón del mismo nombre, en el valle de Cuxibamba. La ciudad de Loja se encuentra ubicada entre las altitudes de 1950 y 2370 m. Tiene una extensión de 52 km^2 (PNUMA, 2007) y sus límites son los siguientes:

- Al norte: Loma de Zalapa
- Al sur: Cajanuma
- Al este: Cordillera oriental de los Andes
- Al oeste: Cordillera occidental de los Andes

El clima de la ciudad de Loja es temperado-ecuatorial subhúmedo. Los factores que dan origen al clima de la ciudad son los mismos factores que afectan a la región andina, especialmente la latitud y el relieve, y en términos más generales, la zona de convergencia inter-tropical (ZCIT), el efecto de la interacción Océano Pacífico–atmósfera (Fenómeno El Niño Oscilación del Sur y Corriente Fría de Humboldt) y la cubierta vegetal (PNUMA, 2007).

La zona de estudio se caracteriza por presentar los siguientes factores climáticos, su altitud es de 2100 msnm, la temperatura media anual del aire de 16˚C y una precipitación anual de 900 mm (PNUMA, 2007).

La investigación se realizó en el núcleo urbano de la ciudad de Loja ubicado en la sede del antiguo Banco Central del Ecuador en José A. Eguiguren entre Antonio José de Sucre y Simón Bolívar, con coordenadas UTM 17 S 699555 E y 9558054, con las cuales se elaboró un mapa de ubicación como se indica en la Figura 1.

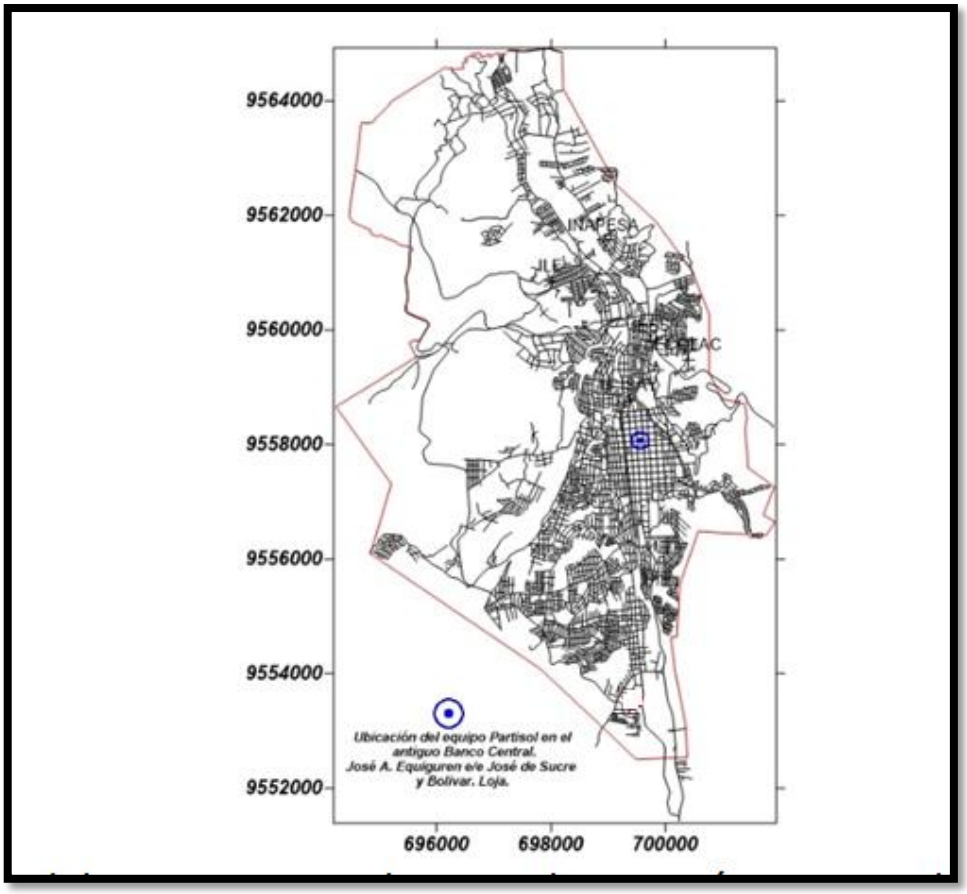


Figura 1. Ubicación del punto de muestreo de la ciudad de Loja
Fuente: CINFA, 2014.

3.2 Metodología

Para la realización de la presente investigación se ejecutaron las siguientes metodologías con el fin de dar cumplimiento a los objetivos planteados, las cuales se describen a continuación:

3.2.1 Análisis los niveles de concentración de material particulado PM_{10} en aire ambiente del núcleo urbano de la ciudad de Loja.

La metodología que se utilizó para la ubicación del punto de muestreo fue en base a los criterios de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), entre otros factores (Anexo 1):

- Altura de la toma de muestra sobre el piso: 2-15 m.
- Distancia al árbol más cercano: > 20 m de la circunferencia que marca el follaje o las raíces y por lo menos 10 m, si los árboles actúan como un obstáculo.
- La distancia del muestreador a obstáculos como edificios, debe ser mínimo, el doble de la altura en que sobresale el obstáculo sobre el muestreador. Se recomienda un radio libre de 10 m.
- El equipo debe tener un flujo de aire sin restricciones, 270º alrededor de la toma de muestra y/o un ángulo de 120º libre por encima del equipo.
- No podrá haber flujos de hornos o de incineración cercanos. Se recomienda 20 m de distancia del sitio de muestreo.
- La distancia a las carreteras/caminos debe ser de 2 a 10 m del borde a la línea de tráfico más cercana.
- Fácil acceso, para visitas regulares de inspección, mantenimiento, calibración, etc.
- Seguridad contra vandalismo.
- Infraestructura: el sitio debe contar con energía eléctrica segura y teléfono.

- Libre de obstáculos que afecten el flujo de aire en las cercanías del muestreador (ejemplo: edificios, árboles, balcones, etc.).

3.2.1.1 Tratamiento y preparación de los filtros y determinación de PM_{10}

Posteriormente se prepararon los filtros blancos los cuales fueron de fibra de celulosa ultrapura, con una dimensión de 30 x 45 cm (Anexo 2), que se utilizaron a continuación para el monitoreo de material particulado PM_{10}. Para la estabilización de los filtros fueron introducidos en una estufa a 200 ºC para facilitar la firmeza de las pesadas posteriores.

3.2.1.2 Monitoreo de material particulado PM_{10}

Luego de la ubicación del punto de muestreo tomando en cuenta los criterios de la EPA y la preparación de los filtros en blanco se procedió a realizar el monitoreo de PM_{10} en el núcleo urbano de la ciudad de Loja, se monitoreo y se recogieron datos por 6 meses desde junio hasta noviembre según las consideraciones de la EPA que recomiendan que el monitoreo para recoger datos representativos es de por lo menos 4 meses.

Para el monitoreo de material particulado PM_{10} se utilizó el equipo perteneciente al Consejo Provincial de Loja, el cual es un controlador de flujo de tipo volumétrico, debidamente calibrado, cuenta con las características avanzadas tales como control de flujo, volumétrico activo, intercambio simple de filtros y control por microprocesador para almacenaje de la interface de datos.

Además el equipo dispone de un cabezal de corte (PM_{10}) por el que penetra el aire por efecto de aspiración de una bomba. Dicho aire (ya libre de partículas de diámetro superior a 10 μm) atraviesa el filtro "blanco" y es expulsado por el extremo opuesto del equipo, quedando las partículas de diámetro seleccionado retenidas sobre el filtro "cargado". El equipo cuenta con un sensor para la medida de aspiración, así como de un contador del volumen total aspirado en un ciclo de muestreo de 24 horas (Anexo 10).

Para la operación del equipo, se siguieron los siguientes pasos:

- Se conectó el equipo a una toma de corriente de 110 V.

- El equipo se encendió al menos unos 5 minutos antes de colocar el filtro, a fin de estabilizar los caudales de aire.

- El cronómetro del equipo tuvo que ser configurado para que funcione por 24 horas.

- Además se instaló el disco registrador Dixon, es un círculo de papel que gira permanentemente y sobre el cual se asienta una pluma o marcador. La línea continua indica que el equipo funcionó ininterrumpidamente las 24 h; una línea entrecortada indica los tiempos que el equipo dejó de funcionar durante el monitoreo, que generalmente se da por variaciones de voltaje (Anexo 10).

- Luego de transcurridos 5 minutos, se levanta el cabezal para instalar el portafiltros con el filtro nuevo que ha sido previamente tratado en el laboratorio.

- El cabezal es cerrado teniendo la precaución que quede herméticamente sellado.

- Se inició el monitoreo de PM_{10}, presionando el respectivo botón de mando.

- Al cabo de 24 horas, se apaga el equipo, con el fin de retirar el portafiltros con el filtro lleno de muestra de PM_{10} (Anexo 9).

- Después de 4 días se vuelve a realizar el mismo procedimiento.

