



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**“DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL
PARTICULADO DEL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE
RIOBAMBA EN EL PERÍODO 2014”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

**PRESENTADO PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE:
INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

AUTOR: VERÓNICA DEL CARMEN GAIBOR RAMÍREZ

TUTOR: DR. ROBERTO ERAZO

Riobamba – Ecuador

2015

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El Tribunal de Titulación certifica que: El trabajo de investigación: **“Determinación de la concentración de Material Particulado del Centro Histórico de la ciudad de Riobamba en el Período 2014”** de responsabilidad de la señora egresada Verónica del Carmen Gaibor Ramírez, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Titulación, quedando autorizada su presentación.

FIRMA

FECHA

Dr. Roberto Erazo

DIRECTOR DE TESIS

Dra. Nancy Veloz

MIEMBRO DE TRIBUNAL

Yo, Verónica del Carmen Gaibor Ramírez, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo de titulación; y el patrimonio intelectual del trabajo de titulación, pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

Verónica del Carmen Gaibor Ramírez

DEDICATORIA

La presente investigación en primer lugar se la dedico a Dios, Jesús Misericordioso y la Virgen María por permitirme llegar hasta este punto, darme salud y sabiduría para alcanzar mis objetivos, a más de su infinito amor y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía.

A mi madre Nancita, por creer y confiar en mí, por apoyarme en cada instante de mi vida, brindarme sus consejos, pero más que nada por su amor incondicional. A mi Padre Gastón por su cariño y preocupación y ser un soporte durante mi etapa estudiantil. Gracias a los dos hoy alcanzo una meta más en mi existencia.

A mi amado esposo Roberto, por estar junto a mí ofreciéndome su entrega, amor, paciencia, su fuerza y motivación así como también ser mi compañero en los felices y tristes momentos.

A mi pequeña hija Isabella, por contagiarme tu alegría y por ser quien con su inocencia llena mi mundo de alegría.

A mi hermano Gastón, hermanito gracias por tus palabras y consejos, por brindarme tu apoyo y ser un ejemplo de perseverancia y lucha diaria por alcanzar tus propósitos.

A mi Abuelito Olmedo (†), porque nunca dudó de mi capacidad, por todo el afecto que me brindó, a quien llevo en mi corazón y cuyo recuerdo permanece intacto en mí. A Lucita, mi abuelita quien siempre aplaudió mis logros y por entregarme su cálido amor de madre.

A Marcelita, Cecita y Rober, por que las personas que puso Dios en mi camino son ustedes, por toda la apertura ofrecida, por su cariño y estar presentes siempre en cada momento.

VERÓNICA

AGRADECIMIENTO

Mi eterno agradecimiento al Padre Celestial por no permitirme claudicar ante las adversidades. Por guiarme y darme fortaleza durante todo este arduo camino para llegar a este sueño anhelado.

A mis padres y familiares por su permanente apoyo y cariño en cada aspecto de mi vida.

Un agradecimiento muy especial al Dr. Roberto Erazo, director de esta investigación y a la Dra. Nancy Veloz, asesora de la misma, por toda la confianza depositada en mí, su motivación y su valiosa colaboración durante el desarrollo del presente trabajo.

Al Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental por haber hecho posible la realización de este trabajo y a todo su personal por la ayuda prestada y su permanente colaboración.

A mi querida ESPOCH por permitirme ser parte de ella, a los docentes por facilitarme todas sus guías y conocimientos, a mis amigos y compañeros por los momentos compartidos y a todos quienes creyeron en mí.

VERÓNICA

TABLA DE CONTENIDO

CONTENIDO	PÁG
RESUMEN.	
SUMMARY	
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I	
1. MARCO TEÓRICO.....	4
1.1. Atmósfera.....	4
1.2. Composición.....	4
1.3. Capas de la atmósfera.....	5
1.3.1. <i>Troposfera</i>	5
1.3.2. <i>Estratosfera</i>	6
1.3.3. <i>Mesosfera</i>	6
1.3.4. <i>Ionosfera</i>	6
1.3.5. <i>Exosfera</i>	6
1.4. Principales Contaminantes Atmosféricos.....	7
1.4.1. <i>Compuestos Orgánicos Volátiles</i>	7
1.4.2. <i>Óxidos de Azufre</i>	7
1.4.3. <i>Óxidos de Nitrógeno</i>	8
1.4.4. <i>Monóxido de Carbono</i>	8
1.4.5. <i>Dióxido de Carbono</i>	8
1.4.6. <i>Ozono</i>	9
1.5. Material Particulado.....	9
1.5.1. <i>Fuentes de emisión de partículas</i>	10
1.5.2. <i>Transporte de material particulado en la atmósfera</i>	11
1.5.3. <i>Efectos del material particulado sobre la salud</i>	11
1.6. Calidad del aire.....	12
1.6.1. <i>Monitoreo de la calidad del aire</i>	12
1.6.2. <i>Diseño del programa de monitoreo de calidad del aire</i>	13
1.6.3. <i>Ubicación de los puntos</i>	13
1.6.4. <i>Número de los puntos requeridos</i>	13
1.6.5. <i>Requerimientos del sito de muestreo</i>	13
1.7. Ciudad de Riobamba - Provincia de Chimborazo.....	14

1.7.1.	<i>Centro Histórico de Riobamba</i>	15
1.8.	Ley de Gestión Ambiental Ecuatoriana	16
1.9.	Texto Unificado Legislación Secundaria Medio Ambiente	17
1.10.	Plan Nacional de Calidad del Aire	18
CAPITULO II		
2.	MARCO METODOLÓGICO	20
2.1.	Descripción del área de investigación	20
2.1.1.	<i>Unidad de estudio</i>	20
2.1.2.	<i>Lugar de la investigación</i>	20
2.2.	Materiales Utilizados	20
2.2.1.	<i>Materiales para campo</i>	20
2.2.2.	<i>Equipos</i>	21
2.2.3.	<i>Materiales para laboratorio</i>	22
2.3.	Muestreo	22
2.3.1.	<i>Población</i>	22
2.3.2.	<i>Método de Muestreo</i>	22
2.3.3.	<i>Tamaño muestral</i>	23
2.3.2.	<i>Método de Muestreo</i>	23
2.4.	Diseño experimental	23
2.4.1.	<i>Variables de la investigación</i>	23
2.5.	Tipo de Diseño	23
2.5.1.	<i>Diseño factorial</i>	23
2.5.2.	<i>Lógica del diseño experimental</i>	24
2.6.	Metodología	25
2.6.1.	<i>Método científico</i>	25
2.6.2.	<i>Método hipotético deductivo</i>	26
2.6.3.	<i>Método estadístico</i>	28
2.7.	Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	29
2.7.1.	<i>Técnicas e instrumentos de recolección de datos</i>	29
2.7.2.	<i>Técnicas e instrumentos de análisis de datos</i>	29
2.8.	Parte Experimental	30
2.8.1.	<i>Determinación de los puntos de muestreo</i>	30
2.8.2.	<i>Ubicación de los puntos de muestreo</i>	30
2.8.3.	<i>Requerimientos del sitio de muestreo</i>	31
2.8.4.	<i>Toma de la muestra</i>	31
2.8.5.	<i>Consideraciones previas al muestreo</i>	32

2.8.6.	<i>Muestreo de Material Particulado PM₁₀ y PM_{2,5}</i>	32
2.8.7.	<i>Manejo de filtros PM₁₀ y PM_{2,5} en el laboratorio</i>	33
2.8.8.	<i>Cálculo de Material Particulado</i>	34
CAPITULO III		
3.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	36
3.1.	Desarrollo experimental	36
3.2.	Caracterización del sitio objeto de investigación	36
3.2.1.	<i>Situación geográfica</i>	35
3.2.2.	<i>Clima</i>	37
3.2.3.	<i>Geomorfología</i>	38
3.2.4.	<i>Topografía</i>	39
3.2.5.	<i>Meteorología</i>	39
3.2.5.1.	<i>Velocidad y dirección del viento</i>	39
3.2.5.2.	<i>Temperatura, precipitación, humedad y presión atmosférica</i>	40
3.3.	Determinación de los puntos de muestreo	41
3.4.	Datos de las mediciones de material particulado PM₁₀ y PM_{2,5}	42
3.5.	Análisis estadístico	46
3.5.1.	<i>Prueba de hipótesis 1</i>	47
3.5.2.	<i>Prueba de hipótesis 2</i>	47
3.5.3.	<i>Prueba de hipótesis 3</i>	49
3.5.4.	<i>Prueba de hipótesis 4</i>	50
3.6.	Discusión de resultados	52
CONCLUSIONES		53
RECOMENDACIONES		54
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 -1	Composición de la Atmósfera.....	5
Tabla 2 -1	Directrices Organización Mundial de la Salud para Material Particulado.....	12
Tabla 3 -1	Límites máximos para Material Particulado.....	18
Tabla 1 -2	Codificación Material Particulado muestreado en cada punto de medición.....	24
Tabla 2 -2	Codificación fecha de medición de Material Particulado.....	24
Tabla 3 -2	Diseño de la investigación.....	24
Tabla 4 -2	Lógica del diseño experimental.....	25
Tabla 5 -2	Nomenclatura de la lógica del diseño experimental.....	25
Tabla 6 -2	Recomendaciones de número mínimo de estaciones.....	30
Tabla 1 -3	Parámetros climáticos promedio de Riobamba.....	38
Tabla 2 -3	Dirección y velocidad del viento.....	39
Tabla 3 -3	Temperatura, precipitación, humedad y presión atmosférica.....	40
Tabla 4 -3	Puntos de muestreo en el centro histórico de Riobamba.....	42
Tabla 5 -3	Coordenadas de putos de muestreo en el Centro Histórico de Riobamba.....	42
Tabla 6 -3	Datos de muestreo realizado en Junio 2014.....	42
Tabla 7 -3	Datos de muestreo realizado en Agosto 2014.....	44
Tabla 8 -3	Datos de muestreo realizado en Octubre 2014.....	45
Tabla 9 -3	Prueba chi- cuadrado.....	47
Tabla 10 -3	Resultados monitoreo PM_{10}	48
Tabla 11 -3	Prueba t- Student.....	48
Tabla 12 -3	Prueba t- Student.....	49
Tabla 13 -3	Prueba de hipótesis.....	49
Tabla 14 -3	Resultados monitoreo $PM_{2.5}$	50
Tabla 15 -3	Prueba t- Student monitoreo	51
Tabla 16 -3	Prueba t- Student monitoreo	51

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 -2	Método Científico.....	26
Cuadro 2 -2	Método hipotético deductivo.....	27
Cuadro 3 -2	Método estadístico.....	28
Cuadro 4 -2	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	29

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 -3	Dirección y velocidad del viento durante los muestreos.....	40
Gráfico 2 -3	Temperatura durante los muestreos.....	41
Gráfico 3 -3	Humedad durante los muestreos.....	41
Gráfico 4 -3	Mediciones de material particulado PM_{10} . Junio, Agosto, Octubre 2014.....	46
Gráfico 5 -3	Mediciones de material particulado $pm_{2,5}$. Junio, Agosto, Octubre 2014.....	46
Gráfico 6 -3	Prueba Chi cuadrado.....	47
Gráfico 7 -3	Prueba Chi - cuadrado.....	50

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1-1	Parque Maldonado.....	16
Fotografía 1-2	Ubicación de los puntos de muestreo.....	31
Fotografía 2-2	Pesaje de filtros.....	32
Fotografía 3-2	Muestreo de Material Particulado.....	33
Fotografía 4-2	Muestreo de Material Particulado.....	33
Fotografía 5 -2	Codificación de filtros.....	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 -3	Mapa de la provincia de Chimborazo.....	37
Figura 2 -3	División provincial del cantón Riobamba.....	37

INDICE DE ANEXOS

Anexo A	Monitoreo Calles Juan de Lavalle y Av. Unidad Nacional
Anexo B	Muestreo de Material Particulado
Anexo C	Monitoreo Calles Juan Larrea y Primera Constituyente
Anexo D	Filtro de Medición de Material Particulado
Anexo E	40 CFR Part 50 Apéndice J (Idioma inglés)

INDICE DE ABREVIATURAS

CESTTA	Centro de Servicios Técnicos y transferencia Tecnológica Ambiental
CHR	Centro Histórico de Riobamba
CO	Monóxido de carbono
COVs	Compuestos orgánicos volátiles
EPA	Agencia de Protección Ambiental
ESPOCH	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
g	Gramo
H₂SO₄	Ácido sulfúrico
HNO₃	Ácido nítrico
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
km	Kilómetro
m	Metro
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
m³	Metro cúbico
min	Minuto
mm	Milímetro
mmHg	Milímetros de mercurio
NO	Monóxido de nitrógeno
NO₂	Dióxido de nitrógeno
NO_x	Óxidos de nitrógeno
O₃	Ozono
°C	Centígrado
°K	Kelvin
OMS	Organización Mundial de la Salud
PM	Material particulado
PM_{2,5}	Material Particulado tamaño 2,5 micrometros
PM₁₀	Material Particulado tamaño 10 micrometros
PNCA	Plan Nacional de Calidad del Aire
RO	Registro Oficial
SO₂	Dióxido de azufre
SO₃	Trióxido de azufre

SO_x	Óxidos de azufre
TULSMA	Texto unificado de Legislación Ambiental Secundaria
UV	Ultra violeta
µg	Microgramo
µm	Micrometro

RESUMEN

Se analizó la concentración del material particulado tamaño 10 micrómetros (PM_{10}) y 2,5 micrómetros ($PM_{2,5}$) en el centro histórico de la ciudad de Riobamba para lo cual se eligieron 3 puntos estratégicos en los cuales se hicieron muestreos activos minuto a minuto por 4 horas. Los puntos estratégicos para el muestreo se seleccionaron considerando la densidad poblacional así como también los factores meteorológicos sugerido por la Organización Mundial de la Salud. El estudio se desarrolló con el fin de conocer la concentración de partículas existentes en la urbe y así precautelar el bienestar de las personas que confluyen en el centro histórico de la localidad. En la parte estadística se utilizó el test Chi-Cuadrado y el test T-Student. Se recogieron los datos obteniéndose la concentración del material particulado en $\mu g/m^3$ a través de la tasa media de flujo de condiciones de referencia establecidas por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) dada en m^3/min encontrándose los siguientes resultados: la concentración de PM_{10} en el Centro Histórico de Riobamba es superior en una media de 1,76 veces frente a lo que establece la normativa del Ministerio de Ambiente del Ecuador la cual determina que no se debe superar los $100 \mu g/m^3$ en 24 horas. La concentración de $PM_{2,5}$ en el Centro Histórico de Riobamba es superior en 1,5 veces; esto, frente a lo que establece la normativa la cual sugiere que no se debe superar los $50 \mu g/m^3$ en 24 horas. En el 66,67% de las unidades experimentales del tamaño de muestra del estudio se presenta una concentración del material particulado PM_{10} y $PM_{2,5}$ mayor a la de la normativa vinculada al acuerdo ministerial 050 del Ministerio de Ambiente del Ecuador constituyendo dicho resultado en un llamado de atención por el peligro que dicho material constituye para la salud humana y animal.