Concluido el tiempo de monitoreo se toma la caída de presión atmosférica final, se retira el filtro "cargado" (Anexo 9), con su respectivo portafiltros (Anexo 6) para evitar que este se contamine y ser transportado al Consejo Provincial de Loja, donde se encuentra la balanza analítica para determinar la peso final del filtro (Anexo 3, 4 y 5).

3.2.1.3 Cálculo de concentración de material particulado PM_{10}

Con todos esos datos tomados posteriormente del monitoreo se armó una base de datos en donde se tomó en cuenta varias ecuaciones para determinar finalmente la concentración de material particulado PM_{10}.

- **Cálculo de diferencia de peso.**

$$\boldsymbol{w_d} = w_f - w_i \qquad \textit{Ecuación 1}$$

donde:

$\mathbf{w_i}$: peso inicial gramos

$\mathbf{w_f}$: Peso final gramos

$\mathbf{w_d}$**:** Diferencia de peso gramos

Transformación de unidades: gramos (g) a microgramos (μg)

$$\boldsymbol{w_d(\mu g)} = 1\ \text{g}\ \left[\frac{1\ 000\ 000\ \mu g}{1\ \text{g}}\right]$$

Por otra parte fue necesario utilizar parámetros establecidos por el controlador de flujo de tipo volumétrico como el tiempo de muestreo que en todos los monitoreos fue de 1440 en minutos, pendiente de la recta de calibración (0,9691) y el intercepto de la recta de calibración (-0,006901) (Anexo 11).

Además como se mencionó se obtuvieron datos sobre la presión inicial y la caída de presión final (Anexo 7 y 8), antes y después de colocar los filtros.

Otros datos importantes para los posteriores cálculos fueron las condiciones ambientales normales como temperatura ambiente local (289,8 K), presión atmosférica local (589 mmHg); Condiciones de referencia como Temperatura Ambiente (289 K) y la presión atmosférica de referencia (760 mmHg).

Con todos estos datos se realizó los siguientes cálculos necesarios para deducir la concentración de PM10:

- **Flujo de Operación inicial (m^3/min), lo que busca es determinar cuántos metros cúbicos de aire absorbe en el tiempo de monitoreo tanto al inicio como al final.**

$$\mathbf{Qof} = \frac{\sqrt{\left(\frac{Ta}{pl} \times \Delta pi\right)} - Irc}{mrc} \qquad \textit{Ecuación 2}$$

donde:

Qof: Flujo de Operación final (m^3/min)

Ta: Temperatura Ambiente local (K)

pl: Presión atmosférica local (mmHg)

Δpi: Caída Presión inicial ΔHi (In H_2O)

mrc: Pendiente de la recta de calibración

Irc: Intercepto de la recta de calibración

- **Promedio del Flujo de Operación (m^3/min)**

$$\mathbf{Qp} = \frac{(Qoi + Qof)}{2} \qquad \textit{Ecuación 3}$$

donde:

Qp: Promedio del Flujo de Operación (m^3/min)

Qoi: Flujo de Operación inicial (m^3/min)

Qof: Flujo de Operación final (m^3/min)

- **Flujo de referencia (m^3/min), en condiciones normales tanto en temperatura (289 K) como en presión (760 mmHg).**

$$\mathbf{Qr} = Qp \times \frac{(pl)}{Ta} \times \frac{(T\ std)}{P\ std} \qquad \textit{Ecuación 4}$$

donde:

Qr: Flujo de referencia (m^3/min)

Qp: Promedio del Flujo de Operación (m^3/min)

pl: Presión atmosférica local (mmHg)

T std: Temperatura Ambiente de referencia (K)

P std: Presión atmosférica de referencia (mmHg)

Ta: Temperatura Ambiente local K

- **Volumen de referencia (m^3), que es la cantidad de metros cúbicos de aire que pasaron por el filtro.**

$$\mathbf{Vr} = \mathrm{Qr} \times \mathrm{t} \qquad \textit{Ecuación 5}$$

donde:

Vr: Volumen de referencia (m^3)

Qr: Flujo de referencia (m^3/min)

t: Tiempo de Muestreo (min)

Concentración de material particulado PM_{10} ($\mu g/m^3$)

$$\mathbf{Cp} = \frac{\mathrm{wd}}{\mathrm{Vr}} \qquad \textit{Ecuación 6}$$

donde:

Cp: Concentración de partículas PM_{10} ($\mu g/m^3$)

wd: Diferencia de peso gramos

Vr: Volumen de referencia (m^3)

3.2.2 Formulación de un plan de monitoreo de material particulado PM_{10} en la ciudad de Loja

La gestión de la calidad del aire es uno de los temas menos trabajado dentro de la gestión pública en el Ecuador, al punto que ni siquiera existe información objetiva respecto a la magnitud del problema, pese a que existen indicios de que las ciudades grandes y medianas que están expuestas a la contaminación del aire, vista casi como un impacto indeseable e inevitable del progreso.

Es por ello de la importancia de plantear estrategias para su monitoreo, mitigación y control de contaminantes como el material particulado PM_{10}, por lo que el plan de monitoreo de material particulado instituirá los parámetros para el seguimiento de la calidad del aire de la ciudad de Loja en el cual se establecerán los lineamientos de cómo se deberían llevar a cabo un programa de monitoreo de PM_{10}.

El programa de monitoreo se encargará de describir las variaciones en la concentración de material particulado PM_{10}, además se sugerirá la ubicación de las estaciones de monitoreo referencial y estará sujeto a dar las directrices de cómo realizar una red de monitoreo en la ciudad de Loja.

El programa de monitoreo y seguimiento de material particulado PM_{10}, se caracterizará por abarcar todos los exigencias necesarios para realizar una red de monitoreo describiendo el talento humano necesario, los criterios que se deben tomar en cuenta para la determinación de ubicación de estaciones de monitoreo en base a investigaciones realizadas y revisión de literatura, los

criterios para la ubicación de monitores, métodos de medición de concentraciones avalados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) haciendo una selección que mejor se ajuste a nuestro medio, especificando las características del equipo de monitoreo acreditado en la legislación ambiental ecuatoriana especificando su debida calibración; además se mencionará la correcta preparación de los filtros y equipos adicionales, tiempo y frecuencia de monitoreo que exige el Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiental (TULSMA), el sistema de recolección de datos y en base a todas estas directrices se ajustara un cronograma y presupuesto para poder llevar a cabo el plan de monitoreo en la ciudad de Loja.

Además en el TULSMA, establecen que la responsabilidad de determinar las concentraciones de material particulado PM_{10} y de otros contaminantes, recaerá en la Entidad Ambiental de Control, y tanto los equipos, métodos y procedimientos a utilizarse en los planes de control y monitoreo serán aquellos descritos en la legislación ambiental federal de los Estados Unidos de América (Code of Federal Regulations).

4. RESULTADOS

A continuación se describen los resultados obtenidos de la investigación, en base a los objetivos planteados.

4.1 Niveles de Concentración de Material Particulado PM_{10} en Aire Ambiente del Núcleo Urbano de la Ciudad de Loja.

En la investigación presente se obtuvieron los resultados que se observan en el Cuadro 3, en donde se puede evidenciar que la concentración de material particulado PM_{10}, luego del monitoreo realizado desde los meses de junio hasta noviembre en el núcleo urbano de la ciudad de Loja, no sobrepasan el límite máximo permisible que es de 100 $\mu g/m^3$, debido a que el promedio aritmético del monitoreo continuo durante 24 horas, no excedió los mencionados límites permisibles, este está establecido en la normativa ambiental del Ecuador TULSMA.

En el siguiente cuadro se muestran los valores originales obtenidos en el muestreo de PM_{10} utilizando el equipo controlador de flujo de tipo volumétrico además se puede observar el valor mínimo (3,956 $\mu g/m^3$) y máximo (122,569 $\mu g/m^3$) provenientes de los cálculos con las ecuaciones expuestas en la metodología y a partir del pesaje de los filtros.

Como se puede observar en el Cuadro 3 existen valores muy altos (122,378 $\mu g/m^3$), el mismo supera los valores permisibles según la norma ecuatoriana de calidad del aire ambiente y otros muy bajos, los cuales podrían

ser descartados ya que puede deberse a errores de medición en el equipo o en el tratamiento de los filtros antes o después del monitoreo.

Cuadro 3. Resultados de monitoreo de PM_{10} entre los meses de junio a noviembre.

Fecha de inicio	Hora de inicio	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Diferencia peso (g)	Diferencia peso (µg) transformación de unidades	Caída Presión inicial ΔHi (In H2O)	Caída Presión Final ΔHf (In H2O)	Flujo de Operación inicial (m^3/min)	Flujo de Operación final (m^3/min)	Promedio del Flujo de Operación (m^3/min)	Flujo de referencia (m^3/min)	Volumen de referencia (m^3)	Concentración de Partículas PM_{10} (µg/m^3)
07/06/2014	12:00:00 AM	4,431	4,450	1,91E-002	1,91E+004	17,0	17,5	3,991	3,035	3,013	2,401	3457,926	5,550
13/06/2014	12:00:00 AM	4,429	4,456	2,75E-002	2,75E+004	17	16,9	2,991	2,983	2,987	2,380	3427,883	8,025
18/06/2014	12:00:00 AM	4,432	4,472	3,96E-002	3,96E+004	16,8	17	2,974	2,991	2,983	2,377	3422,824	11,564
25/06/2014	12:00:00 AM	4,424	4,517	9,36E-002	9,36E+004	17,2	17,8	3,009	3,061	3,035	2,419	3482,798	26,872
01/07/2014	12:00:00 AM	4,416	4,496	7,97E-002	7,97E+004	13,9	17,6	2,706	3,044	2,875	2,291	3298,903	24,154
07/07/2014	12:00:00 AM	4,427	4,441	1,37E-002	1,37E+004	17,2	17,3	3,009	3,018	3,013	2,401	3458,0133	3,956
14/07/2014	12:00:00 AM	4,190	4,228	3,87E-002	3,87E+004	18	18,6	3,078	3,129	3,103	2,473	3561,342	10,878
21/07/2014	12:00:00 AM	4,197	4,252	5,47E-002	5,47E+004	18,5	18,9	3,120	3,154	3,137	2,500	3600,034	15,200

25/07/2014	12:00:00 AM	4,184	4,210	2,64E-002	2,64E+004	18,6	18,9	3,129	3,154	3,141	2,503	3604,855	7,3179
31/07/2014	12:00:00 AM	4,206	4,257	5,12E-002	5,12E+004	18,7	18,8	3,137	3,145	3,141	2,503	3604,881	14,209
06/08/2014	12:00:00 AM	4,204	4,244	4,05E-002	4,05E+004	18,8	18,4	3,145	3,112	3,129	2,493	3590,416	11,275
12/08/2014	12:00:00 AM	4,208	4,223	1,49E-002	1,49E+004	18,4	18,6	3,112	3,129	3,120	2,487	3580,812	4,153
18/08/2014	12:00:00 AM	4,214	4,273	5,98E-002	5,98E+004	17,3	18,8	3,018	3,145	3,082	2,456	3536,345	16,902
25/08/2014	12:00:00 AM	4,209	4,250	4,09E-002	4,09E+004	18,2	18,4	3,095	3,112	3,103	2,473	3561,448	11,481
30/08/2014	12:00:00 AM	4,210	4,265	5,56E-002	5,56E+004	19	19,3	3,162	3,187	3,175	2,530	3643,019	15,262
05/09/2014	12:00:00 AM	4,193	4,235	4,26E-002	4,26E+004	18,3	19,1	3,103	3,170	3,137	2,500	3599,880	11,828
11/09/2014	12:00:00 AM	4,182	4,250	6,83E-002	6,83E+004	18,1	19,1	3,086	3,170	3,128	2,493	3590,145	19,016
14/09/2014	12:00:00 AM	4,446	4,497	5,17E-002	5,17E+004	17,3	17,6	3,018	3,044	3,031	2,415	3477,926	14,874
20/09/2014	12:00:00 AM	4,439	4,866	4,27E-001	4,27E+005	17,1	17,9	3,000	3,069	3,035	2,419	3482,699	122,569
26/09/20	12:00:0	4,440	4,479	3,95E-002	3,95E+004	17,2	18	3,009	3,078	3,043	2,425	3492,615	11,321

14	0 AM												
09/10/2014	12:00:00 AM	4,185	4,247	6,16E-002	6,16E+004	18,7	19,7	3,137	3,220	3,178	2,533	3647,480	16,888
17/10/2014	12:00:00 AM	4,191	4,239	4,81E-002	4,81E+004	18,7	19,3	3,137	3,187	3,162	2,520	3628,670	13,256
23/10/2014	12:00:00 AM	4,189	4,238	4,84E-002	4,84E+004	19	19,1	3,162	3,170	3,166	2,523	3633,540	13,320
29/10/2014	12:00:00 AM	4,219	4,310	9,10E-002	9,10E+004	18,9	19,6	3,154	3,212	3,183	2,536	3652,374	24,9126
04/11/2014	12:00:00 AM	4,200	4,249	4,88E-002	4,88E+004	18,6	19,1	3,129	3,170	3,150	2,510	3614,383	13,504
10/11/2014	12:00:00 AM	4,212	4,252	3,91E-002	3,91E+004	18	18,8	3,078	3,145	3,112	2,480	3570,946	10,958
17/11/2014	12:00:00 AM	4,213	4,262	4,87E-002	4,87E+004	18,4	19,5	3,112	3,203	3,158	2,516	3623,635	13,451
Promedio concentración de PM_{10}													17,967
Valor máximo permisible para PM_{10} según la legislación Ecuatoriana TULSMA													100,000

Elaboración: Autor

Cuadro 4. Promedio de material particulado por meses

MES	PROMEDIO DE MATERIAL PARTICULADO PM $_{10}$ (µg/m^3)
Junio	15,487
Julio	12,619
Agosto	11,814
Septiembre	15,239
Octubre	66,945
Noviembre	17,094

Elaboración: Autor

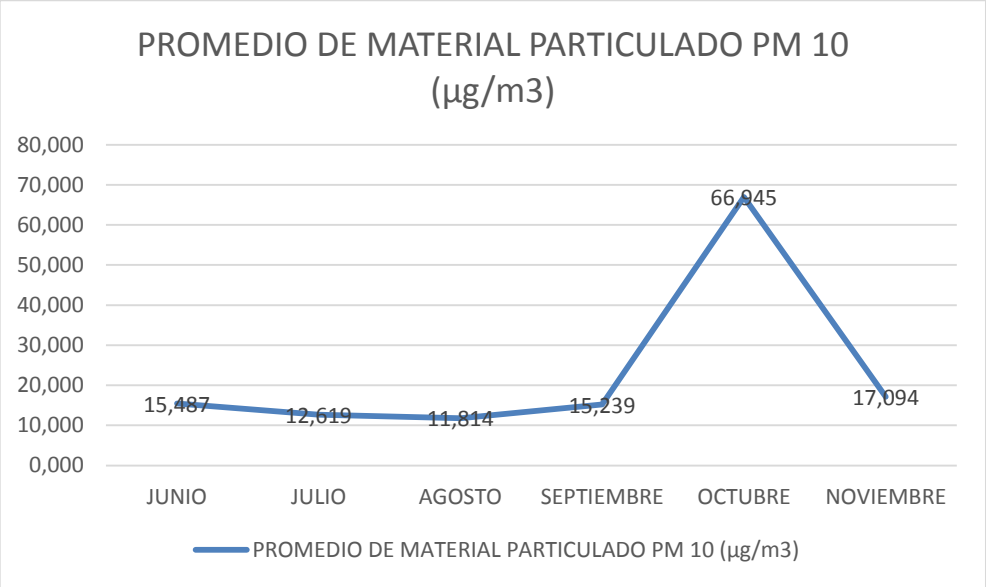


Figura 2. Promedio mensual de material particulado PM_{10} en núcleo urbano de la ciudad de Loja.
Elaboración: Autor

4.2 Plan de Monitoreo de Material Particulado PM_{10} en la Ciudad de Loja

4.2.1 Antecedentes

Investigaciones recientes relacionadas con el material particulado se han realizado en todo el mundo, donde se demuestran la presencia de material particulado en la atmósfera por causas naturales y antropogénicas, manifestando además la necesidad de adelantar estudios detallados relacionados con los efectos causados por la presencia de este contaminante, con el fin de implementar estrategias para el control del mismo (Arciniegas, 2011).

Con un correcto monitoreo y control del material particulado en ciudades donde la influencia vehicular, industrias entre otras actividades antropogénicas son un factor determinante para la presencia de material particulado, se obtienen logros en la gestión de la calidad del aire que subyacen a la mejora del bienestar económico y social en muchos países en desarrollo. Se ha comprobado que la gestión adecuada de la calidad del aire permite mejorar la salud pública, ya que la contaminación del aire está relacionada con el aumento de pacientes ambulatorios debido a enfermedades respiratorias y cardiovasculares y con el incremento de admisiones hospitalarias y de la mortalidad diaria (OMS, 2005).

Es por ello que en el Ecuador es necesario que se implementen estrategias para conservar la calidad de aire en ejecución en las ciudades como por ejemplo en Loja que tiene un incremento potencial de vehículos automotores en circulación (en el 2008 existían 20 000 vehículos mientras que en el 2013

resultó ser de alrededor de 38 462, según Agencia Nacional de Tránsito Loja 2014), lo cual representa la fuente principal de contaminación, es importante contar con un plan ambiental de calidad del aire, que cuente con políticas y estrategias encaminadas a la conservación del mismo y mejoramiento de la vida de los habitantes. Es por esa razón que se establecen los lineamientos necesarios para implementar un programa de monitoreo en donde además de realizar mediciones de la concentración de este contaminante, es necesario evaluar su comportamiento en el espacio y el tiempo, asociándolo con los fenómenos meteorológicos, composición química y origen, los cuales permitan orientar estrategias de control y realizar seguimiento por parte de las autoridades ambientales interesadas.