PALABRAS CLAVE: <MATERIAL PARTICULADO> <CONCENTRACIÓN>
<MUESTREO ACTIVO> <TEST CHI-CUADADO> <TEST T-STUDENT> <CENTRO HISTÓRICO> <RIOBAMBA> <MINISTERIO DEL AMBIENTE> <ACUERDO MINISTERIAL 050> <AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL>

SUMMARY

The concentration of particulate matter 10 micrometers size (PM_{10}) and 2,5 micrometers in the historic center of Riobamba, for which three strategic points at which actual samples were made minute by minute were chosen for 4 hours. Strategic points for sampling were selected considering population density as well as meteorological factors suggested by the World Health Organization. The study was conducted in order to determine the concentration of particles existing in the city and thus forewarn the welfare of people that come together in the city center. Chi-Square test, T-Student test were used in the statistical part. Data were collected to obtain the concentration of particulate matter in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ by the average flow rate reference conditions set by the Environmental Protection Agency (EPA) given in m^3/min , with the following results: the concentration of PM_{10} in the Historic Center of Riobamba is superior to an extent of 1,76 times against the provisions of the regulations of the Ministry of Environment of Ecuador which determines that it should not exceed $100 \mu\text{g} / \text{m}^3$ in 24 hours. The concentration of $PM_{2,5}$ in the Historic Center of Riobamba is more than 1,5 times; against the provisions of the legislation which suggests that it should not exceed $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in 24 hours. In 66,67% of the experimental units the size of the study sample concentration of particulate matter PM_{10} y $PM_{2,5}$ appears greater than that of the rules related to the Ministerial Agreement 050 of the Ministry of Environment of Ecuador, constituting this result in calling attention to the danger that such material is for human and animal health.

KEYWORDS: <PARTICULATE MATTER> <CONCENTRATION> <ACTIVE SAMPLING> <CHI-SQUARE TEST> <T-STUDENT TEST> <HISTORIC CENTER> <RIOBAMBA> <MINISTRY OF ENVIRONMENT> <MINISTERIAL AGREEMENT 050> <ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY>

INTRODUCCIÓN

La degradación de la calidad del ambiente combinado con el aumento de la población y la actividad industrial han desencadenado efectos negativos sobre los recursos: agua, suelo y aire, la incorrecta disposición de residuos han sido causales de impactos ambientales graves. La importancia de la determinación de la calidad ambiental radica en la posibilidad de facilitar a los tomadores de decisiones el criterio sobre la aplicación de políticas que salvaguarden el bienestar de los ciudadanos que viven y ejercen actividades educativas, profesionales y cotidianas en el congestionado Centro Histórico de la ciudad de Riobamba capital de la provincia de Chimborazo.

La calidad del aire es un indicador mediante el cual es posible conocer la composición y concentración de contaminantes atmosféricos, en los se hallan; el material particulado, los óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, incluyendo al ozono troposférico. Los contaminantes por su naturaleza, capacidad de difusión concentración son los causantes de múltiples problemas ambientales.

La creciente preocupación por calidad ambiental ha motivado a que varias organizaciones como la Organización Mundial de la Salud (OMS) expidan estándares para los contaminantes atmosféricos que pueden ser nocivos en la salud. Las directrices reflejan la concentración a la cual los compuestos químicos pueden ser considerados contaminantes. Los gobiernos nacionales ajustan valores límites de concentración para los contaminantes del aire. Los estándares constituyen las concentraciones tope, de compuestos en el aire sin provocar perjuicios sobre la salud.

En el Ecuador el Acuerdo 050 emitido por el Ministerio del Ambiente, ente regulador de la calidad ambiental en el Ecuador, tiene por objeto preservar la salud de la población, precautelar el bienestar del ecosistema y el ambiente en general. En el mismo acuerdo se hallan los límites máximos permisibles de contaminantes de aire a nivel del suelo. Dicha norma incluye la metodología y procedimientos específicos de ensayo consignados a la medición de contaminantes ambientales.

El material particulado conforma una heterogénea mezcla de partículas que se hallan suspendidas en el aire, estas poseen diferentes diámetros y diversa composición en base a las fuentes emisoras. Estas partículas están formadas por: hidrocarburos, sulfatos y cenizas. Las partículas en el ambiente pueden sufrir reacciones de naturaleza química en el aire, en función a

su composición y tamaño y variar dependiendo a las condiciones climáticas, viento, cercanía de la fuente emisora, etc.

Estudios de carácter epidemiológico efectuados revelan la relación existente entre la exposición a PM_{10} y $PM_{2,5}$ e incremento de mortalidad, en las personas que experimentan enfermedades de tipo respiratoria y cardiovascular. La comunidad científica ha realizado investigaciones acerca de las consecuencias de las partículas ultra finas. No obstante estas partículas aportan muy poco a la concentración de PM_{10} y $PM_{2,5}$, presentes en proporciones elevadas.

El interés del presente estudio es el de conocer la medida en la cual el material particulado se encuentra presente en determinadas calles del Centro Histórico de Riobamba en la cual confluyen el parque automotor el cual asciende a más 40 mil vehículos incluyendo diferentes líneas de transporte urbano, autos particulares. Los peatones no conocen el nivel de contaminación al que se ven sometidos y los efectos a los cuales serían sujetos de exposición.

Justificación

La evaluación de los contaminantes, los cuales constituyen sustancias con patología toxica y peligrosa sobre la salud humana, ecosistemas y ambiente, así como de gases efecto invernadero y agotadores de la capa de ozono, siendo a la vez agentes del cambio climático global, da cabida a la generación de programas, planes y proyectos locales en base d las propuestas de las políticas, normativa y reglamentación en la ciudad para el desarrollo sustentable, donde la gestión del aire con otros temas de gestión ambiental debe ser claramente definidas con el fin de formular estrategias de varias líneas de acción, mediante el elaboración y aprobación de planes elaborables para prevenir y controlar la polución del aire, apoyadas en el cuidado de la calidad del aire y epidemiológica.

La presente investigación ayudará a evaluar científicamente los datos obtenidos en una línea base sobre la concentración de material particulado del Centro histórico de la ciudad de Riobamba. Así mismo, los resultados de la investigación ayudan al Ilustre Municipio de Riobamba, en base al diagnóstico situacional a establecer normativas, ordenanzas, políticas ambientales sectoriales y plan de contingencia que permita controlar la contaminación generada por el parque automotor en el centro histórico de la urbe.

Este proyecto se justifica legalmente ya que la Constitución de la Republica de Ecuador en el numeral 27 del artículo 66 en su capítulo sobre el Buen Vivir detalla que reconoce y garantiza a las personas a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y

armonía con la naturaleza, además de precautar el ambiente y cumplir con las disposiciones técnicas emitidas por el Ministerio del Ambiente en el Acuerdo Ministerial 050.

El uso de derivados de la investigación contribuiría a la elaboración de diversas políticas, normas, investigaciones, etc. Como beneficio adicional a los involucrados en el estudio mediante las estrategias que se enlista a continuación:

- Realizar estudios epidemiológicos por concentración de contaminantes del aire y su efecto en la salud humana.
- Especificar tipos y fuentes emisoras.
- Construir una base de datos para el desarrollo de programas.

Objetivos

Objetivo General

Determinar el nivel de concentración de Material Particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ en el Centro Histórico de la Ciudad de Riobamba en el Periodo 2014.

Objetivos Específicos

- Realizar una caracterización del sitio objeto de investigación.
- Determinar puntos de muestro para la medición de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ en el Centro Histórico de Riobamba.
- Realizar la medición del material particulado en los puntos seleccionados previamente.
- Tabular los datos obtenidos en los sitios de muestreo elegidos y comparar con los límites permisibles de la norma correspondiente a calidad de Aire-Ambiente Acuerdo Ministerial 0-50.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. La atmósfera

La atmósfera como tal constituye una capa gaseosa que se encuentra envolviendo a la tierra. Existen varios criterios acerca de la extensión de la atmósfera sobre la tierra señalando que esta se extendería hasta los 80 km de altitud aproximadamente, y que habría cantidades despreciables de atmósfera por sobre la altitud anteriormente mencionadas. (LEDESMA, M., LEDESMA, J. 2011. p. 1)

La atmosfera es la responsable de que exista vida en la tierra como las conocemos, por su composición protege al planeta de las dañinas radiaciones ultravioletas provenientes del sol. Entre los constituyentes de la atmósfera se encuentra al oxígeno; más que imprescindible para la función respiratoria para los seres vivos, quienes a su vez, producto de la respiración suministran de dióxido de carbono a las plantas de donde obtenemos los alimentos. Posee el vapor del agua mediante el cual es posible los fenómenos de condensación y precipitación que dan lugar al denominado ciclo hidrológico (LEDESMA, M., LEDESMA, J. 2011. p. 201).

1.2. Composición

Se podría decir que la atmósfera es una composición heterogénea de gases, los mismos que debido a sus propiedades no reaccionan químicamente entre sí.

Descartando el vapor de agua, la atmosfera está formada principalmente por nitrógeno en un 78,0%, 21,0 % de oxígeno, 0,9 % de argón y 0,03 de dióxido de carbono y vapor de agua del 1 – 3 %, en cantidades trazas menores al 0,002 % de la constitución total de la atmosfera se encuentran gases livianos como: neón, helio, metano, kriptón, óxido nitroso, hidrógeno, xenón, dióxido de azufre, ozono, dióxido de nitrógeno, amoniaco y monóxido de carbono (STANLEY, E. 2007. p. 357)

A mayor altura hay menor cantidad de oxígeno aumentando la proporción de gases livianos

Tabla 1-1: Composición de la atmósfera

Gas	Porcentaje (%)
Nitrógeno	78,04
Oxígeno	20,9476
Argón	0,934
Dióxido de carbono	0,0314
Neón	0,001818
Helio	0,000524
Criptón	0,000114
Xenón	0,0000087
Hidrogeno	0,0005
Metano	0,002
Óxido nitroso	0,00005
Ozono	Verano 0 - 0,000007 Invierno 0 - 0,000002
Dióxido de Azufre	0 a 0,0001
Dióxido de Nitrógeno	0 a 0,00002
Amoniaco	0 a trazas
Monóxido de Carbono	0 a trazas

Fuente: Stanley. E. 2007. Introducción a la Química Ambiental.

Elaborado por: Gaibor V

1.3. Capas de la atmosfera

El espesor de la atmósfera se encuentra ordenado en varias capas, las cuales están divididas en sub capas, las mismas que no tienen fronteras visibles. Las capas de la atmósfera se conoce son las siguientes:

1.3.1. Tropósfera

Es la primera capa de la atmosfera, es decir la que se halla en contacto directo con la superficie terrestre, se extiende hasta 10 km de altura aproximadamente, mientras que en el Ecuador se extiende 16 km , a diferencia en los polos donde llega a 8 km (CHALACAN, R. 2009. p. 27).

Esta capa es la más densa en relación a las demás. Cabe mencionar que sus propiedades son atribuidas al calor, es decir a la disminución constante de temperatura en proporción con la altitud: $6,5^{\circ}\text{C}$ por cada 1 000 metros, en la tropósfera se forma las nubes, precipitaciones y demás fenómenos meteorológicos (CASAS, C., ALARCÓN, M. 1999. p. 15-16). El límite superior de la tropósfera es la tropopausa.

1.3.2. Estratósfera

Esta capa tiene un espesor aproximadamente de 45 km, se podría mencionar que la temperatura es relativamente estable, caracterizada por la ausencia de vapor de agua. Es una capa rica en ozono, cuyo papel es servir como barrera de las radiaciones UV provenientes del sol (PEREZ, J., MORENO, E., ORTIZ, P. 2009. p. 41).

La estratósfera está formada por estratos de aire con poco movimiento vertical y abundante movimiento horizontal. A diferencia de la troposfera en esta capa no existe el clima y demás fenómenos meteorológicos (CHALACAN, R. 2009. P. 27). La zona de transición respecto a la mesosfera se denomina estratopausa, aproximadamente a 50 km de altura.

1.3.3. Mesosfera

Su nombre se debe a que se encuentra en la parte media de la atmósfera, la característica de esta capa se atribuye a la temperatura ya que esta, puede llegar a 110 °C bajo cero a medida que incrementa la altitud. En la mesosfera se localiza el ozono que impide el paso directo de los rayos UV solares. Esta capa de la atmósfera se conoce es la fría de entre las capas de atmosfera, la temperatura aumenta significativamente en la siguiente capa atmosférica (BRENES, A., SABORÍO, V. 1995. p. 6).

1.3.4. Ionosfera

La ionosfera es llamada así; ya que esta capa está formada por partículas ionizadas, la temperatura es capaz de aumentar hasta los 1500 ° C; además la ionosfera es el medio por el cual se propagan las ondas electromagnéticas fundamentales para telecomunicaciones.

El espesor de esta capa atmosférica comprende 500 km en la zona ecuatorial y 80 km en los polos (CARRETO, F., GONZALES, R., VILLAVICENCIO, J. 2000. p. 115).

1.3.5. Exósfera

Esta constituye la última capa de la atmósfera terrestre, estando en contacto directo con el espacio exterior. Los elementos componentes de la exósfera son: hidrógeno, helio y oxígeno (CARRETO, F., *et al.* 2000. p. 115).

Se sitúa por sobre los 1 000 km de altura, por sobre los 2 000 km pueden hallarse porciones insignificantes de atmósfera. Por su lejanía con la tierra esta capa no se relaciona con ningún fenómeno climático.

1.4. Principales Contaminantes Atmosféricos

La calidad del aire se ha visto afectada por varias razones netamente antropogénicas, entre ellas están; el crecimiento poblacional, generación de electricidad, demanda de alimentos, lo cual termina con el incontrolable manejo de residuos (GRAU, M., GRAU, M. 2006. p. 25-28).

Al hablar de contaminación atmosférica es necesario definir lo que es emisión e inmisión. Se conoce como emisión a la eliminación de materiales a través de un foco o punto, al momento de ser emitidos a la atmósfera se los denomina contaminantes primarios, que son susceptibles a reacciones químicas y transformarse en contaminantes secundarios.

En la inmisión los contaminantes se agrupan al nivel del suelo, procediendo de diferentes puntos.

Se considera que los principales contaminantes del aire son: compuestos orgánicos volátiles, óxidos de azufre y nitrógeno, monóxido de carbono y material particulado, principalmente.

1.4.1. Compuestos Orgánicos Volátiles

Los Compuestos Orgánicos Volátiles por sus siglas COVs, son sustancias líquidas o sólidas, formadas por carbono orgánico, capaces de convertirse brevemente en vapor. El origen principal de los COVs se debe a las emisiones de vehículos, la quema de derivados de petróleo, solventes orgánicos, actividad industriales abarcando a la producción de acero, elaboración de medicamentos, incluso la industria maderera, etc.

Por sus propiedades volátiles, liposolubles, tóxicas e inflamables, son susceptibles de reaccionar con otras sustancias a nivel atmósfera y se les atribuye la formación de ozono troposférico, perjudicial para la salud humana y la vida vegetal.

1.4.2. Óxidos de Azufre

Los óxidos de azufre SO_x constituyen un sub producto de la combustión de derivados de petróleo, se hallan en forma de: dióxido de azufre (SO₂), trióxido de azufre (SO₃). El SO₂ puede formarse a nivel atmósfera por la reacción del ácido sulfhídrico SH₂ originado por putrefacción

de materia orgánica. El SO_3 es el resultado de la oxidación fotoquímica del SO_2 . El trióxido de azufre al combinarse con el agua da lugar a la formación de ácido sulfúrico H_2SO_4 , produciendo la denominada lluvia ácida (GRAU, M., *et al.* 2006. p. 31). La lluvia ácida representa un peligro para la vida, ya que acidifica; ríos, lagos, vertientes, etc., destruye la vegetación, así como también para la propiedad pública, ya que corroe materiales. El SO_2 es capaz de afectar las funciones pulmonares, y causa irritación en ojos. La inflamación del sistema respiratorio causa tos, secreción de las mucosas y agravación de condiciones asmáticas y la bronquitis crónica; asimismo, aumenta la tendencia a contraer infecciones del sistema respiratorio.

1.4.3. Óxidos de Nitrógeno

Al referirse a óxidos de nitrógeno NO_x , se habla de: monóxido de nitrógeno (NO) y dióxido de nitrógeno (NO_2). De forma similar a los SO_x , los óxidos de nitrógeno provienen de la combustión de combustibles derivados del petróleo, carbón, etc., y también son responsables de la lluvia ácida (HNO_3). Otras fuentes de NO_x se relacionan con la descomposición orgánica de nitratos, incendios forestales entre otros. El SO_2 es un gas irritante a más de tóxico, además se puede decir que a razón de reacciones químicas que producen nitratos se eleva la cantidad de material particulado $\text{PM}_{2.5}$. Múltiples estudios epidemiológicos, han divulgado que la sintomatología en niños padecientes de asma, se amplía en relación a la exposición con NO_x , disminución del desarrollo de la función pulmonar, se asocia con las concentraciones de dióxido de nitrógeno registradas hoy en día en varias ciudades principalmente las pertenecientes a Europa y América del Norte.

1.4.4. Monóxido de Carbono

El monóxido de carbono CO, es un componente natural de la atmósfera, pero si se elevan las concentraciones este compuesto en la atmósfera, pasa a ser considerado como contaminante. Se origina primordialmente de la quema incompleta de gas natural, gasolina, diésel, etc., en otras palabras de vehículos de combustión interna. El origen natural se debe a la oxidación del metano en condiciones anaerobias. La peligrosidad de este gas para el ser humano es alta ya que, en elevadas concentraciones, ocasionan muerte por inhalación de este gas, ya que los glóbulos rojos son incapaces de transportar oxígeno en la sangre.

1.4.5. Dióxido de Carbono

Se considera al dióxido de carbono CO_2 como el principal responsable del efecto invernadero. Es un gas incoloro y de reactividad baja. Proviene del uso de carburantes fósiles y gas natural.

El dióxido de carbono en conjunto con el vapor de agua y otros gases, forma parte del conjunto de los gases causantes del efecto invernadero que contribuyen a que la temperatura en la tierra sea intolerable para los seres vivos.

1.4.6. Ozono

El ozono troposférico que se encuentra a nivel de la tierra, no es el mismo que el que se encuentra en la capa de ozono de la atmósfera superior es uno de los principales componentes de la niebla tóxica. Éste se origina por la reacción fotoquímica de óxidos de nitrógeno NO_x originados de las emisiones de automóviles, la industria, COVs, emitidos por los vehículos, los disolventes y la industria. Los niveles de ozono más elevados, se registran durante los períodos de tiempo soleado (<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>. 2014).

El exceso de ozono en el aire puede producir efectos adversos de consideración en la salud humana se trata de uno de los contaminantes atmosféricos que más preocupan en Europa (BALLESTER., *et al.* 1999. p. 117). Diversos estudios europeos han revelado que la mortalidad diaria y mortalidad por cardiopatías aumentan un 0,3% y un 0,4% respectivamente con un aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la concentración de ozono (BALLESTER, D., *et al.* 1999. p. 118).

1.5. Material particulado

Se define a material particulado PM como un agregado de partículas, las mismas que se pueden encontrar en fase sólida o líquida suspendidas en la atmósfera. Al igual que los anteriores contaminantes atmosféricos anteriormente mencionados, es incorporado al ambiente por emisiones originadas por el accionar antropogénico, provenientes de fuentes móviles, fijas, así como también de la quema agrícola.

El material particulado puede ser de diferentes tipos entre ellos: la actividad minera, aerosol marino, compuestos de azufre (sulfatos), compuestos de carbono, etc. Obedeciendo a las características tanto físicas como químicas de las partículas, pueden verse involucradas en procesos fisicoquímicos que incluso tienen influencia a escala global incluyendo formación de nubes, balance radioactivo, reflexión solar, etc (MORALES, R. 2006. p. 109-110).

Este contaminante constituye un impacto negativo sobre la salud humana, incluso es nocivo para la fauna y flora. Las partículas en suspensión poseen diferentes tamaños, la composición química de estos puede ser diferente, como su distribución en la atmósfera. A las partículas se las puede clasificar en dos categorías (GARCIA, M. 2006. p. 6-7):

- **Partículas finas:** corresponden al material particulado cuyo diámetro aerodinámico es menor que 2.5 μm y se los conoce como $\text{PM}_{2.5}$. Las partículas con un diámetro inferior a 2.5 μm , se establecen como un indicador que constituye la cantidad de partículas suspendidas que no se emiten directamente al aire sino que se forman en la atmósfera como producto de reacciones químicas y procesos físicos; las partículas $\text{PM}_{2.5}$ pueden alcanzar la cavidad alveolar y, por tanto, provocar daño en la salud de la población (QUIJANO, A., OROZCO, J. 2005. p. 1)
- **Partículas gruesas:** se incluye a las partículas cuyo diámetro aerodinámico esta entre 2.5 y 10 μm . Se conoce al material particulado con diámetro inferior a 10 μm . Las partículas con un diámetro inferior a 10 μm son un indicador que representa la fracción respirable de las partículas suspendidas totales susceptible de causar efectos a la salud, debido a que por su tamaño pueden penetrar más profundamente en el sistema respiratorio humano es decir en la parte torácica que incluye la tráquea (QUIJANO, A., et al. 2005. p. 2-4). El $\text{PM}_{2.5}$ por su tamaño es fácilmente dispersado y perdurar por más tiempo suspendidas por lo tanto se desplazan más lejos. Las partículas PM_{10} se mantienen suspendidas por un tiempo relativo en suspensión, de solo horas a diferencia del $\text{PM}_{2.5}$ que perdura incluso semanas en suspensión.

1.5.1. Fuentes de emisión de partículas

Según distintos criterios es posible clasificar a las fuentes de emisión del material particulado por el tipo de fuente generadora (GARCÍA, M. 2006. p. 5-7):

- **Fuentes naturales:** Cierta cantidad de partículas proviene de fuentes naturales, entre ellas el rocío de mar, polen, polvo, erupciones volcánicas, material proveniente de la erosión del suelo. Habitualmente, las partículas pertenecientes a fuentes naturales son gruesas, por lo que sedimentan rápidamente.
- **Fuentes antrópicas:** Estas fuentes son diversas así tenemos: procesos industriales, generación eléctrica, uso de combustibles, quema a campo abierto, transporte, etc. La mayor parte de partículas de fuentes antrópicas tiene tamaños menores a 2.5 micrones a la vez las partículas son más tóxicas, a diferencia de las partículas originadas en fuentes naturales (GARCÍA, M. 2006. p. 8).

1.5.2. Transporte de material particulado en la atmósfera

Los contaminantes expulsados a la atmósfera por fuentes naturales o antrópicas, se ven a la merced de varios factores meteorológicos: viento, nubosidad, etc. por mencionar algunos, y de tipo topográfico como: montañas, edificios, etc. Todos estos factores constituyen un problema en la predicción de las concentraciones totales en el aire (GARCÍA, M. 2006. p. 8-9).

La dispersión de un contaminante es el resultado de tres mecanismos dominantes (GARCIA, M. 2006. p. 15-16):

- Movimiento del aire que transporta el contaminante en la dirección del viento.
- Las fluctuaciones de la velocidad que dispersan el contaminante en todas las direcciones.
- La difusión de masa debido a los gradientes de concentración.

1.5.3. Efectos del Material Particulado sobre la Salud

Los efectos de las partículas en la salud, se originan dependiendo al nivel y tiempo de exposición a la que la población, de países desarrollados y en vías desarrollo está expuesta. La exposición crónica a las partículas aumenta el riesgo de enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como de cáncer de pulmón (GONZALES, G., *et al.* 2014. p. 6-8).

La exposición a los contaminantes procedidos de la incineración de combustibles y cocinas de leña en espacios cerrados, amplía el riesgo de experimentar enfermedades agudas en el aparato respiratorio incluyendo la mortalidad infantil; la contaminación del aire en interiores, por parte de combustibles macizos constituye una de las causas más importantes enfermedades pulmonares obstructiva crónica y cáncer de pulmón entre los adultos. La mortalidad en localidades que poseen altos grados de contaminación rebasa en un rango de 15 a 20 % de la registrada en ciudades consideradas como limpias. Inclusive en la Unión Europea, el promedio de vida es 8,6 meses menor esto por la exposición a las partículas de tamaño $2,5\mu\text{m}$ provenientes de la actividad antropogénica.

Según estadísticas la OMS, La contaminación atmosférica provoca causa alrededor de 2 millones de muertes al año el mundo, 1.2 millones concretamente son a causa de la de la contaminación específicamente la contaminación urbana. Basándose en estudios epidemiológicos realizados en relación población / tiempo, los mismos indican que las mayoría de afecciones son atribuidas al material particulado. Existen efectos adversos después de exposiciones tanto a corto como a largo plazo, pero se ha demostrado mejoras en la salud con la disminución de la exposición a PM (MCCURRY, P., *et al.* 2004. p. 69).

Entre las dolencias experimentadas por los individuos sometidos a altas concentraciones de PM están irritación en garganta, y se ha visto empeora la condición de personas asmáticas. Los efectos adversos se manifiestan dependiendo de la exposición, y no existe evidencia que sugiera un valor umbral bajo el cual no existan efectos adversos.

1.6. La calidad del aire

Dentro de la investigación y por la atomización del método científico (BOLDO, E., QUEROL, X. 2014. p.1-3) y gracias a su enfoque epistemológico, la temática de la calidad del aire es enfocada desde los requerimientos de la Organización de la Salud, en cuanto a los contaminantes del aire. La información registrada se toma de la OMS y describe la concentración máxima de dichos contaminantes:

Tabla 2-1: Directrices Organización Mundial de la Salud para Material Particulado

Valores fijados en las Directrices	Media anual	Media en 24h
PM ₁₀	20 µg/m ³	50 µg/m ³
PM _{2,5}	10 µg/m ³	25 µg/m ³

Fuente: OMS. 2005

Las Directrices establecen valores referenciales para el material particulado entre otros contaminantes. Las directrices son fundadas con el fin de aminorar lo más posible las concentraciones de contaminantes. Como no se conoce un umbral de PM por debajo del cual desaparezcan los efectos nocivos para la salud, el valor recomendado debe representar un objetivo aceptable y alcanzable a fin de minimizar dichos efectos en función de las limitaciones, las capacidades y las prioridades locales en materia de salud pública.

1.6.1. Monitoreo calidad del aire

Un sistema de monitoreo de calidad del aire, consiste en metodologías, procedimientos y elementos; tanto humanos como técnicos, cuyo objetivo es la evaluación de parámetros físico, químicos incluyendo también meteorológicos, en forma constante; en un punto específico durante un determinado tiempo. Los entes reguladores ambientales se encargan de la regulación de la concentración de contaminantes mediante la medición y evaluación de los mismos.

1.6.2. Diseño del programa de monitoreo de calidad del aire

En la elaboración de un programa de muestreo el primer paso consiste en la determinación de los sitios en donde va a realizarse la toma de muestra en otros términos en donde se instalaran los equipos medidores (SBARATO, D., SBARATO, V., ORTEGA, J. 2007. p. 60-65). Por lo que es importante realizar las actividades a continuación:

- Desarrollar los objetivos en el plan de monitoreo
- Desarrollar los objetivos del plan de calidad
- Determinar las características de los sitios de monitoreo
- Seleccionar los puntos de medición

Una vez establecidos tanto los objetivos del plan de monitoreo como los del plan de calidad se procede a la determinación y selección de los lugares de muestreo.

1.6.3. Ubicación de los puntos

Para seleccionar los puntos de muestreo se considera una amplia gama de consideraciones entre ellas las fuentes de emisión cercanas, topografía del lugar y factores meteorológicos, históricos sobre la calidad del aire en caso de existir, entre otros. Es importante al momento de la selección de puntos contemplar la seguridad, la logística, los parámetros atmosféricos, entre otros.

1.6.4. Número de puntos de muestreo requeridos

Estima el número de puntos de monitoreo que se utilizará dentro de área determinada. Es preciso considerar la posibilidad que en algunas zonas donde sobrepase las concentraciones límite habrá que elevar el número de sitios de medición, también en ocasiones en donde se cuente con lapsos cortos de muestreo y las mediciones sean escasas.