Con esto se busca mitigar algunos impactos ambientales tales como:

- Sancionar el incumplimiento de las normas ambientales vigentes.
- Mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes de las ciudades.

Política

- Prevenir, controlar y mitigar la contaminación del aire ambiente como aporte para el mejoramiento de la calidad de vida de la ciudadanía de Loja.

4.2.2 Objetivo General

Monitorear la calidad del aire ambiente en la ciudad de Loja, implementando estrategias para generar información confiable, comparable y representativa, para su aplicación en las estrategias nacionales para la protección de la salud de la población y del entorno.

4.2.3 Específicos

- Prevenir, controlar y mitigar la contaminación del aire por emisiones de material particulado.
- Formular un programa de monitoreo ambiental para determinar el nivel de contaminación por material particulado en la ciudad de Loja.
- Determinar concentraciones representativas de material particulado en áreas de alta densidad de población y circulación vehicular para evaluar el impacto en salud de la exposición de la población a los contaminantes atmosféricos.
- Evaluar el cumplimiento de la Legislación Ecuatoriana de Calidad Ambiental del Aire.
- Determinar la ubicación de las estaciones de monitoreo con fines de pronóstico.

4.2.4 Estructura del plan ambiental

El Plan propuesto tiene la estructura general para el manejo ambiental, el cual incorpora programas permanentes y programas especiales. Estos componentes privilegian el manejo de los aspectos que pueden generar impactos ambientales en el medio.

4.2.4.1 Programa de monitoreo y seguimiento de material particulado PM_{10} en la ciudad de Loja.

La formulación de un programa de monitoreo y seguimiento de material particulado en la ciudad de Loja tiene como finalidad la prevención

de riesgo y así evitar que aparezcan efectos desfavorables en la población o en el medio ambiente debido a eventuales situaciones de riesgo al medio ambiente identificadas en la predicción de posibles fuentes emisoras de material particulado y evaluación del impacto ambiental.

El programa de monitoreo establece los siguientes parámetros para su ejecución:

Requerimientos (humanos, equipos y materiales, económicos).

El programa está diseñado para englobar todos los requerimientos necesarios para implementar una red de monitoreo de material particulado en la ciudad de Loja.

- **Talento humano**

El talento humano es el recurso más importante para el funcionamiento de cualquier programa, es por ello que es necesario contar con personal calificado para llevar a cabo el mantenimiento preventivo y calibración de los equipos de monitoreo, como también personal que lleve a cabo el monitoreo y la interpretación de procesamiento de datos. Por lo que es importante que en el programa de monitoreo cuente con un ingeniero en sistemas y un grupo de ingenieros ambientales que coordine el trabajo de monitoreo.

- **Criterios para la determinación de ubicación de estaciones de monitoreo**

En el trabajo de tesis realizado por Vivanco (2015), sobre "Emisión de dióxido de carbono de vehículos automotores en la ciudad de Loja", en el cual se estudiaron las emisión de dióxido de carbono (CO_2) derivado del funcionamiento de los vehículos automotores en la ciudad de Loja, en el cual demuestra los sitios con mayor contaminación de gases y a su vez existe la presencia de material particulado se realizó una selección adecuada de la ubicación de los puntos estratégicos de monitoreo en la ciudad de Loja, con mayor porcentajes de contaminación con el fin de evaluar su influencia en la contaminación del aire.

Es por ello que se toma como referencia los puntos claves de monitoreo ya que según Martínez (2010), manifiesta que la naturaleza de las fuentes presentes en un área proporcionará una buena indicación de cuáles contaminantes monitorear. Sin embargo, dependerá de los objetivos centrales del monitoreo la elección de los contaminantes a monitorear. A continuación, se presenta en el Cuadro 5 los sitios a monitorearse en base a la fuente de contaminación:

Cuadro 5. Contaminantes a monitorear en función a las principales fuentes

FUENTE	CONTAMINANTE
Vehículos (tráfico intenso)	Dióxido de nitrógeno Monóxido de carbono Dióxido de carbono PM_{10} / $PM_{2.5}$
Domicilios / consumo de leña	PM_{10} / $PM_{2.5}$ Monóxido de carbono
Industrias y domésticas / consumo de carbón	PM_{10} / $PM_{2.5}$ Dióxido de azufre
Industrias / consumo de combustible residual	PM_{10} / $PM_{2.5}$ Dióxido de azufre
Pesqueras	Sulfuro de hidrógeno; PM
Fundición	Dióxido de azufre Cemento PM_{10} / $PM_{2.5}$
Generación eléctrica / consumo de carbón, residual y diésel	Dióxido de azufre PM_{10} / $PM_{2.5}$
Generación eléctrica / consumo de gas	Dióxido de nitrógeno

Fuente: Martínez, 2010.

Es así que de acuerdo a los resultados obtenidos de por Vivanco (2015), donde se monitoreo la cantidad de CO_2 se escogieron los sitios con mayores porcentajes de contaminación como se indica en el Cuadro 6:

Cuadro 6. Sitios con mayores porcentajes de contaminación atmosférica para la ubicación de estaciones de monitoreo

SECTORES DE LA CIUDAD DE LOJA IDENTIFICADAS CON MAYOR PORCENTAJE DE CONTAMINACIÓN	Tebaida Alta y Baja
	Centro de la Ciudad (Lourdes entre 24 de mayo hasta Bolívar, Juan José Peña, Ramón Pinto.)
	Avenida Cuxibamba
	Ciudadela del Maestro Primera Etapa
	Sector Terminal Terrestre
	Redondel De La Pitas
	Redondel La Argelia
	Avenida Occidental
	Avenida Universitaria
	Avenida Manuel Agustín Aguirre

Elaboración: Autor

Además existe otro estudio realizado por Paladines (2013), sobre la vulnerabilidad a nivel municipal del Cantón Loja donde concuerda con la mayoría de estos sitios como de mayor contaminación atmosférica presentan.

Por otro lado para seleccionar los lugares más apropiados de acuerdo a los objetivos propuestos del monitoreo, es necesario tomar en consideración factores generales como la información relativa a la ubicación de fuentes de emisiones, a la variabilidad geográfica o distribución espacial de las concentraciones del contaminante, condiciones meteorológicas y densidad de la población.

- **Criterios para la ubicación de monitores**

De acuerdo con los sitios que ya se tienen seleccionados, la localización de los muestreadores deberán ser seleccionados de acuerdo con la influencia de las fuentes de emisión de material particulado (condiciones viento abajo,

viento arriba), la topografía del sitio, las condiciones meteorológicas puntuales y el tiempo de permanencia en el aire del material particulado. Es por ello que según Golato, *et al.* (2012), manifiesta que se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

Altura de los monitores: Lo más aconsejable para la ubicación de un muestreador de partículas totales en suspensión es aquel que coincide con la zona de respiración media de los seres humanos (1.50 m). Sin embargo, para evitar el vandalismo y proteger los equipos de otras posibles agresiones, se deberá colocar el equipo muestreador en forma elevada, sobre una estructura que le sirva de soporte como terrazas, azoteas, balcones, etc.

Distancia respecto a obstáculos: El equipo de monitoreo deberá ser instalado sobre un techo o estructura similar, el cual será separado por lo menos 1.5 metros de paredes, cornisas o similares. Además, ningún tipo de flujo proveniente de chimeneas o incineradores debe estar próximo. Además en ningún caso, es aconsejable la ubicación de muestreadores en vías sin pavimentar. Así mismo, teniendo en cuenta que las partículas suspendidas también se depositan sobre las hojas de los árboles, los monitores deberán instalarse a por lo menos veinte metros de distancia de éstos.

- **Métodos de medición de concentraciones de material particulado PM_{10}.**

Existen muchos métodos validados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (2005), los cuales se pueden dividir en cuatro tipos genéricos principales con diferentes costos y niveles de desempeño e incluyen a los

muestreadores pasivos, muestreadores activos, analizadores automáticos y sensores remotos. Todos estos cuentan con ventajas y desventajas pero los más utilizados en redes de monitoreo brindando datos confiables son los muestreadores activos.

Estos muestreadores recolectan las muestras de contaminantes por medios físicos o químicos para su posterior análisis en el laboratorio. Por lo general, se bombea un volumen conocido de aire a través de un colector –como un filtro (muestreador activo manual) o una solución química (muestreador activo automático)- durante un determinado periodo y luego se retira para el análisis. Hay una larga historia de mediciones con muestreadores en muchas partes del mundo, lo que provee datos valiosos de línea de base para análisis de tendencias y comparaciones (Ulriksen, 2005).

- **Carteristas del equipo de monitoreo**

Para realizar los monitoreos se realizará utilizando el equipo avalado Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), en el cual se exponen que es necesario un equipo de muestreo de alto caudal y otras especificaciones que las cumple el equipo HI-VOL muestreador de material particulado (para medición de MP_{10}) (Figura 3).