1.6.5. Requerimientos del sitio de muestreo

Teniendo ya establecidos los sitios de muestreo, así como también la densidad de puntos de muestreo, es importante considerar factores relevantes con el fin de realizar un muestreo eficaz (OMS. 2004):

- Fácil acceso
- Seguridad
- Infraestructura
- Libre de obstáculos

Conjuntamente se considera la tecnología a manejar así tenemos: muestreadores activos, pasivos, automáticos, etc., por lo que cada uno tiene diferentes necesidades.

1.7. Ciudad de Riobamba - Provincia de Chimborazo

La ciudad de Riobamba, es la capital de la provincia de Chimborazo, se halla asentada en el valle del río Chambo que a su vez forma parte de la extensa cordillera de los Andes. Riobamba está posicionada en la zona norte de la provincia a una altura aproximada de 2750 m.s.n.m. El cantón se ubica entre las coordenadas 1°40' - 1°50' de latitud sur y 78°30' - 78°45' de longitud oeste. El Cantón Riobamba presenta una topografía irregular, las alturas fluctúan entre los 2600 y 4447 m.s.n.m. La cuenca más representativa pertenece al río Chambo, teniendo como tributarios los ríos Daldal, Timbul y Uldán.

El Cantón Riobamba debido a su posición geográfica presenta un clima generalmente frío, con una estación húmeda y otra seca (invierno, verano), una temperatura media de 14 °C y una pluviosidad de 423 mm (INHAMI, 2013).

En la actualidad Riobamba se divide en cinco parroquias urbanas:

- Lizarzaburu, Maldonado, Velasco, Veloz y Yaruquies,

y once parroquias rurales:

- San Juan, Licto, Calpi, Quimiag, Cacha, Flores, Punín, Cubijés, Licán, San Luis y Pungalá.

El cantón cuenta con 9556 km² de superficie aproximadamente, la ciudad como tal ocupa una superficie de 28 km² (CALDERÓN, M. 2012. p. 12).

Límites

Norte: Guano y Penipe

Sur: Colta y Guamote

Este: Chambo

Oeste: Provincia de Bolívar

1.7.1. Centro Histórico de la ciudad de Riobamba

Riobamba es la ciudad que tiene mucha historia de la República del Ecuador, tanto en la vida política, social y geográfica, debemos mencionar que ha Riobamba se la llama la Sultana de los Andes, la ciudad de las primicias, de los volcanes.

Riobamba fue la ciudad donde se dio la primera fundación de Santiago de Quito por Diego de Almagro, ciudad donde se conformó el primer Municipio del País, así mismo debemos indicar que es la ciudad donde realizo y creo la primera Constitución de la República del Ecuador, es por eso que se le denomina la Ciudad de las Primicias (<http://registromercantil.gob.ec/riobamba/quienes-somos-riobamba>. 2015).

El Cantón Riobamba se encuentra ubicado en la zona Sierra Centro, al sur de la Capital de la República. En las coordenadas a una altitud de 2754m.s.n.m. con una superficie de 2.900 hectáreas de área urbana.

El clima del cantón es templado seco con variaciones hacia el frío en las noches, la temperatura media anual es de 13.4 °C, posee una precipitación promedio de 200 - 500mm.

Un deleite para los turistas es sin duda, el centro histórico de la ciudad, sus casas y edificios de estilo neoclásico y ecléctico, la catedral es el ícono del catolicismo riobambeño, mientras que la historia de la ciudad se encuentra presente en el museo de arte religioso de las Madres Conceptas, uno de los más importantes de Sur América, ubicado en las calles Primera Constituyente y Espejo, aunque su restauración es reciente, cabe destacar que a mediados del siglo XX, fue uno de los más importantes hoteles de la ciudad. Hoy gracias al empeño de las autoridades, la ciudad cuenta con uno de los edificios más importantes y de relevancia del centro histórico.

Durante el transcurso del año se celebran importantes fiestas cívicas, religiosas y populares, entre las que podemos destacar, la fiesta en honor al Divino Niño Rey de Reyes, así como también la procesión del Martes Santo con la imagen del Señor del Buen Suceso.

Las fiestas del mes de abril, hacen de Riobamba una ciudad turística por excelencia.

Los días miércoles y sábados se realizan ferias, las que se caracterizan por ofrecer una variedad de productos y artesanías.

Nuestra ciudad forma parte de dos de los íconos naturales más importantes, como son, La Reserva Faunística y el Parque Nacional Sangay.

Una de las experiencias más inolvidables, es el viaje en tren, iniciando su recorrido en la estación del ferrocarril, que hoy se encuentra en proceso de reconstrucción, y sin duda es parte importante de nuestra historia (<http://www.chimborazo.gob.ec/chimborazo/index>. 2015).

El Centro Histórico de la ciudad de Riobamba ocupa 79 Ha, constituido a su vez por 190 manzanas en los cuales resaltan principalmente edificaciones, parques y monumentos, iglesias y

conventos, de valor histórico cultural incalculable. Debido a particulares características el Centro Histórico se ha vuelto objeto de gran interés turístico para propios y extraños.

La calle 10 de Agosto, es una de más simbólicas de la ciudad, considerándola como un eje longitudinal, donde se levantan estructuras únicas entre ellas: el Colegio Pedro Vicente Maldonado y el Ministerio de Obras Públicas, el Parque Sucre, empezando desde la calle Rocafuerte hasta la intersección con la calle Alvarado (TAMAYO, M. 2010. p. 40-41).



Fotografía 1-1: Parque Maldonado
Fuente: Erazo. R. 2014

1.8. Ley de Gestión Ambiental Ecuatoriana

En la Ley de Gestión Ambiental del Ecuador. Ley No. 37. RO/ 245 de 30 de Julio de 1999. El Congreso Nacional consideró:

Que la Constitución Política de la República del Ecuador, reconoce a las personas, el derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado y libre de contaminación; declara de interés público la preservación del medio ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país; establece un sistema nacional de áreas naturales protegidas y de esta manera garantiza un desarrollo sustentable; Que para obtener dichos objetivos es indispensable dictar una normativa jurídica ambiental y una estructura institucional adecuada.

Ley de Gestión Ambiental Título I ámbito y principios de la ley

Art. 1.- La presente Ley establece los principios y directrices de política ambiental; determina las obligaciones, responsabilidades, niveles de participación de los sectores público y privado en la gestión ambiental y señala los límites permisibles, controles y sanciones en esta materia.

Art. 2.- La gestión ambiental se sujeta a los principios de solidaridad, corresponsabilidad, cooperación, coordinación, reciclaje y reutilización de desechos, utilización de tecnologías alternativas ambientalmente sustentables y respecto a las culturas y prácticas tradicionales.

Art. 3.- El proceso de Gestión Ambiental, se orientará según los principios universales del Desarrollo Sustentable, contenidos en la Declaración de Río de Janeiro de 1992, sobre Medio Ambiente y Desarrollo.

Art. 4.- Los reglamentos, instructivos, regulaciones y ordenanzas que, dentro del ámbito de su competencia, expidan las instituciones del Estado en materia ambiental, deberán observar las siguientes etapas, según corresponda, desarrollo de estudios técnicos sectoriales, económicos, de relaciones comunitarias, de capacidad institucional y consultas a organismos competentes e información a los sectores ciudadanos.

Art. 5.- Se establece el Sistema Descentralizado de Gestión Ambiental como un mecanismo de coordinación transectorial, interacción y cooperación entre los distintos ámbitos, sistemas y subsistemas de manejo ambiental y de gestión de recursos naturales.

En el sistema participará la sociedad civil de conformidad con esta Ley.

Art. 6.- El aprovechamiento racional de los recursos naturales no renovables en función de los intereses nacionales dentro del patrimonio de áreas naturales protegidas del Estado y en ecosistemas frágiles, tendrán lugar por excepción previo un estudio de factibilidad económico y de evaluación de impactos ambientales (<http://www.derecho-ambiental.org/Derecho/Legislacion/Ley-Gestion-Ambiental-Ecuador.html>. 2004).

1.9. Texto Unificado Legislación Secundaria Medio Ambiente

El Texto Unificado Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio de Ambiente en el Libro VI De la Calidad Ambiental Anexo 4, denominado Norma de Calidad de Aire Ambiente (NCAA), consiste en una norma técnica dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental.

Como Objeto el Anexo 4 del TULMA establece: La presente norma tiene como objetivo principal el preservar o conservar la salud de las personas, la calidad del aire ambiente, el bienestar de los ecosistemas y del ambiente en general. Para cumplir con este objetivo, esta

norma establece los límites permisibles de emisiones al aire desde diferentes actividades. La norma provee los métodos y procedimientos destinados a la determinación de las emisiones al aire que se verifiquen desde procesos de combustión en fuentes fijas. Se provee también de herramientas de gestión destinadas a promover el cumplimiento con los valores de calidad de aire ambiente establecidos en la normativa pertinente.

Sobre el material particulado expresa que está constituido por material sólido o líquido en forma de partículas, con excepción del agua no combinada, presente en la atmósfera en condiciones normales. Se designa como PM_{2.5} al material particulado con diámetro aerodinámico menor a 2,5 µm. Por otro lado se designa como PM₁₀ al material particulado de diámetro aerodinámico menor a 10 µm. Sobre las partículas sedimentables se explica que consisten en material particulado, sólido o líquido, en general de tamaño mayor a 10 µm, y que es capaz de permanecer en suspensión temporal en el aire ambiente.

El PM₁₀, PM_{2.5} y Partículas Sedimentables se encuentran dentro del grupo de contaminantes comunes del aire ambiente.

La norma establece un valor límite máximo permisible de concentración, a nivel del suelo de un contaminante del aire durante un tiempo promedio de muestreo determinado. Para estos contaminantes se establecen las siguientes concentraciones máximas permitidas:

Tabla 3-1: Límites Máximos Permisibles para Material Particulado

Contaminante	Concentración
Partículas menores a 10 µm (PM ₁₀)	50 µg/m ³ (Promedio anual)
	150 µg/m ³ (Promedio en 24 horas)
Partículas menores a 2,5 µm (PM _{2.5})	15 µg/m ³ (Promedio anual)
	65 µg/m ³ (Promedio en 24 horas)

Fuente: Texto Unificado de Legislación Secundaria, Libro VI, Anexo 4. Calidad del aire.

1.10. Plan Nacional de Calidad del Aire

El Plan Nacional de Calidad del Aire aparece con el fin de cumplir la Constitución del Ecuador. En la que decreta que el Estado vigilará por el derecho a que la población viva en un medio ambiente sano y ecológicamente equilibrado, garantizando así un desarrollo sustentable. El objetivo principal del Plan Nacional de Calidad del Aire es lograr una gestión ambiental acorde a la calidad del recurso aire destinada a proteger la salud humana, los recursos naturales, favoreciendo así al progreso de la calidad de vida de la población ecuatoriana.

Para la evaluación y seguimiento del PNCA se implantan como indicadores del estado del aire las concentraciones promedio anuales de: partículas menores a 10 micrones PM₁₀, partículas menores a 2.5 micrones PM_{2.5}, dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂)

(www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/libro-calidad-aire. 2010. p. 3).

Diagnóstico sobre la Calidad del aire en el Ecuador

En el país se cuenta con pocas investigaciones sobre los efectos de la contaminación del aire en la salud de las personas, estos temas no han sido incluidos en los programas de desarrollo urbano, y no se han llevado a cabo estudios epidemiológicos relacionados con la contaminación del aire.

La percepción ciudadana está dirigida exclusivamente a los impactos que genera la contaminación sobre la salud, esto repercute en la escasa valoración de los impactos que la contaminación atmosférica genera en el tema del desarrollo social y económico.

Los efectos de la contaminación atmosférica sobre la economía del Ecuador no han sido establecidos por la falta de un conocimiento cierto de la calidad del aire en el país. En el momento en que la sociedad visualice el real problema de la contaminación, deberá originarse un fenómeno de la movilidad social que busque mejorar los hábitos y preferencias de uso y consumo, esto repercutirá en el mejoramiento de la salud y el desarrollo social.

El marco normativo aplicable a la gestión del aire se caracteriza por su fundamento constitucional y de derecho internacional, a nivel nacional, hay normas legales, orgánicas y ordinarias; así como normas secundarias (reglamentos, acuerdos, etc.) que regulan la gestión del aire. (www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/libro-calidad-aire. 2010. p. 4-5)

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Descripción del área de investigación

2.1.1. Unidad de Estudio

La investigación se llevó a cabo en la ciudad de Riobamba capital de la provincia de Chimborazo, ubicada en la zona centro del Ecuador, posicionándose en la Región #3, a la cual a su vez está constituida por las provincias de Tungurahua, Chimborazo, Pastaza y por ultimo Cotopaxi.

El Centro Histórico de Riobamba CHR posee características muy particulares, permaneciendo así en algunos sectores intacta su arquitectura clásica. El CHR está compuesto por viviendas, parques, mercados, plazas, iglesias y edificios cuya altura no supera los siete pisos en algunos casos.

2.1.2. Lugar de la Investigación

Los análisis Material Particulado fueron llevados a cabo en el Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental CESTTA, ubicado en las inmediaciones de la Facultad de Ciencias, perteneciente a la ESPOCH.

2.2. Materiales utilizados

2.2.1. Materiales para campo

- Libreta de apuntes
- Cinta de peligro
- Fundas plásticas ziploc
- Marcadores
- Guantes de látex

- Pinzas

2.2.2. Equipos

- ***Cabezal de captación selectivo PM_{10} y $PM_{2,5}$***

El muestreador absorbe un volumen de aire en un tiempo determinado recogiendo en el filtro a una velocidad constante. El filtro se sostiene de forma horizontal para que las partículas del aire captado desde abajo sean retenidas en este. Su estructura protege al filtro de posibles precipitaciones incluso ingreso de insectos entre otros desechos durante la toma de muestra. El cabezal selectivo está diseñado de una manera tal que minimiza las fugas de aire causal de error en lo referente a medición de volumen de aire muestreado.

- ***Soporte para cabezal de captación***

Consiste en una estructura sobre la cual se ubica el cabezal de captación selectivo.

- ***Cronometro***

Su función es dar inicio y fin al muestreo, esto para conseguir un tiempo de medición exacto el mismo tendrá un rango de confiabilidad de ± 15 min.

- ***Medidor de presión***

Consiste en un dispositivo destinado a la medición de la presión barométrica al momento de realizar la medición de material particulado.