Este equipo de alto volumen (Hi-Vol), el cual consta básicamente de una bomba de succión, un portafiltros, un registrador de flujo (o indicador de flujo) y un programador de tiempo de muestreo, todo esto se halla cubierto con una coraza de protección. Dependiendo del tamaño de partícula que se desee muestrear el diseño físico del equipo se basa en principios

aerodinámicos que permitan la recolección de ese tamaño de partículas en particular. El diseño del equipo permite que las partículas de diámetro menor o igual a 10 µm sigan las líneas de la corriente de flujo de aire dirigiéndose a los tubos inyectores, mientras las partículas de mayor tamaño, con suficiente inercia, se salen de las líneas de flujo impactándose contra el plato. Cuando se opera en éste rango de flujo, las muestras pueden ser colectadas por períodos de 24 horas. La concentración de la masa de las partículas suspendidas se calcula por medio de la diferencia en pesos del filtro antes y después del muestreo y del total del flujo de aire muestreado (Valledupar, 2005).

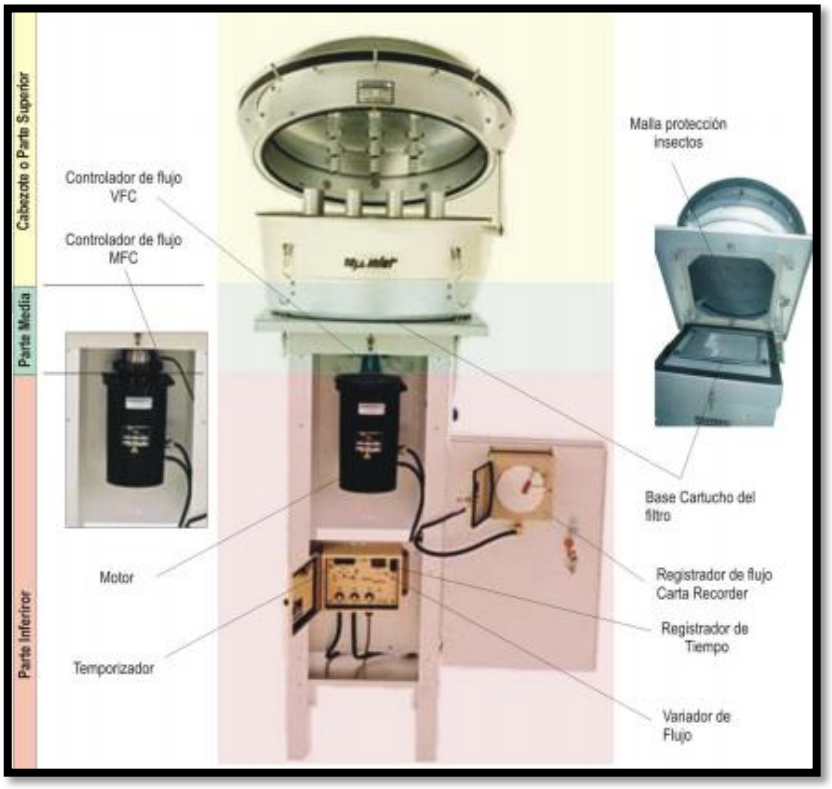


Figura 3. Equipo HI-VOL muestreador de material particulado (para medición de MP_{10}).
Fuente: Valledupar, 2005.

- **Calibración del equipo**

La calibración y mantenimiento del equipo es importante para obtener resultados confiables. La preparación del equipo se deberán realizar según las especificación que realice el fabricante del mismo, siguiendo también las correspondientes variantes según las condiciones meteorológicas de la cuidad de Loja.

Además se deberán tomar en cuenta especificaciones como el voltaje del equipo, una correcta programación del tiempo y parámetros a monitorear.

- **Preparación de los filtros y equipos adicionales**

Los filtros a utilizar en el monitoreo vienen estandarizados en el equipo, los cuales se deben preparar con anticipación, además se deben acondicionar a los filtros colocándolos en un desecador mínimo por 24 horas antes del muestreo con el fin de retirar la humedad y finalmente se pesa (Pérez, *et al*. 2006).

Los filtros se deben ajustar del portafiltros del equipo y en su adecuada ubicación sobre la sección correspondiente. El portafiltro se tendrá que sellar apretando los tornillos de sujeción con el fin de evitar escapes de aire. Luego de las 24 horas de muestreo, se retira el filtro, se toma la presión final y se debe tener especial cuidado en no tocar áreas expuestas del filtro y en su movilización hasta el sitio de análisis en el laboratorio, en donde se debe acondicionar en un desecador previamente a su pesaje y proceso de extracción.

Por otro lado depende de los objetivos del monitoreo para establecer el material de los filtros, debido a que para poder realizar posteriores análisis químicos estos deberán ser de fibra de cuarzo; y si solo se quiere realizar el monitoreo para calcular la concentración de material particulado el material de los filtros puede ser de celulosa ultrapura.

Además es necesario para un correcto monitoreo contar con los siguientes equipos adicionales como: Balanza analítica, sobres de manila para la disposición de los filtros y pinzas.

- **Tiempo y frecuencia de monitoreo**

Como lo indica la normativa de regulación de los niveles de concentración de material particulado en el anexo 4, Libro VI del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), el equipo de monitoreo deberá ser ubicado en los sitios designados con tres repeticiones en cada uno de los puntos en donde se procederá a monitorear por 24 horas, con la finalidad de obtener resultados promedios durante una exposición de todo un día.

Este monitoreo tendrá que ser anual para determinar las variaciones estacionales y los promedios anuales, con el fin de lograr datos confiables y que se realicen monitoreos con resolución horaria únicamente cuando existan condiciones de episodios de contaminación.

Es por ello que el monitoreo se tendrá que realizar en cada uno de los puntos identificados considerando el día y hora que se realizaran los

monitoreos, con la finalidad de llevar una cronología y no variar los datos obtenidos en los monitoreos.

- **Sistema de recolección de datos**

Los datos generados en los monitores de material particulado tendrán que ser almacenados continuamente para lo cual existen diversos sistemas y software comerciales. Se recomienda elegir un sistema que permita almacenar además de los datos, parámetros de funcionamiento de los equipos y valores de calibraciones para las posteriores correcciones y validaciones de datos (Pérez, *et al.* 2006).

- **Cronograma y presupuesto**

Los requerimientos de presupuestos para programas de monitoreo de aire se establecerán por el tipo de información de monitoreo requerido. Otros factores que pueden tomarse en consideración son la duración del programa, el número de estaciones de monitoreo y cómo se provee este servicio. Por lo tanto, el presupuesto deberá considerar los costos del estudio para la implementación de la red de monitoreo, equipos, costos de calibración y repuestos, honorarios del personal, programas de capacitación, transferencia y manejo de información, los mismos que están especificados en Cuadro 7 y 8.

Cuadro 7. Cronograma de trabajo para el monitoreo de material particulado PM_{10} en la ciudad de Loja.

ACTIVIDADES	TIEMPO/MESES													
	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Adquisición de equipo de monitoreo	x													
Adquisición de equipos extras (Balanza analítica, guantes, pinzas, filtros).	x													
Estudio de los sitios de monitoreo		x												
Preparación previa de los filtros		x												
Monitoreo del material particulado PM_{10} Y $PM_{2,5}$			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Mantenimiento y calibración del equipo de monitoreo			x											

Cuadro 8. Presupuesto para el monitoreo de material particulado PM_{10} en la ciudad de Loja

RUBROS		CANTIDAD	UNIDAD	VALOR/ UNITARIO O COSTO MENSUAL	SUBTOTAL
TALENTO HUMANO	**Ingeniero en sistemas**	1	Salario	1200.00	14 400.00
	Ingenieros ambientales	3	Salario	3600.00	43 200.00
	Técnico	1	Salario	450.00	450.00
Movilización (Combustible)		337.84	Galones	41.66	500.00
Equipo de alto volumen (Hi-Vol),		2	Equipo	15.000.00	30 000.00
Caja de filtros de medición		3	Filtro	180.00	540.00
Mantenimiento y Calibración		2	Repuestos	200.00	400,00
TOTAL					89 490.00

- **Propuesta de Modelación de PM_{10}**

Modelo físico-matemático para el cálculo de la dispersión de polvo de carbón en la atmósfera: Los modelos de dispersión permiten calcular la concentración de contaminantes a nivel del suelo y a diversas distancias de la fuente, sirven para predecir como los contaminantes se dispersan en la atmósfera, determinar zonas de influencia de los mismos y puntos donde debe realizarse su monitoreo. Para aplicar el modelo del transporte y dispersión de contaminantes del aire es necesario recopilar información del punto de

emisión (altura, contaminante emitido etc.) y de los factores meteorológicos (Rodríguez, *et al*. 2012).

- **Monitoreo meteorológico**

Es altamente recomendable que el monitoreo de la calidad del aire esté acompañado por un apropiado monitoreo meteorológico, considerando que el clima tiene una fuerte influencia en la dispersión y concentración de los contaminantes. En algunos casos, los datos de una estación de monitoreo meteorológico cercana pueden estar disponibles, pero en otros casos las mediciones son colectadas en el mismo sitio de monitoreo de la calidad del aire. La USEPA ha desarrollado un grupo muy detallado de guías para el monitoreo meteorológico. La dirección del viento, por convención, es la dirección que sopla desde un punto y que es reportado con referencia al norte verdadero (no al norte magnético). La dirección del viento es frecuentemente reportada en diferentes unidades. La unidad preferente para reportar son los metros por segundo (m/s).

5. DISCUSIÓN

A continuación se describen las discusiones obtenidas, de acuerdo a los objetivos planteados en la presentación investigación:

5.1 Análisis de los Niveles de Concentración de Material Particulado PM_{10} en Aire Ambiente del Núcleo Urbano de la Ciudad de Loja.

Durante el periodo de monitoreo realizado de material particulado de PM_{10} comprendido entre los meses de junio a noviembre no sobrepasaron el limite permisible establecido en la actual normativa ambiental especificada en el Texto Unificado de Legislación Secundaria Ambiental (TULSMA), Registro Oficial Nro. 464 del martes 7 de junio del 2011, en el cual establece que el promedio aritmético del monitoreo en 24 horas debe ser de cien microgramos por metro cubico (100 $\mu g/m^3$), cabe una excepción en donde se registra en el mes de octubre una concentración de material particulado que sobrepasa el limite permisible de 122, 57 $\mu g/m^3$, que se le podría atribuir a un error en la medición del equipo debido a un cambio de voltaje a los que pudo ser sometido ya que sale del rango de las concentraciones que se obtuvieron en el monitoreo.

Si bien es cierto en el núcleo urbano de la ciudad de Loja la mayoría de vehículos que circulan por ahí son livianos y la carencia de industrias hace posible que se mantengan los niveles de material particulado bajos permitiendo que la calidad del aire- ambiente sea relativamente buena debido a que los datos obtenidos se encuentran distantes del límite máximo establecido en la normativa ambiental ecuatoriana.

Es dificultoso relacionar los resultados de esta investigación con otros realizados en el Ecuador, debido al poco interés que tiene este tema; tan solo se han reportado estudios en las principales ciudades de Quito, Guayaquil y Cuenca; En la ciudad de Quito, en los años 2005 y 2006, el PM_{10} fue uno de los contaminantes que tuvo el 75 % de excedencias respecto a la norma ecuatoriana (Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito); los resultados de la medición de concentración de PM_{10} realizados por Angulo en el año 2008 en el sector de Trinitaria, Guayaquil, no sobrepasan el límite máximo de concentración de PM_{10} para una exposición de 24 horas y para una exposición de un año, en donde se puede concluir que las condiciones urbanísticas y geográficas de la ciudad facilitan la dispersión de contaminantes debido a la inexistencia de zonas o puntos muertos donde se acumulan y confinan dichos contaminantes.

En la ciudad de Cuenca, el estudio de PM_{10} realizado por el Centro de Estudios Ambientales (CEA), desde noviembre de 2008 hasta agosto de 2009, demuestra que su concentración es de 36,7 $\mu g/m^3$, se encuentra por debajo de los límites permitidos, pero en estudios similares como el realizado por Vivar (2014), sobre cuantificación del material particulado PM_{10} en el aire de la ciudad de Azogues, concluyó que es un riesgo para la población debido a que el valor diario que se registró durante seis meses de monitoreo fue de 70,3 ug/m^3, valor que no sobrepasa la normativa ecuatoriana pero si la establecida por la Organización Mundial de la Salud (OMS), que es de 50 $\mu g/m^3$, media de 24 horas.

Lo anteriormente citado hace una diferencia con los resultados obtenidos con respecto al material particulado PM_{10}, ya que de acuerdo con el monitoreo realizada en esta investigación con una duración de seis meses no sobrepaso los límites permisibles estipulados en la normativa ambiental en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente.

5.2 Formulación del Plan de Monitoreo de Material Particulado PM_{10} en la Ciudad de Loja.

La presencia en la atmósfera de material particulado PM_{10}, se ha convertido en un problema mundial debido a que se lo relaciona de manera directa con el deterioro de la salud publica además de otros impactos el hombre y el medio ambiente, por lo que es necesario, además de realizar mediciones de la concentración de este contaminante, evaluar su comportamiento en el espacio y el tiempo, asociándolo con los fenómenos meteorológicos, composición química y origen, los cuales permitan orientar estrategias de control y realizar seguimiento por parte de las autoridades ambientales interesadas.

Es por ello de la importancia de implementar propuestas que incluyan planes para la prevención, mitigación y control de este contaminante ya que en una serie de investigaciones realizadas a nivel de América y Europa se han demostrado que los registros históricos del comportamiento de los parámetros ambientales que recopila series estadísticas permiten definir la respuesta de la calidad atmosférica en los sitios de muestreo con frecuencias y tiempos de muestreo determinados.

En el Ecuador se puede observar que no existe una institucionalidad fortalecida para la gestión de la calidad del aire a nivel nacional, a pesar de las normativas y políticas existentes, siendo un problema en crecimiento debido a que la contaminación atmosférica urbana en el Ecuador es generada principalmente por la flota vehicular, mayor responsable de las emisiones de los principales contaminantes del aire y por lo tanto de enfermedades respiratorias en la población. Los logros obtenidos hasta la actualidad han sido fruto de esfuerzos de los gobiernos locales y organismos no gubernamentales, para implementar mecanismos de gestión de este recurso.

Pese a que en Ley de Gestión Ambiental y en la legislación ambiental complementaria, estableciendo la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire Ambiente (MAE, 2003), con el "objetivo principal de preservar la salud de las personas, la calidad del aire ambiente, el bienestar de los ecosistemas y del ambiente en general", que contiene un conjunto de disposiciones obligatorias en todo el territorio nacional, entre las que se explícitamente se señala que las entidades ambientales de control, es decir los municipios en el caso de las ciudades, deben medir la concentración de los contaminantes del aire a nivel del suelo y, en el caso de que se excedan los límites máximos permitidos, establecer las acciones necesarias para prevenir y controlar la contaminación, existe la poca o nula intervención del municipio de Loja por establecer una red de monitoreo de material particulado PM_{10} y de otros contaminantes en la ciudad.

Por lo que la presente investigación tiene como finalidad emprender iniciativas para obtener un plan de monitoreo de material particulado y sea una base que permita mejorar la gestión de la calidad del aire y extenderse a otra gama de contaminantes atmosféricos.

Es por ello que siguiendo el ejemplo de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ), es la única ciudad en el país que posee una red automatizada de monitoreo atmosférico. Esta red cuenta con nueve estaciones remotas de monitoreo que miden la concentración de los contaminantes comunes del aire (monóxido de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, ozono y material particulado); 6 estaciones meteorológicas, un centro de control para el archivo y procesamiento de la información y equipos de laboratorio para análisis. La importancia de esta red de monitoreo de la calidad del aire ha permitido que se obtengan mediciones muy precisas de la concentración de los principales contaminantes atmosféricos, facilitando realizar análisis de emisiones diarios, semanales, mensuales y anuales.

A pesar de ser un aporte y servir de referencia sobre el estado de la calidad del aire, los estudios mencionados presentan limitaciones metodológicas, dadas principalmente por los cortos períodos de monitoreo, que dificultan la generación de datos constantes en el tiempo para poder validar el nivel real de contaminación.

En definitiva, ni los municipios asumen su responsabilidad, ni la autoridad ambiental máxima, el Ministerio del Ambiente, tiene posibilidades de exigir el cumplimiento debido a la poca asistencia técnica y el apoyo financiero.

Por lo expuesto se formuló una metodología guía con el fin de lograr los objetivos de una buena gestión de la calidad del aire.

6. CONCLUSIONES

- Las concentraciones de material particulado PM_{10} realizadas en los meses de junio a noviembre, la mayoría no sobrepasan los límites permisibles de 100 µg/m^3 establecidos en la legislación ecuatoriana, aunque cabe destacar que existe una concentración de material particulado en el mes de octubre de 122, 57 µg/m^3, que sobrepasa mencionado limite y se sale del rango de las demás mediciones, por lo que se atribuye a un error de medición.
- El núcleo urbano de la ciudad de Loja en el cual se llevó a cabo el monitoreo de material particulado PM_{10} no es un lugar representativo de la contaminación de atmosférica debido al poco tráfico de vehículos pesados, topografía del suelo y la carencia de industrias.
- El monitoreo realizado en el núcleo urbano de la ciudad de Loja por el lapso de 6 meses, ha generado una importante base de datos de las concentraciones de PM_{10}, como también un conjunto de muestras que servirán de ayuda a futuras investigaciones en este campo, como puede ser la caracterización química del mismo y de esta manera poder identificar de mejor maneras sus fuentes.
- Las consecuencias relacionadas con la presencia de altos niveles de material particulado en la atmósfera, están altamente relacionadas con enfermedades cardiorrespiratorias en el hombre, deterioro de materiales y otros efectos. De su estudio depende identificar el aporte de las fuentes reales que deterioran la calidad de vida del hombre y su entorno.
- Por otra parte, se hace necesaria la innovación e implementación de tecnologías de equipos para el control de las partículas emitidas a la

atmósfera por el sector productivo, así como el compromiso del sector industrial enmarcados en procesos de mejora continua.