- ***Equipo de calibración***

La calibración del dispositivo de medición de flujo del muestreador se realiza para establecer la trazabilidad de las mediciones de flujo posteriores a un patrón primario. Es posible calibrar el medidor de flujo en unidades de velocidad de flujo aproximada de $0,03 \text{ m}^3/\text{min}$, en un rango de 10 a $18 \text{ m}^3/\text{min}$.

- **Filtro**

La función del filtro es retener en su superficie las partículas de un diámetro específico, de un volumen de aire en un período de tiempo conocido. En el mercado hay diferentes tipos de filtro en función a: el costo, la facilidad de manejo, características, físicas y químicas, entre otras; de esto dependerá la elección entre los diferentes filtros aceptables. Además, ciertos tipos de filtros no pueden ser adecuados para su empleo con algunos muestreadores, cuando existen concentraciones altas de masa. Otros criterios de evaluación del filtro deben ser considerados para alcanzar los objetivos de muestreo y análisis individuales

- Cámara fotográfica digital
- Vehículo

2.2.3. Materiales para laboratorio

- Balanza analítica
- Desecador
- Estufa
- Cajas para filtros

2.3. Muestreo

2.3.1. Población

Se ha establecido que la población de estudio corresponde al aire ambiente del Centro Histórico de la ciudad de Riobamba.

2.3.2. Método de muestreo

El método de muestreo empleado en el estudio corresponde al tipo no probabilístico, debido a que la selección de los puntos de muestreo se realizó considerando el tránsito vehicular y la afluencia peatonal. Para lo cual se siguió los siguientes pasos:

- El primer aspecto en el muestreo consiste en definir la población y los sitios seleccionados para el muestreo.

- Una vez realizado el muestreo se procede a registrar a cada una de las unidades experimentales.
- Es necesario codificar a cada una de las unidades experimentales para su posterior tratamiento.

2.3.3. *Tamaño muestral*

El tamaño muestral corresponde a 9 unidades experimentales en el Centro Histórico de la ciudad de Riobamba tomado de 3 puntos ubicados en las siguientes calles:

- a) Juan de Lavalley y Av. Unidad Nacional
- b) José Joaquín de Olmedo y Cristóbal Colón
- c) Juan Larrea y Primera Constituyente

2.4. Diseño experimental

En la investigación se ejecutó 3 mediciones de Material Particulado PM_{10} y $PM_{2,5}$; en los 3 puntos de muestreo del Centro Histórico de la ciudad seleccionados, obteniendo así 9 unidades experimentales.

2.4.1. *Variables de la investigación*

- **Variable Dependiente**

Concentración de Material Particulado PM_{10} y $PM_{2,5}$ del Centro Histórico de Riobamba.

- **Variable Independiente**

Calidad del aire del Centro Histórico de la Ciudad de Riobamba.

2.5. Tipo de Diseño

2.5.1. *Diseño Factorial*

En esta investigación, se empleó el diseño tipo Factorial. En la Tabla 1-2 se representa las mediciones realizadas de Material Particulado (PM) en cada uno de los puntos escogidos para el muestreo del centro histórico de Riobamba. En la tabla 2-2 se halla la especificación para las fechas de medición.

En la tabla 3-2 se representa el diseño de la investigación. Un ejemplo MP P2F1 representa la relación que se experimenta entre el material particulado en el punto 2 (P2) y la medición del mismo en la fecha 1 (F1).

Tabla 1-2: Codificación Material Particulado muestreado en cada punto de medición

Código	Especificación
MP. P1	Material Particulado. Punto 1
MP. P2	Material Particulado. Punto 2
MP. P3	Material Particulado. Punto 3

Elaborado por: Gaibor V

Tabla 2-2: Codificación fecha de medición de Material Particulado

Código	Especificación
F1	Fecha de Medición 1
F2	Fecha de Medición 2
F3	Fecha de Medición 3

Elaborado por: Gaibor V

El diseño de la investigación radica en un diseño tipo Factorial, por la selección de los puntos de muestreo de material particulado y las mediciones realizadas en las 3 diferentes fechas.

Tabla 3-2: Diseño de la investigación

	F1	F2	F3
MP P1	MP P1F1	MP P1F2	MP P1F3
MP P2	MP P2F1	MP P2F2	MP P2F3
MP P3	MP P3F1	MP P3F2	MP P3F3

Elaborado por: Gaibor V

2.5.2. *Lógica del Diseño experimental*

En la tabla 4-2 demuestra la lógica del diseño, en la que se observa el grupo experimental, cada uno se asocia a 3 observaciones, no existe un grupo de control en este diseño experimental con el cual relacionar los resultados

Tabla 4-2: Lógica del diseño experimental

Grupo Experimental	Observaciones		
RG1	O1	O2	O3
RG2	O4	O5	O6
RG3	O7	O8	O9

Elaborado por: Gaibor V

Las observaciones constituyen los resultados del muestreo de material particulado por punto de monitoreo y en cada fecha escogida.

Tabla 5-2: Nomenclatura de la Lógica del diseño experimental

Código	Especificaciones
R	Material Particulado. Muestreo no Aleatorio
G1	Material particulado
O1 ,O2,O3,O4,O5, O6, O7, O8 O9	Análisis cualitativo y cuantitativo posterior al muestreo de material particulado.

Elaborado por: Gaibor V

2.6. Metodología

2.6.1. Método Científico

El método científico como tal está constituido por tres fases:

- **Observación:**

A través de la recopilación de bibliografía y búsqueda de antecedentes se halló que se han realizado varios estudios sobre la calidad del aire en Riobamba y material particulado, por ello se realizó el estudio para conocer la concentración actual de las partículas en el Centro Histórico.

- **Planteamiento de la Hipótesis:**

La concentración de Material Particulado del Centro Histórico de la Ciudad de Riobamba es un parámetro que contribuye a la determinación de la calidad del aire del mismo.

- **Comprobación:**

Una vez realizado el muestreo de material particulado PM_{10} y $PM_{2,5}$ mediante un análisis cuantitativo y comparativo se cotejó los resultados obtenidos con la normativa vigente para así conocer cuál es el estado de la calidad del aire en el Centro Histórico.

Cuadro 1-2: Método Científico



Elaborado por: Gaibor V

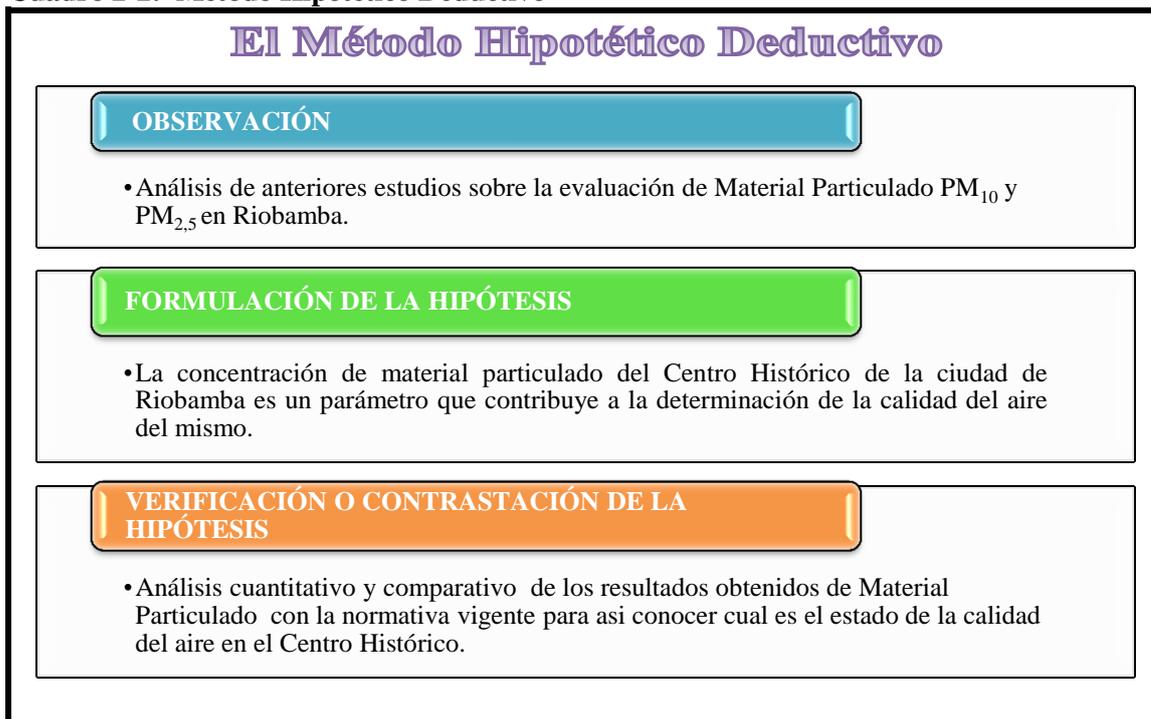
2.6.2. *Método Hipotético deductivo*

El método hipotético deductivo se fundamenta en tres fases las cuales son:

- **Observación**

- a) Se realizó un análisis sobre las evaluaciones anteriormente realizadas sobre Material Particulado en Riobamba para conocer la concentración del contaminante años atrás.
- b) Se determinó la concentración de Material Particulado en diferentes puntos del Centro Histórico de la localidad.

Cuadro 2-2: Método Hipotético Deductivo



Elaborado por: Gaibor V

El método hipotético deductivo se fundamenta en tres fases las cuales son:

- **Observación**
 - a) Se realizó un análisis sobre las evaluaciones anteriormente realizadas sobre Material Particulado en Riobamba para conocer la concentración de los contaminantes años atrás.
 - b) Se determinó la concentración de Material Particulado en diferentes puntos del Centro Histórico de la localidad.
- **Formulación de hipótesis general y específicas que expliquen los hechos observados**

Hipótesis General

La concentración de Material Particulado del Centro Histórico de la Ciudad de Riobamba es un parámetro que contribuye a la determinación de la calidad del aire del mismo.

Hipótesis específicas

- La concentración de PM_{10} depende del lugar de monitoreo.
- La concentración de PM_{10} es mayor a lo establecido en el Acuerdo 050 del Ministerio de Ambiente del Ecuador-TULSMA Libro VI, Anexo 4.

- La concentración de PM_{2,5} depende del lugar de monitoreo.
- La concentración de PM_{2,5} es mayor a lo establecido en el Acuerdo 050 del Ministerio de Ambiente del Ecuador-TULSMA Libro VI, Anexo 4.
- **Verificación o constatación de la hipótesis**

La constatación de la hipótesis, en esta fase se efectúa mediante la realización de la investigación, mediante un Análisis cuantitativo y comparativo de los resultados obtenidos de Material Particulado con la normativa vigente para así conocer cuál es el estado de la calidad del aire en el Centro Histórico.

2.6.3. Método estadístico

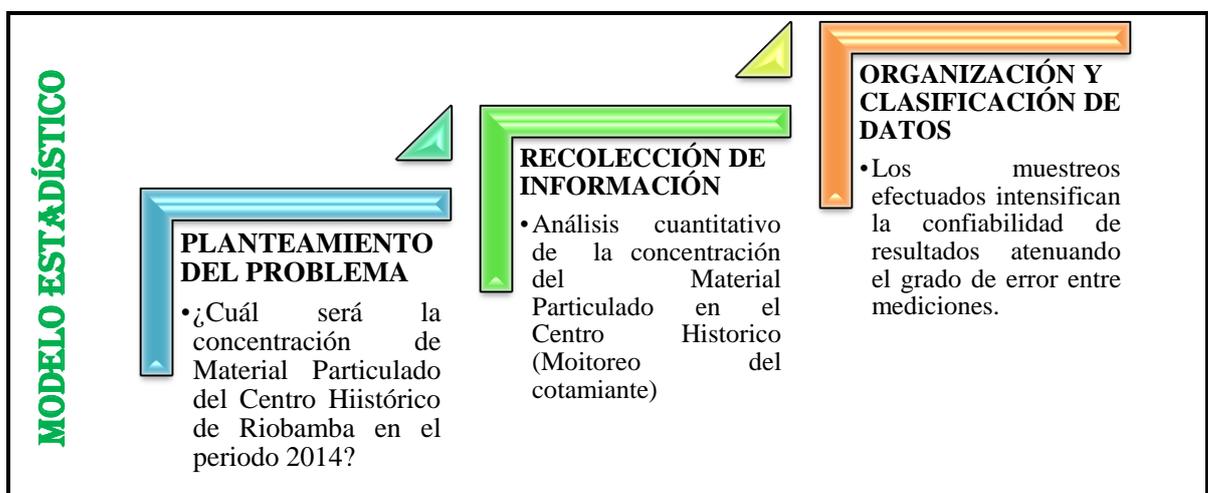
Recolección de la información.- En la recolección de la información se elaboró un análisis cuantitativo sobre la concentración del Material Particulado en el Centro Histórico comparándolo posteriormente con la normativa vigente.

Organización y clasificación de los datos

En la etapa de organización y clasificación de datos se derivaron los siguientes pasos:

- Análisis cuantitativo haciendo múltiples repeticiones intensificando la confiabilidad de resultados.

Cuadro 3-2: Método Estadístico



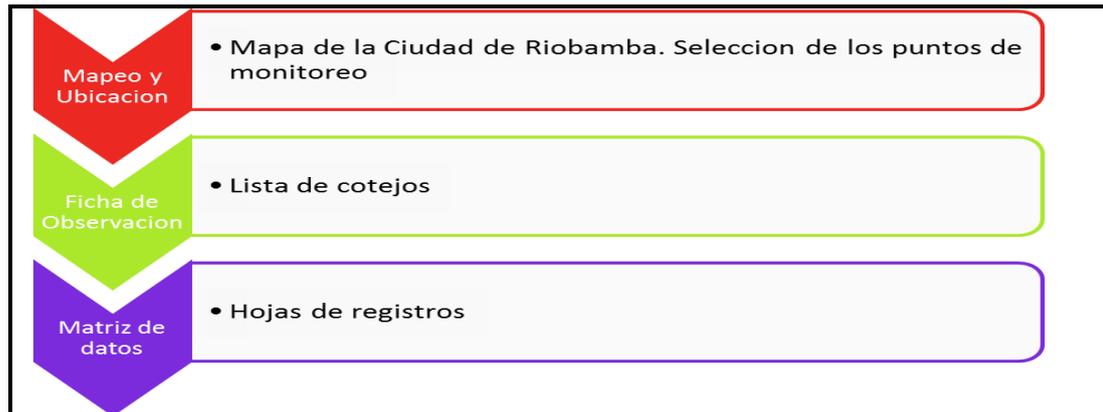
Elaborado por: Gaibor V

2.7. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.7.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En la recolección de datos las técnicas e instrumentos aplicados se describen en el cuadro 4-2:

Cuadro 4-2: Técnicas e instrumentos de recolección de datos



Elaborado por: Gaibor V

2.7.2. Técnicas e instrumentos de análisis de datos

• Prueba T-student

Este test se manejó por consistir en una distribución de probabilidad para valorar medias poblacionales cuando se cuenta con muestras pequeñas además, sirve para la determinación de diferencias entre dos medias muestrales y para la estimación del intervalo de confianza en la diferencia de las medias..

• Prueba Chi-Cuadrado

Se utilizó esta prueba estadística no paramétrica que resultó adecuada para la investigación ya que puede emplearse también con datos ponderables en una escala nominal.

La hipótesis nula del test Chi-cuadrado consiste una distribución de probabilidad específica como el modelo matemático de la población generado por la muestra.

2.8. Parte Experimental

2.8.1. Determinación de los puntos de muestreo

El número de lugares para la toma de muestra se ha determinado según las recomendaciones de la Organización Mundial de Salud que considera el número de habitantes en el área que se pretende monitorear, así como también los recursos económicos, humanos y tecnológicos disponibles.

Considerando que el número de habitantes existen en el Centro Histórico es inferior a un millón y las condiciones meteorológicas se han establecido 3 puntos de muestreo.

2.8.2. Ubicación de los puntos de muestreo

La ubicación de las estaciones de medición se ha establecido en función de los objetivos y del área a cubrir. Actualmente el monitoreo en las ciudades se lleva a cabo en sitios seleccionados con base en la experiencia y en la información con que se cuenta para el estudio, siendo estos sitios representativos del área que se pretende monitorear. Empleando las recomendaciones, se han establecido los siguientes lugares de muestreo:

- P1. Plaza Alfaro (Estación del tren).Juan de Lavalle y Av. Unidad Nacional
- P2. La Merced. José Joaquín de Olmedo y Cristóbal Colon
- P3. Parque Sucre.Juan Larrea y Primera Constituyente

Tabla 6-2: Recomendaciones de número mínimo de estaciones

PARÁMETROS DE MONITOREO						
Población urbana (millones)	PM ₁₀	SO ₂	NO _x	Oxidantes	CO	Meteorológicos (Velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad, gradiente de temperatura)
menor de 1	2	4	1	1	1	1
1-4	5	5	2	2	2	2
4-8	8	8	4	3	4	2
mayor de 8	10	10	5	4	5	3

Fuente: OMS. 2004

Elaborado por: Gaíbor V

2.8.5. Consideraciones previas al muestreo

- Inspeccionar cada filtro para notar la ausencia de agujeros, partículas entre otros defectos. Designar una identificación a cada filtro.
- Colocar los filtros en la estufa, a una temperatura de 105 °C, ± 3 °C, por un período de 3 horas.
- Sacar los filtros y colocarlos en el desecador. Pesar los filtros y anotar el peso.



Fotografía 2-2: Pesaje de Filtros
Elaborado por: Gaibor V

2.8.6. Muestreo de Material Particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$

- Encender el equipo para la ejecución.
- Registrar la lectura del indicador de flujo y, si es necesario, la temperatura ambiente y la presión barométrica.
- Determinar el caudal de toma de muestras (m^3/min).
- Si el caudal está fuera del rango aceptable, verificar que no haya fugas, y si es necesario, ajustar el caudal al punto de ajuste especificado. Detener el muestreador.
- Ajustar el cronometro para iniciar y detener el muestreador en el momento adecuado.
- Registrar la información de la muestra la ubicación del sitio o número de identificación, fecha de la muestra, el número de identificación del filtro.
- Tomar la muestra durante el periodo de tiempo establecido.
- Retirar con cuidado el filtro de la toma de muestras. Toque sólo los bordes exteriores del filtro.
- Colocar el filtro en un soporte protector o recipiente.
- Llevar el filtro de la muestra expuesta al ambiente acondicionado filtro tan pronto como sea posible para el equilibrio y al posterior pesaje.
- Tomar coordenadas.



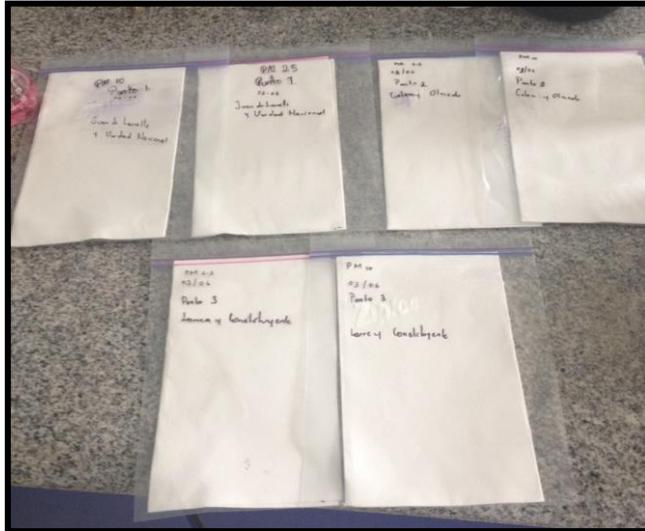
Fotografía 3-2: Muestreo de Material Particulado
Elaborado por: Gaibor V



Fotografía 4-2: Muestreo de Material Particulado
Elaborado por: Gaibor V

2.8.7. Manejo de filtros PM_{10} y $PM_{2.5}$ en laboratorio

- Sacar los filtros del soporte protector, con la ayuda de pinzas, manejándolos de los bordes.
- Colocar de nuevo el filtro en la estufa por un periodo de 3 horas, a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$, poner los filtros en el desecador.
- Pesar de nuevo el filtro y anotar el peso post muestreo con el número de identificación del filtro.



Fotografía 5-2: Codificación de filtros
Elaborado por: Gaibor V

2.8.8 *Calculo de Material Particulado*

Para determinar la cantidad de material particulado retenido en el filtro es necesario calcular la tasa media de flujo (Q_{std}) durante la toma para esto se emplea la siguiente fórmula:

$$Q_{std} = Q_a * \frac{P_{av}}{T_{av}} * \frac{T_{std}}{P_{std}}$$

Donde:

Q_{std} = tasa media de flujo en condiciones de referencia de la EPA, $std \text{ m}^3 / \text{min}$;

Q_a = velocidad media de flujo en condiciones ambientales, m^3 / min ;

P_{av} = presión barométrica promedio durante el período de muestreo o la presión barométrica promedio para el sitio de muestreo, en kPa (o mm Hg);

T_{av} = temperatura media del ambiente durante el período de muestreo, °K;

T_{std} = temperatura estándar, definida como 298 °K;

P_{std} = presión estándar, definido como 101,3 kPa (o 760 mm Hg).

Cálculo del volumen de aire

El volumen del aire muestreado es calculado mediante la siguiente formula en donde se realiza un producto entre la tasa media de flujo y el tiempo de muestreo:

$$V_{std} = Q_{std} * t$$

Donde:

V_{std} = total de aire muestreado en unidades de volumen estándar, $std \text{ m}^3$;

t = tiempo de muestreo, mín.

Calculo de la concentración de PM₁₀ y PM_{2.5}

La siguiente fórmula hace referencia los pesos iniciales y finales de los filtros y al volumen del aire muestreado:

$$PM_{(10)(2.5)} = (Wf - Wi) * 10^6 / Vstd$$

Donde

PM₁₀ = concentración en masa de PM₁₀, $\mu\text{g} / \text{m}^3$ std;

W_i = peso inicial del filtro

W_f = peso final del filtro

10⁶ = conversión de g a μg .

Vstd = volumen total muestreado en condiciones estándar

CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS Y RESULTADOS

3.1. Desarrollo experimental

La estimación de Material Particulado PM_{10} y $PM_{2,5}$, fue efectuada en 3 puntos diferentes, ubicados en el Centro Histórico de Riobamba. El pesaje de los filtros, al inicio y al final del muestreo se efectuó en el Centro de Servicio Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental (CESTTA), situado en las inmediaciones de la Facultad de Ciencias perteneciente a la ESPOCH.

3.2 Caracterización del sitio objeto de la investigación

En el levantamiento de la caracterización del sitio objeto de la investigación se detallan la caracterización de la Línea Base Ambiental del Cantón Riobamba.

3.2.1 Situación Geográfica

Cantón Riobamba.- Riobamba, capital de la provincia de Chimborazo, en conocida como la "Ciudad de las primicias, "Sultana de los Andes", "Cuna de la nacionalidad ecuatoriana", "Corazón de la Patria". Se encuentra en el centro geográfico del país, en la cordillera de los Andes, cerca de diversos volcanes como el Chimborazo, el Tungurahua, el Altar y el Carihuarazo. (Plan de trabajo para los concejales urbanos. 2014)

Provincia: Chimborazo.

Población: 455.212 habitantes

Capital: Riobamba

Población Riobamba: 263.412 (49,2% respecto a la provincia de Chimborazo)

Límites: El cantón Riobamba está limitado al Norte por los cantones Guano y Penipe; al Sur por los cantones Colta y Guamote; al Este por el cantón Chambo y la provincia de Morona Santiago; y al Oeste por la provincias de Bolívar y Guayas.



Figura 1-3: Mapa de la Provincia de Chimborazo

Fuente: <http://www.mapasecuador.net/mapa/mapa-chimborazo-mapa-geografico.html>

Temperatura promedio: La temperatura promedio es de 14° C. Las más altas temperaturas registradas corresponden al mediodía con 23° C.

Superficie: 2900 hectáreas de área urbana

Parroquias: Las parroquias rurales que conforman el cantón Riobamba son: Cacha, Calpi, Cubijés, Flores, Licán, Licto, Pungalá, Punín, Químiag, San Juan, San Luis.

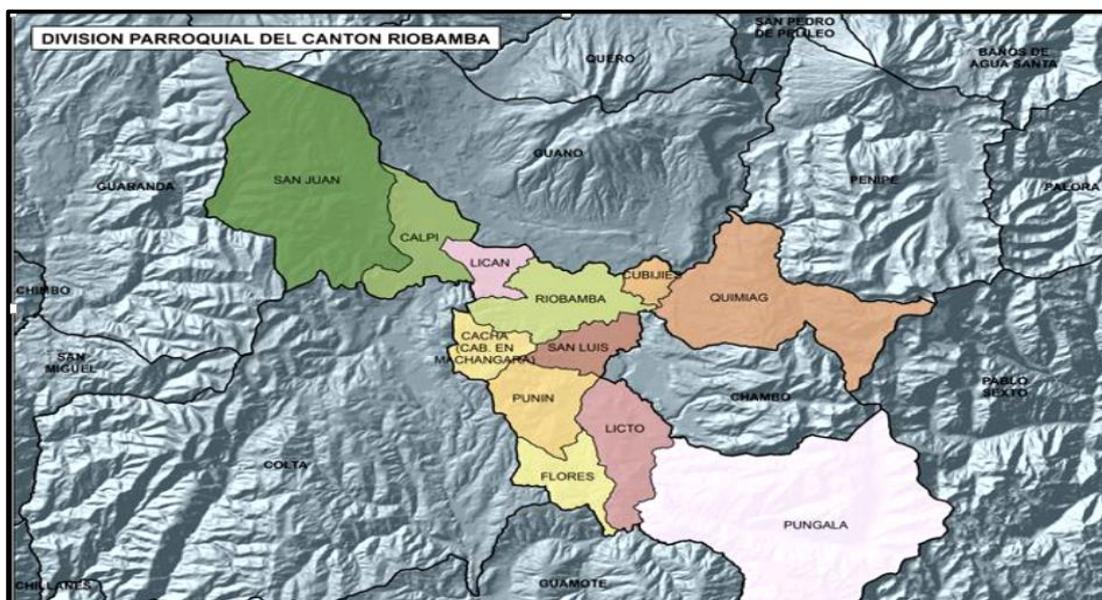


Figura 2-3: División parroquial del Cantón Riobamba

Fuente: INEC. 2010.

3.2.2 Clima

El clima de la ciudad Riobamba no tiene una marcada regularidad, sin embargo, pueden establecerse dos períodos: el verano, de agosto a enero, con presencia de vientos fuertes, sol

intenso durante el día y frío durante las noches, el invierno, de febrero a julio, con temporadas lluviosas, si se lo puede definir el clima imperante en la zona de estudio es durante la mayor parte del tiempo Mesotermico húmedo a semihumedo (CAZORLA, E. 2014. p. 40)

Tabla 1-3: Parámetros climáticos promedio de Riobamba

CLIMATOLOGÍA													
Mes	En	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Temperatura máxima registrada (°C)	24	23	24	26	23	25	23	24	23	23	24	23	24
Temperatura diaria máxima (°C)	19	19	20	21	19	19	20	19	19	19	20	20	19
Temperatura diaria mínima (°C)	13	10	10	13	10	10	11	8	11	11	12	12	11
Temperatura mínima registrada (°C)	1	1	-2	-4	0	0	-3	-1	2	0	0	1	-1
Precipitación (mm)	25	45	52	51	30	38	16	17	29	48	46	28	425

Fuente: Anuario meteorológico. INAMHI. 2010

Los vientos de Riobamba pueden producir una sensación térmica de bajas temperaturas, en algunas épocas del año, la temperatura diaria puede variar de los 11°C a 19 °C, rara vez se han registrado temperaturas por mayor de los 24 °C, en cuanto a las precipitaciones se tiene un promedio anual de 425 mm. La temperatura mínima diaria es de 5 a 8 °C, en las mañanas y madrugadas, y la temperatura máxima se detecta al medio día de 23 °C, con una temperatura promedio de 14 a 15 °C. (CAZORLA, E. 2014. p. 42)

3.2.3 Geomorfología

Regionalmente esta zona corresponde a la denominada depresión Interactiva, rasgos morfológicos con que se denomina a un hundimiento tectónico limitado por fallas longitudinales de dirección general N-S, que posteriormente a sido afectada por diferentes episodios volcánicos, originando fases acumulativas para luego ser disecadas por la erosión fluvial.