7. RECOMENDACIONES

- La investigación se limitó a la cuantificación de PM_{10} por lapso de seis meses, por lo que se recomienda continuarlos por un tiempo más prolongado y complementarlos con estudios de $PM_{2,5}$ y su caracterización para determinar su composición y establecer las fuentes principales que lo provocan, así como para pronosticar las potenciales enfermedades que se derivarían de dicha contaminación.
- Las malas condiciones en el mantenimiento y calibración del equipo de monitoreo con el que cuenta la Universidad Nacional de Loja limitan a los estudiantes a realizar una investigación más compleja sobre el material particulado impidiendo abarcar verdaderos puntos de concentración de contaminantes de este tipo.
- Crear las condiciones técnicas necesarias para la vigilancia sistemática del polvo sedimentable y gases de combustión por constituir un indicador indirecto de contaminación del aire.
- Desarrollar un estudio de factibilidad económica para la inversión del sistema de captación de polvos y/o depuración de gases.
- Implementar un Sistema de Gestión Ambiental en la organización para el control sistemático de su desempeño ambiental.
- Se debe dar a conocer a las autoridades y a la población general de la ciudad de Loja, los peligros con respecto a los contaminantes que se están emitiendo a partir de las fuentes fijas, móviles y de área, estableciendo un control apropiado para evitar contrariedades en la salud.

- Lo mencionado contribuirá por un lado al mejoramiento de la calidad de vida de la población, y por otro, reducirán los gases de efecto invernadero, contribuyendo a mitigar el calentamiento global. Se recomienda que éstas medidas se tomen en el menor plazo posible, ya que varios contaminantes podrían provocar efectos irreversibles en la salud.

8. BIBLIOGRAFÍA

Libros

- Bell, M; Samet, J. 2005. Air Pollution. En: Frumkin, H. Environmental Health: From Globalto Local. 1° Edition. San Francisco. EU. p. 331-361.
- Ríos, G. 2007. Estudio del transporte de material particulado PM_{10} a través de la frontera Imperial Valley/Mexicali. (en línea). Consultado el 15. Agos. 2015. Disponible en: http://www10.ava.es/.
- Rodríguez, J; Trotman, J; Fernández, M; Mena, M. 2012. Contaminación atmosférica resultante del proceso productivo en el Centro de Investigaciones Siderúrgicas. (en línea). Consultado 5 May. 2015. Disponible en: http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar23/HTML/articulo05.htm.
- TULSMA (Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente). 2002. Libro VI. Anexo 4. Normativa para la calidad del aire ambiente. Pg. 35.

Páginas web

- Agencia Nacional de tránsito Loja. 2014. Estadística de matriculación 2013. (en línea). Loja, EC. Consultado 12 de jun. 2015. Disponible en http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=13&ved=0CCoQFjACOAo&url=http%3A%2F%2Fwww.ecuadorencifras.gob.ec%2Fdocumentos%2Fweb-inec%2FEstadisticas_Economicas.

- CEA (Centro de Estudios Ambientales). 2009. Evaluación del riesgo de exposición a sustancias toxicas procedentes de la contaminación atmosférica en la ciudad de Cuenca. (en línea). Consultado 12 de jun. 2015. Disponible en file:///C:/Users/Usuario/Downloads/adj%205.pdf.
- CINFA (Centro Integrado de Geomática Ambiental). 2014. Departamento de geomática ambiental. Loja. EC.
- Dirección Meteorología de Chile, 2010. Contaminación Atmosférica en Chile. (en línea). Consultado 12 de jun. 2015. Disponible en: http://www.meteochile.cl/nino_nina/nino_nina_descripcion_nino.html
- EPA (Agencia de protección Ambiental). 2010. Centro de Información sobre Contaminación de Aire (CICA) para la frontera entre EE. UU– México. (en línea). Consultado 31 Mar. 2014. Disponible en http://www.epa.gov/espanol/aire.html.
- Grantz, D; Garner, J; Johnson, D. 2003. Ecological effect of particulate matter. Environment International. (en línea). Consultado 01 abr. 2014. Disponible en https://www.princeton.edu.
- Instituto Nacional de Ecología. 2010. Material particulado. México, D.F. (en línea). Consultado 31 Mar. 2014. Disponible en http://www.ine.gob.mx/.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2001. Resumen para Responsables de Políticas. (en línea). Consultado 12 de jun. 2015. Disponible en: https://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-2001/synthesis-spm/synthesis-spm-es.pdf.

- Jorquera, H; 2007. Apuntes de contaminación atmosférica. Santiago: UC. (en línea). Consultado 31 Mar. 2014. Disponible en: http://repositorio.cepal.org/handle/11362/18768.
- Kulmala, M; Hameri, K; Aalto, P; Makela, J. 2001. Overview of the international Project on biogenic aerosol formation in the boreal forest (BIOFOR). (en línea). Consultado 31 Mar. 2014. Disponible en: file:///C:/Users/Usuario/Downloads/16601-47967-1-SM.pdf.
- Martínez, A. 2010. Introducción al Monitoreo Atmosférico. ECO. (en línea). Consultado 10 May. 2014. Disponible en: http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma_consulta/protocolo_calidad_de_aire.pdf.
- MAVDT (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial). 2010. Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. Manual de diseño de sistemas de vigilancia de la calidad del aire. Bogotá, Col. (en línea). Consultado 10 May. 2014. Disponible en: https://www.minambiente.gov.co/.
- MMA (Ministerio Del Medio Ambiente de Chile), 2011. Análisis general de impacto económico y social del anteproyecto de revisión de la norma de emisión de NO, HC y CO para el control del NOx en vehículos en uso, de encendido por chispa (AGIES). Santiago, Chile. (en línea). Consultado 10 May. 2014. Disponible en:
- Moragues, J. 2001. Manual de tecnologías de medición de concentración de gases y material particulado en chimeneas y atmósfera. (en línea). Consultado 10 May. 2014. Disponible en:

http://www2.medioambiente.gov.ar/documentos/prodia/contaminacion/manual01.pdf

- OMS (Organización Mundial de la Salud). 2005. Guías para la calidad del aire. Ginebra: OMS. OPS/CEPIS/PUB/04.110. (en línea). Consultado 25 May. 2015. Disponible en: http://www.cepis.opsoms.org/bvsci/fulltext/guiasaire.pdf.
- Paladines, S. 2013. Vulnerabilidad a Nivel Municipal del Cantón Loja. 2013. (en línea). Consultado el 15. Agos. 2014. Disponible en:epositorio.cedia.org.ec/bitstream/123456789/851/1/Perfil%20territorial%20LOJA.pdf.
- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente), Municipalidad de Loja y NCI (Naturaleza y Cultura Internacional). 2007. Perspectivas del Medio Ambiente Urbano. Geoloja. Loja, EC. 81 p.
- Pope, C.A; Dockery, D.W., 2006. Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. A Journal of the Air & Waste Management Association 56, 709–742. (en línea). Consultado 25 May. 2015. Disponible en: http://www.environmental-expert.com/Files%5C6477%5Carticles%5C6906%5C1152006criticalreview.pdf.
- Querol, X; Alastuey, S; Rodríguez, F; Plana, E; Mantilla y C. Ruiz. 2001. Monitoring of PM_{10} and $PM_{2.5}$ around primary particulate anthropogenic emission sources, Atmospheric Environment. (en línea). Consultado 25 May. 2015. Disponible en: http://adsabs.harvard.edu/abs/2001AtmEn..35..845Q.

- REMMAQ (Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito, EC). 2006. EL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN QUITO. (en línea). Quito, EC. Consultado 12 de jun. 2015. Disponible en http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/fulltext/airequito.pdf.
- Rodríguez, V. 2006. Material Particulado Atmosférico. (en línea). Consultado 5 May. 2015. Disponible en: http://digital.csic.es/bitstream/10261/27476/2/Viana_Rodriguez_2.pdf.
- Sbarato, V; Sbarato, D; Basan, R; Manzo, P; Ortega, J; Campos, M; Salort, M. 2010. Análisis y Caracterización del Material Particulado Atmosférico Ciudad de Córdoba, Argentina. (en linea). Consultado 5 May. 2015. Disponible en: http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/unc/paper24.pdf.
- Schaap, M; Van Der Gon, H; Dentener, F.J; Visschedijk, A; Van Loon, M; Ten Brink, H; Putaud, J; Guillaume, B; Liousse, C; Builtjes, P. 2004. Antropogénico de carbono negro y distribución de aerosol fino sobre Europa. Journal of Geophysical Research 109: doi: 10.1029 / 2003JD004330. ISSN: 0.148 a 0.227. (en línea). Consultado 5 May. 2015. Disponible en: http://earthref.org/ERR/83397/
- Silva, V. 2010. Contaminación del Aire por Material Particulado (PM10 Y PM 2.5). (en línea). Consultado el 15. Agos. 2014. Disponible en: http://tallerdearquitecturamexicana.com/.
- Silva, V. 2012. Contaminación del aire por material particulado (PM10 Y PM 2.5). (en línea). Consultado 31 Mar. 2014. Disponible en http://tallerdearquitecturamexicana.com/.