La altiplanicie de Tapi, que va desde los 2500 a 3000m.s.n.m, donde se encuentra asentada la ciudad de Riobamba presenta un predominio de pequeñas colinas con cimas redondeadas y zonas planas y Su morfogénesis está relacionada con las diferentes fases de relleno y depósitos de materiales detríticos en su basamento, los cuales fueron posteriormente cubiertos por

potentes depósitos volcánicos provenientes del Chimborazo, de tipo nube ardiente, laharríticos y flujos de lava uno de los cuales llegó inclusive cerca de la localidad de Guano. (TORRES, J. 2009. p. 62)

A su vez fueron fosilizados por depósitos piroclásticos predominantemente construidos por ceniza volcánica. Hacia el norte del río Guano y su conjunto de formas aluviales delimita la planicie de Tapi, mientras que hacia el sur limita esta planicie un sistema de terraza originado por la actividad volcánica y acción fluvial predominante del río Chambo. (TORRES, J. 2009. p. 69)

3.2.4 Topografía

Alrededor de la ciudad de Riobamba se encuentran ubicados nevados destacándose el Chimborazo además de cuerpos montañosos, dando lugar a una topografía considerada como accidentada. El centro histórico de la Ciudad presenta una pendiente con una escasa pronunciación, lo que permite la uniformidad en la circulación del aire y partículas.

3.2.5 Meteorología

Las variables meteorológicas como: presión, humedad, temperatura están relacionados con la dispersión de contaminantes así como también las condiciones de su esparcimiento.

3.2.5.1 Velocidad y Dirección del viento

Mayoría de procesos de transporte de partículas obedecen fundamentalmente al viento. En la tabla 2-3 y el gráfico 1-3 se describe la orientación del viento, velocidad máxima y mínima del viento durante los muestreos, determinados que la velocidad del viento máxima es durante los meses de junio al mes de agosto que corresponde a la estación de verano en la sierra y la velocidad del viento mínima es durante el mes de octubre.

Tabla 2-3: Dirección y velocidad del viento

Fecha	Orientación del viento	Velocidad Máx. (m/s)	Velocidad Mín. (m/s)
Junio / 2014	Noroeste	2,7	1,1
Agosto / 2014	Noroeste	3,1	1,8
Octubre / 2014	Noreste	1,8	0,9

Elaborado por: Gaibor V



Gráfico 1-3: Dirección y velocidad del viento durante los muestreos
Elaborado por: Gaibor V

3.2.5.2 Temperatura, precipitación, humedad y presión atmosférica

Durante las fechas de muestreo se registró la temperatura, precipitación, humedad y presión atmosférica, dichas variables se describen en la tabla 3-3 que a continuación se describe:

Tabla 3-3: Temperatura, precipitación, humedad y presión atmosférica. Junio / 2014

Variables Atmosféricas Junio / 2014			
	Punto 1	Punto 2	Punto 3
Temperatura (° C)	18	19	18
Precipitación (mm)	0	0	0
Humedad (%)	62	62	60
Presión Atm. (mmHg)	540	540	540
Variables Atmosféricas Agosto / 2014			
	Punto 1	Punto 2	Punto 3
Temperatura (° C)	17	19	17
Precipitación (mm)	0	0	0
Humedad (%)	59	60	60
Presión Atm. (mmHg)	540	540	540
Variables Atmosféricas Octubre / 2014			
	Punto 1	Punto 2	Punto 3
Temperatura (° C)	19	18	20
Precipitación (mm)	0	0	0
Humedad (%)	63	62	58
Presión Atm. (mmHg)	540	540	540

Elaborado por: Gaibor V

De acuerdo a la tabla 2-3 y gráfico 2-3 se determina que el rango de temperatura durante los meses de junio a Octubre está entre 17 a 20 °C, lo que corresponde a los promedios indicados en la tabla 1-3 del Anuario meteorológico 2010 INAMHI.

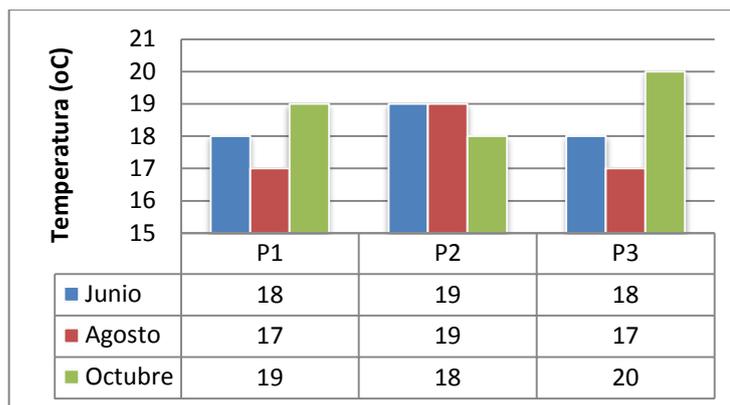


Gráfico 2-3: Temperatura durante los muestreos
Elaborado por: Gaibor V

De acuerdo a la tabla 2-3 y gráfico 2-3 se determina que el rango de temperatura durante los meses de junio a Octubre está entre 17 a 20 °C, lo que corresponde a los promedios indicados en la tabla 1-3 del Anuario meteorológico 2010 INAMHI.

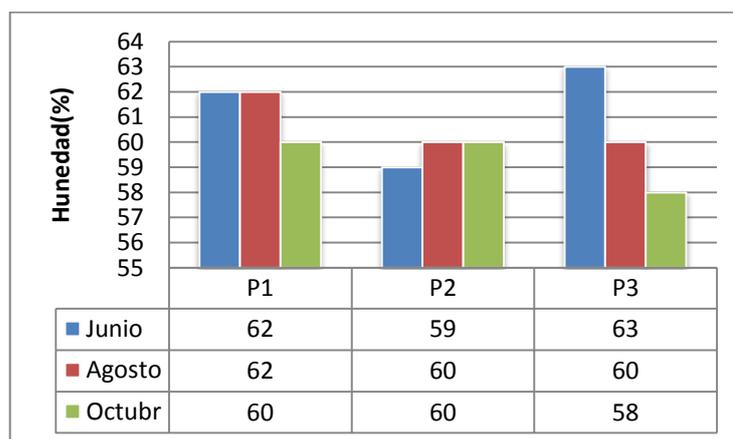


Gráfico 3-3: Humedad durante los muestreos
Elaborado por: Gaibor V

El porcentaje de humedad mínima se tiene durante el mes de octubre en el punto 3 y la máxima en el mes de junio en el punto 3 que corresponde al Parque Sucre.

3.3 Determinación de los puntos de muestreo

En investigaciones anteriores se poseen resultados que demuestran que existe mayor contaminación en el centro histórico de Riobamba (CHALACAN, R., 2012, p. 45). Se tomaron aleatoriamente los tres puntos indicados en el tabla 4-3 en consideración ya que corresponde a los lugares donde existe mayor congestión vehicular y peatonal.

Las mediciones de Material Particulado se llevaron a cabo en tres puntos estratégicos de la urbe:

Tabla 4-3: Puntos de muestreo en el Centro Histórico de Riobamba

Punto	Calles	Referencia
1	Juan de Lavalley y Av. Unidad Nacional	Plaza Alfaro
2	José Joaquín de Olmedo y Cristóbal Colon	La Merced
3	Juan Larrea y Primera Constituyente	Parque Sucre

Elaborado por: Gaibor V

Ubicación geográfica

Coordenadas Proyectadas UTM Zona 17M, DATUM WGS 84

Tomadas en cada sitio de medición.

Tabla 5-3: Coordenadas de puntos de muestreo en el Centro Histórico de Riobamba

Punto	Altitud (m)	Coordenadas
1	2766	17 M 760925/9815301
2	2759	17M 761369/9814811
3	2761	17M 761468/9815055

Elaborado por: Gaibor V

3.4 Datos de las Mediciones de Material Particulado PM_{10} y $PM_{2,5}$

En la tabla 6-3 se describe los datos in situ que expresa el equipo en condiciones de trabajo que son: Tasa media de flujo condiciones de referencia, Tasa media de flujo, presión barométrica, temperatura estándar, temperatura ambiente, presión estándar, los mismos que sirven para calcular la concentración real de PM_{10} y $PM_{2,5}$ en condiciones estándares en los tres puntos a investigar.

Tabla 6-3: Datos del muestreo realizado en Junio 2014

PUNTO 1					
Calles : Juan de Lavalley y Av. Unidad Nacional					
Fecha: 2 de Junio					
Tasa media de flujo condiciones de referencia EPA $Q_{std} (m^3/min)$	Tasa media de flujo $Q_a (m^3/min)$	Presión Barométrica promedio $P_{av} (mmHg)$	Temperatura estándar $T_{std} (°K)$	Temperatura ambiente $T_{av} (°K)$	Presión estándar $P_{std} (mmHg)$
0,8157	1,1210	540	298	291	760
Material particulado PM_{10}			Material particulado $PM_{2,5}$		
Peso inicial del filtro (g)	Peso final del filtro (g)	Peso inicial del filtro (g)	Peso final del filtro (g)		
4,6443	4,6549	4,6564	4,6635		
Volumen de aire muestreado (m^3)			Tiempo de muestreo (min)		
146,81			180		
Material particulado $PM_{10} (\mu g/m^3)$			Material particulado $PM_{2,5} (\mu g/m^3)$		
72,20			48,36		

PUNTO 2					
Calles : José Joaquín de Olmedo y Cristóbal Colon					
Fecha: 2 de Junio					
Tasa media de flujo condiciones de referencia EPA Q_{std} (m^3/min)	Tasa media de flujo Q_a (m^3/min)	Presión Barométrica promedio P_{av} (mmHg)	Temperatura estándar T_{std} (° K)	Temperatura ambiente T_{av} (° K)	Presión estándar P_{std} (mmHg)
0,8129	1,1210	540	298	292	760
Material particulado PM_{10}			Material particulado $PM_{2,5}$		
Peso inicial del filtro (g)	Peso final del filtro (g)	Peso inicial del filtro (g)	Peso final del filtro (g)		
4,6577	4,6830	4,6798	4,6901		
Volumen de aire muestreado (m^3)			Tiempo de muestreo (min)		
146,31			180		
Material particulado PM_{10} ($\mu g/m^3$)			Material particulado $PM_{2,5}$ ($\mu g/m^3$)		
172,91			70,40		
PUNTO 3					
Calles : Juan Larrea y Primera Constituyente					
Fecha: 3 de Junio					
Tasa media de flujo condiciones de referencia EPA Q_{std} (m^3/min)	Tasa media de flujo Q_a (m^3/min)	Presión Barométrica promedio P_{av} (mmHg)	Temperatura estándar T_{std} (° K)	Temperatura ambiente T_{av} (° K)	Presión estándar P_{std} (mmHg)
0,8149	1,1200	540	298	291	298
Material particulado PM_{10}			Material particulado $PM_{2,5}$		
Peso inicial del filtro (g)	Peso final del filtro (g)	Peso inicial del filtro(g)	Peso final del filtro (g)		
4,6679	4,6929	4,6540	4,667		
Volumen de aire muestreado (m^3)			Tiempo de muestreo (min)		
146,68			180		
Material particulado PM_{10} ($\mu g/m^3$)			Material particulado $PM_{2,5}$ ($\mu g/m^3$)		
170,43			88,62		

Elaborado por: Gaibor V

Tabla 7-3: Datos del muestreo realizado en Agosto 2014

PUNTO 1					
Calles : Juan de Lavalle y Av. Unidad Nacional					
Fecha: 12 de Agosto					
Tasa media de flujo condiciones de referencia EPA Q_{std} (m^3/min)	Tasa media de flujo Q_a (m^3/min)	Presión Barométrica promedio P_{av} (mmHg)	Temperatura estándar T_{std} ($^{\circ}K$)	Temperatura ambiente T_{av} ($^{\circ}K$)	Presión estándar P_{std} (mmHg)
0,8178	1,1201	540	298	290	760
Material particulado PM_{10}			Material particulado $PM_{2,5}$		
Peso inicial del filtro (g)	Peso final del filtro (g)	Peso inicial del filtro (g)	Peso final del filtro (g)		
4,6440	4,6580	4,6572	4,6640		
Volumen de aire muestreado (m^3)		Tiempo de muestreo (min)			
147,20		180			
Material particulado PM_{10} ($\mu g/m^3$)			Material particulado $PM_{2,5}$ ($\mu g/m^3$)		
95,10			46,19		
PUNTO 2					
Calles : José Joaquín de Olmedo y Cristóbal Colon					
Fecha: 12 de Agosto					
Tasa media de flujo condiciones de referencia EPA Q_{std} (m^3/min)	Tasa media de flujo Q_a (m^3/min)	Presión Barométrica promedio P_{av} (mmHg)	Temperatura estándar T_{std} ($^{\circ}K$)	Temperatura ambiente T_{av} ($^{\circ}K$)	Presión estándar P_{std} (mmHg)
0,8075	1,1201	540	298	292	760
Material particulado PM_{10}			Material particulado $PM_{2,5}$		
Peso inicial del filtro (g)	Peso final del filtro(g)	Peso inicial del filtro (g)	Peso final del filtro (g)		
4,6722	4,6987	4,6621	4,6711		
Volumen de aire muestreado (m^3)		Tiempo de muestreo (min)			
145,34		180			
Material particulado PM_{10} ($\mu g/m^3$)			Material particulado $PM_{2,5}$ ($\mu g/m^3$)		
182,32			61,92		
PUNTO 3					
Calles : Juan Larrea y Primera Constituyente					
Fecha: 13 de Agosto					
Tasa media de flujo condiciones de referencia EPA Q_{std} (m^3/min)	Tasa media de flujo Q_a (m^3/min)	Presión Barométrica promedio P_{av} (mmHg)	Temperatura estándar T_{std} ($^{\circ}K$)	Temperatura ambiente T_{av} ($^{\circ}K$)	Presión estándar P_{std} (mmHg)
0,8185	1,1211	540	298	290	298
Material particulado PM_{10}			Material particulado $PM_{2,5}$		
Peso inicial del filtro (g)	Peso final del filtro(g)	Peso inicial del filtro (g)	Peso final del filtro (g)		
4,6689	4,6933	4,6571	4,6662		
Volumen de aire muestreado (m^3)		Tiempo de muestreo (min)			
147,33		180			
Material particulado PM_{10} ($\mu g/m^3$)			Material particulado $PM_{2,5}$ ($\mu g/m^3$)		
165,61			61,76		