- UE (Unión Europea). 2005. Clasificación del material particulado. (en línea). Consultado el 15. Agos. 2014. Disponible en: http://www.juntadeandalucia.es/.
- Ulriksen, P. 2005. Mediciones de material particulado atmosférico. (en línea). Consultado el 15. Agos. 2014. Disponible en: https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CB0QFjAA&url=https%3A%2F%2Fwww.ucursos.cl%2Fdiplomados%2F2005%2F1%2FDMA28%2F1%2Fmaterial_docente%2Fbajar%3Fid_material%3D61620&ei=CF2VVfb9L4TcsAXaiazgDQ&usg=AFQjCNFSHGwj2iojXrNx0yKgDlsSOacmdw&bvm=bv.96952980,d.b2w.
- Valledupar, s. 2005. Convenio de cooperación interinstitucional para la operación de la red de monitoreo de calidad del aire de la zona carbonífera de Cesar. (en línea). Consultado el 15. Agos. 2014. Disponible en:http://sevca-zcc.dyndns.info/ambiensQ/ambiensqamt/pdf/YW10XzM=_33fae4aa59070707informemensualjunio2007.pdf.

Tesis

- Aldabe, J. 2011. Caracterización Físico- Química del material particulado en la comunidad foral de Navarra. Tesis de Doctor en Ciencias. Pamplona, ES. Universidad de Navarra. P. 55, 76, 100. Disponible en http:// www.conama2012.conama.org/.

- Angulo, R. 2008. Medición y Evaluación de la calidad del aire en los sectores de Fertisa y Trinitaria de la ciudad de Guayaquil debido a la presencia de material particulado menor a 10 y 2.5 um. Tesis de Ing. Mecánico. Guayaquil, EC. Escuela Superior Politécnica Del Litoral. P. 175.
- Cantor, Y. 2013. Caracterización de Contaminantes Atmosféricos. Tesis de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional Abierta y a Distancia Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente. Bogotá. Col. Disponible en: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358007/Modulo_Caracterizacion_de_Contaminantes_Atmosfericos.pdf.
- García, F. 2002. Determinación de la Concentración de Fondo y Distribución Espacial de PST en Santa Marta. Grupo de Control de la Contaminación Ambiental. Tesis de Ingeniero Ambiental. Universidad del Magdalena, Col. Disponible en: http://www.scielo.org.co/pdf/rfnsp/v24n2/v24n2a08.pdf
- Martin, P. 2005. Contaminación del aire por material particulado en la Ciudad de Buenos Aires. Tesis de magíster en toxicología industrial y ambiental. Buenos Aires, Arg. Universidad de Buenos Aires. Disponible en: http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_3931_Martin.pdf
- Pérez, L; Hernández, L. 2006. Determinación De Metales Pesados En Partículas Respirables E Identificación De Fuentes De Emisión, A Partir De Un Muestreo Atmosférico En La Localidad De Puente Aranda En La Ciudad De Bogotá. Tesis de Ingeniera Ambiental y Sanitaria. Universidad

De La Salle Facultad De Ingeniería Ambiental Y Sanitaria Pregrado En Ingeniería Ambiental Bogotá D.C. Disponible en: http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14803/00798274.pdf?sequence=1.

- Vivanco, S. 2015. Emisión de dióxido de carbono de vehículos automotores en la ciudad de Loja. Tesis en Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente. Loja, EC. Universidad Nacional de Loja. P. 56,78, 80.
- Vivar, E. 2014. Cuantificación del material particulado PM_{10} y su efecto toxicológico- ambiental, en la ciudad de Azogues. Tesis de magíster en toxicología industrial y ambiental. Universidad de Cuenca. Disponible en:http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/20939/1/TESIS.pdf

Revistas

- Arciniegas, C. 2011. Diagnóstico y Control de Material Particulado: Partículas Suspendidas Totales y Fracción Respirable PM10. (en línea). Revista Luna Azul. Consultado 31 Mar. 2014. Disponible en http://200.21.104.25/lunazul/downloads/Lunazul34_12.pdf.
- Bogo, H; Otero, P; Castro, M; Ozafrán, A; Kreiner, E; 2003. Study of atmospheric particulate matter in Buenos Aires city. Atmospheric Environment (en línea). Revista Cielo. Vol. 18(3), 49-58. Consultado el 15. Agos. Disponible en http://www.scielo.cl/pdf/infotec/v18n3/art07.pdf
- Cárdenas, H. 2010. Consideraciones del material particulado en Bogotá. Alternativas tecnológicas de medición de la calidad del aire. (en línea).

Red de Revista Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. Consultado 31 Mar. 2014. Disponible en http://www.redalyc.org/

- Díaz, V; Páez C. 2006. Contaminación por material particulado en Quito y caracterización química de las muestras. (en línea). Revista Acta Nova. Vol. 3.Nro 2. Consultado 31 Mar. 2014. Disponible en http://www.ucbcba.edu.bo/.
- García Lozada, H. 2007. Evaluación del Riesgo por Emisiones de Partículas en Fuentes Estacionarias de Combustión; Estudio De Caso: Bogotá. (en línea). Revista Acta Nova. Consultado 31 Mar. 2014. Disponible en: http://www.tdx.cat/.
- Golato, M; Morales, W; Méndez, H; Feijóo, E; Paz, N. 2012. Monitoreo de emisiones de material particulado de chimeneas de generadores de vapor de la industria azucarera en Tucumán, R. Argentina. (en línea). Revista Cielo. Consultado 31 Mar. 2014. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-01820120001000002.

9. APÉNDICE

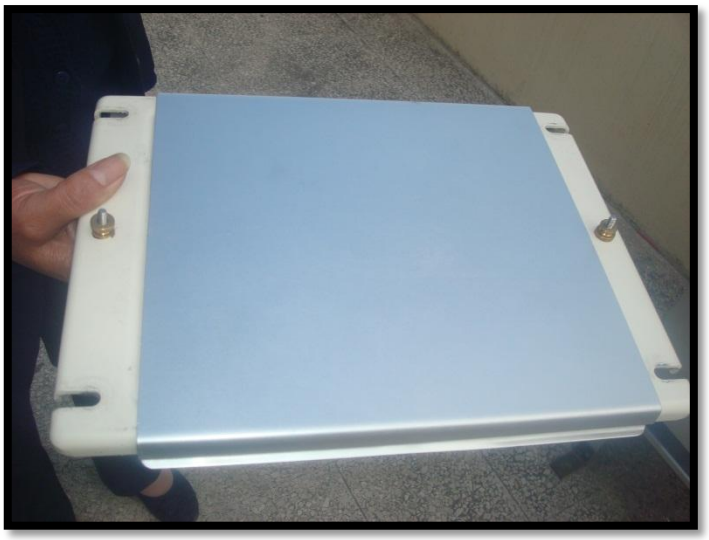
Anexo 1.- Localización del equipo de muestreo cumpliendo especificaciones de la EPA.

Anexo 2.- Filtros de fibra de celulosa ultrapura de dimensiones 30x40 cm.

Anexo 3.- Balanza analítica para el pesaje de los filtros antes y después del monitoreo.

Anexo 4.- Determinación del peso de filtros antes y después

Anexo 5.- Lectura de datos en la balanza analítica.

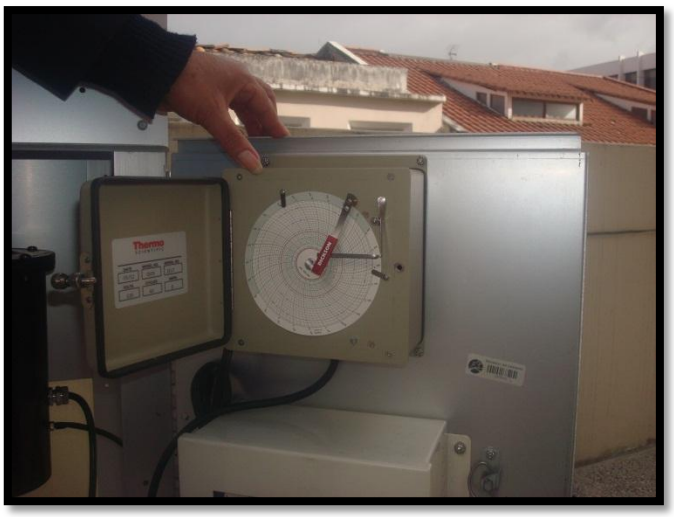


Anexo 6.- Porta-filtros

Anexo 7.- Determinación de la presión inicial y la caída de presión final

Anexo 8.- Toma de datos de las presiones antes y después del tiempo de monitoreo.

Anexo 9.- Retiro del filtro “cargado” luego de cada monitoreo.



Anexo 10.- Contador del volumen total aspirado en un ciclo de muestreo de 24 horas

Anexo 11.- Parámetros establecidos por el controlador de flujo para posteriores cálculos de la concentración de PM_{10}.