Elaborado por: Gaibor

Tabla 8-3: Datos del muestreo realizado en Octubre 2014

PUNTO 1					
Calles : Juan de Lavalle y Av. Unidad Nacional					
Fecha: 26 de Octubre					
Tasa media de flujo condiciones de referencia EPA Q_{std} (m^3/min)	Tasa media de flujo Q_a (m^3/min)	Presión Barométrica promedio P_{av} (mmHg)	Temperatura estándar T_{std} ($^{\circ}K$)	Temperatura ambiente T_{av} ($^{\circ}K$)	Presión estándar P_{std} (mmHg)
0,8121	1,1200	540	298	292	760
Material particulado PM_{10}			Material particulado $PM_{2,5}$		
Peso inicial del filtro (g)		Peso final del filtro (g)	Peso inicial del filtro (g)		Peso final del filtro (g)
4,6455		4,6570	4,6657		4,6721
Volumen de aire muestreado (m^3)			Tiempo de muestreo (min)		
146,185			180		
Material particulado PM_{10} ($\mu g/m^3$)			Material particulado $PM_{2,5}$ ($\mu g/m^3$)		
78,67			43,78		
PUNTO 2					
Calles : José Joaquín de Olmedo y Cristóbal Colon					
Fecha: 26 de Octubre					
Tasa media de flujo condiciones de referencia EPA Q_{std} (m^3/min)	Tasa media de flujo Q_a (m^3/min)	Presión Barométrica promedio P_{av} (mmHg)	Temperatura estándar T_{std} ($^{\circ}K$)	Temperatura ambiente T_{av} ($^{\circ}K$)	Presión estándar P_{std} (mmHg)
0,8157	1,1210	540	298	291	760
Material particulado PM_{10}			Material particulado $PM_{2,5}$		
Peso inicial del filtro (g)		Peso final del filtro (g)	Peso inicial del filtro (g)		Peso final del filtro (g)
4,6756		4,6996	4,6697		4,6798
Volumen de aire muestreado (m^3)			Tiempo de muestreo (min)		
146,81			180		
Material particulado PM_{10} ($\mu g/m^3$)			Material particulado $PM_{2,5}$ ($\mu g/m^3$)		
163,47			68,79		
PUNTO 3					
Calles : Juan Larrea y Primera Constituyente					
Fecha: 27 de Octubre					
Tasa media de flujo condiciones de referencia EPA Q_{std} (m^3/min)	Tasa media de flujo Q_a (m^3/min)	Presión Barométrica promedio P_{av} (mmHg)	Temperatura estándar T_{std} ($^{\circ}K$)	Temperatura ambiente T_{av} ($^{\circ}K$)	Presión estándar P_{std} (mmHg)
0,8102	1,1211	540	298	293	298
Material particulado PM_{10}			Material particulado $PM_{2,5}$		
Peso inicial del filtro (g)		Peso final del filtro (g)	Peso inicial del filtro (g)		Peso final del filtro (g)
4,6699		4,6989	4,6640		4,6784
Volumen de aire muestreado (m^3)			Tiempo de muestreo (min)		
145,82			180		
Material particulado PM_{10} ($\mu g/m^3$)			Material particulado $PM_{2,5}$ ($\mu g/m^3$)		
198,86			98,75		

Elaborado por: Gaibor V

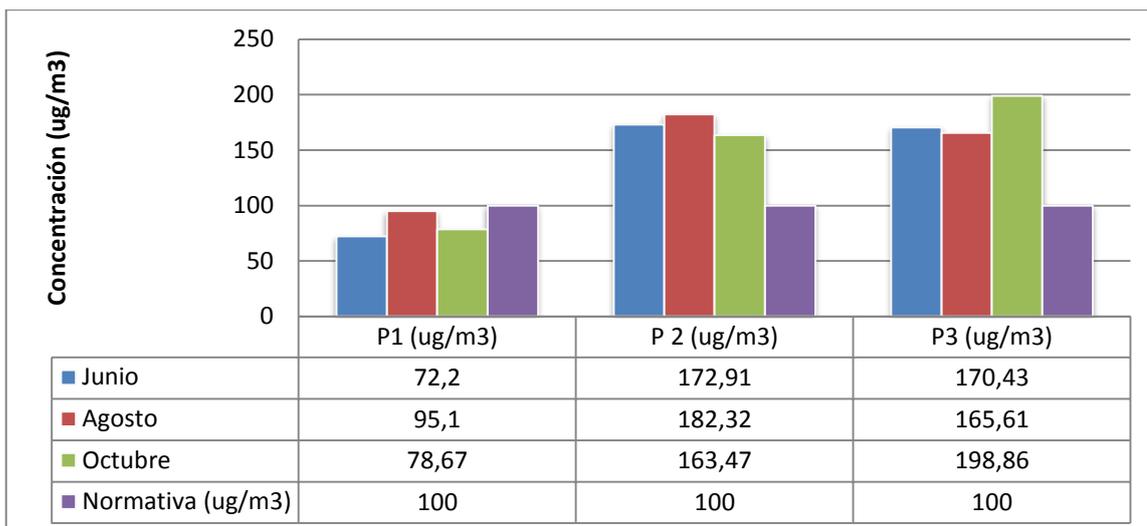


Gráfico 4-3: Mediciones Material Particulado PM₁₀. Junio, Agosto, Octubre 2014.

Elaborado por: Gaibor V

La mayor concentración de PM₁₀ se tiene en los puntos 2 La Marced y punto 3 Parque Sucre que supera la normativa de 100 (µg/m³) indicada en el TULSMA en el punto 1 la concentración está por debajo del máximo permitido.

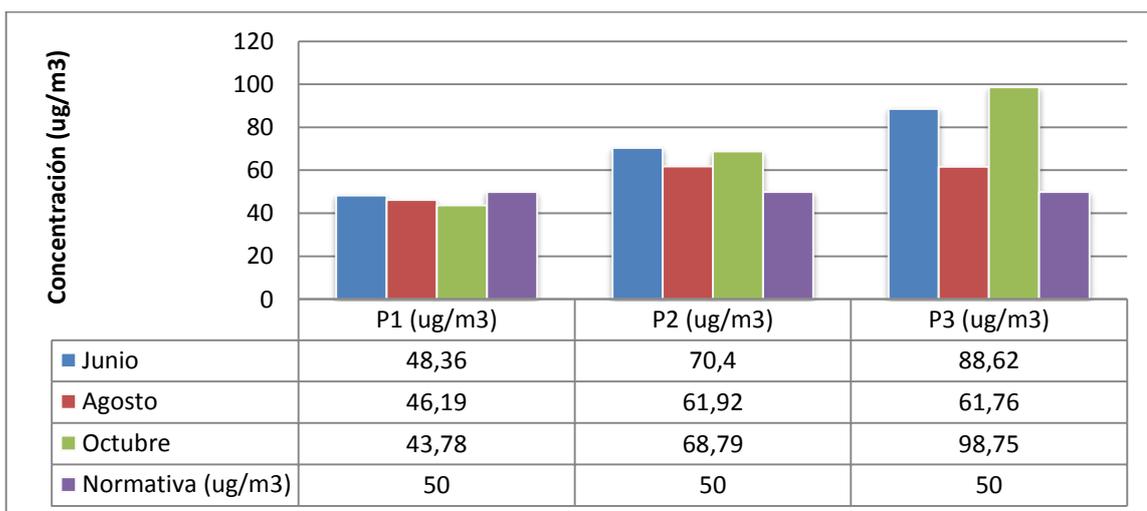


Gráfico 5-3: Mediciones Material Particulado PM_{2,5}. Junio, Agosto, Octubre 2014.

Elaborado por: Gaibor V

Igualmente para la concentración de PM_{2,5} el punto 1 Parque Alfaro se encuentra dentro del límite no así en los puntos 2 La Marced y punto 3 Parque Sucre que supera la normativa de 50 (µg/m³) indicada en el TULSMA.

3.5 Análisis estadístico

En primer lugar se procedió con la prueba del Chi-cuadrado desarrollando las hipótesis formuladas:

3.5.1 Prueba Hipótesis 1

Tabla 9-3: Prueba Chi - Cuadrado

PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS	
Ho:	La concentración de Material Particulado PM ₁₀ depende del lugar de monitoreo
Hi:	La concentración de Material Particulado PM ₁₀ no depende del lugar de monitoreo
p < 0,01	
NIVEL DE SIGNIFICACIÓN	
99%	
GRADOS DE LIBERTAD	
4	
REGION DE RECHAZO	
si el p valor es menor que 0,05 entonces se rechaza Ho	
si el p valor es mayor que 0,05 entonces no se rechaza Ho	
Cálculo	
χ^2 Tabulado:	13.28
χ^2 Calculado:	6.87
p	= 0.14

Elaborado por: Gaibor V

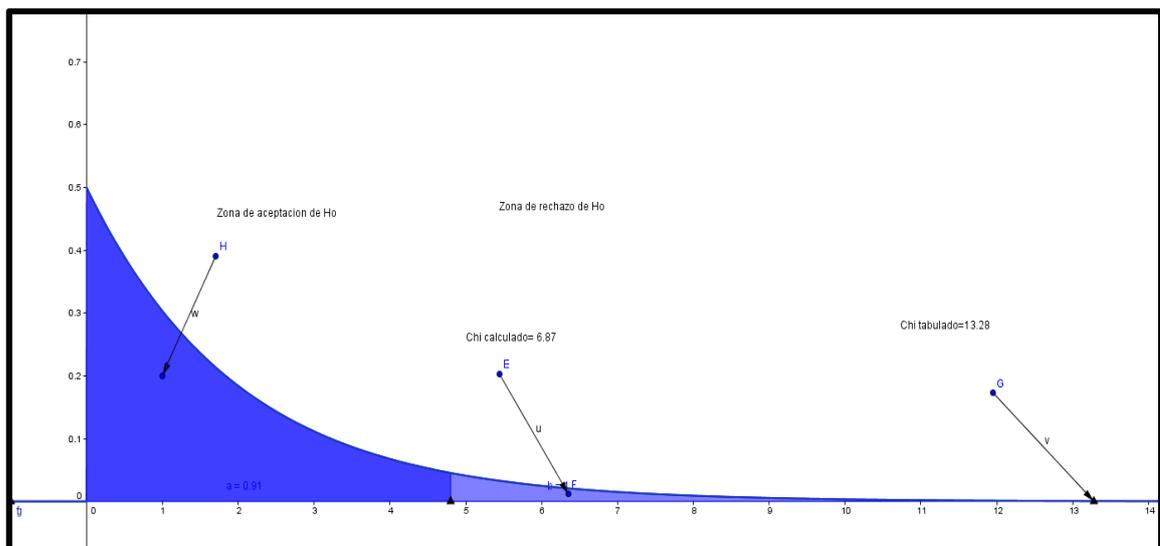


Gráfico 6-3: Prueba Chi -cuadrado

Elaborado por: Gaibor V

Dado que $p > 0,05$; esto es 0,14 es mayor que 0,05 se acoge la hipótesis nula de la investigación concluyéndose que la contaminación por material particulado PM₁₀ depende del sitio del monitoreo.

3.5.2 Prueba Hipótesis 2

La concentración de PM₁₀ es mayor a lo establecido en el Acuerdo 050 del Ministerio de Ambiente del Ecuador-TULSMA Libro VI, Anexo 4. Para comprobar la hipótesis se escogió

los puntos 2 y 3 dado que estos han presentado mayores concentraciones que la normativa referida. Para lo que se empleó prueba T-Student por tratarse de menos de 30 datos.

Se escogen el monitoreo 2 y 3 ya que sus concentraciones resultaron fuera del límite permisible.

Tabla 10-3: Resultados monitoreo PM₁₀

Punto	Monitoreo 2 (ug/m ³)	Monitoreo 3 (ug/m ³)	Normativa (ug/m ³)
P1	172,91	170,43	100
P2	182,32	165,61	
P3	163,47	198,86	
Promedio	172,9	178,3	
Desviación Estándar	9,43	17,97	

Elaborado por: Gaibor V

La relación: Media de concentración de PM₁₀ segundo monitoreo / Normativa es:

$$r = \frac{172,9}{100} = 1,73 \text{ veces}$$

La relación: Media de concentración de PM₁₀ tercer monitoreo / Normativa es:

$$r = \frac{178,3}{100} = 1,78 \text{ veces}$$

Tabla 11-3: Prueba T-Student

PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS
Ho: La concentración de PM ₁₀ es mayor a lo establecido en el Acuerdo 050 del Ministerio de Ambiente del Ecuador-TULSMA Libro VI, Anexo 4. X1-Xn:0
Hi: La concentración de PM ₁₀ no es mayor a lo establecido en el Acuerdo 050 del Ministerio de Ambiente del Ecuador-TULSMA Libro VI, Anexo 4. X1-Xn>0
REGION DE RECHAZO
si el t valor es menor que 1,96 entonces se rechaza Ho
si el t valor es mayor que 1,96 entonces no se rechaza Ho
t=41,11

Elaborado por: Gaibor V

Ya que 41,11 equivalente a t calculado es mayor que el valor 1,96 se rechaza la hipótesis nula se acoge la hipótesis alternativa que sostiene la desigualdad de las medias de concentración de PM₁₀ en el Centro Histórico de Riobamba con respecto a la normativa del Ministerio del ambiente.

3.5.3. Prueba Hipótesis 3

La concentración de $PM_{2,5}$ depende del lugar de monitoreo para comprobar la hipótesis al igual que para el material particulado de tamaño PM_{10} se utiliza el test T-Student y la prueba del Chi-cuadrado

Tabla 12-3: Prueba T-Student

PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS	
Ho: La concentración de Material Particulado $PM_{2,5}$ depende del lugar de monitoreo	
Hi: La concentración de Material Particulado $PM_{2,5}$ no depende del lugar de monitoreo $p < 0,01$	
NIVEL DE SIGNIFICACIÓN	
99%	
GRADOS DE LIBERTAD	
27	
REGION DE RECHAZO	
si el p valor es menor que 0,05 entonces se rechaza Ho	
si el p valor es mayor que 0,05 entonces no se rechaza Ho	
Cálculo	
χ^2 Tabulado: 47	
χ^2 Calculado: 36	
$p = 0,11$	

Elaborado por: Gaibor V

Tabla 13-3: Prueba Hipotesis 3

PRUEBA DE CHI-CUADRADO			
	Valor	gl	Sig. asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	36,000 ^a	27	,115
Razón de verosimilitudes	33,271	27	,188
Asociación lineal por lineal	0,375	1	,540
N de casos válidos	12		
a. 40 casillas (100,0%) tienen una frecuencia esperada inferior a 5. La frecuencia mínima esperada es ,25.			

Elaborado por: Gaibor V

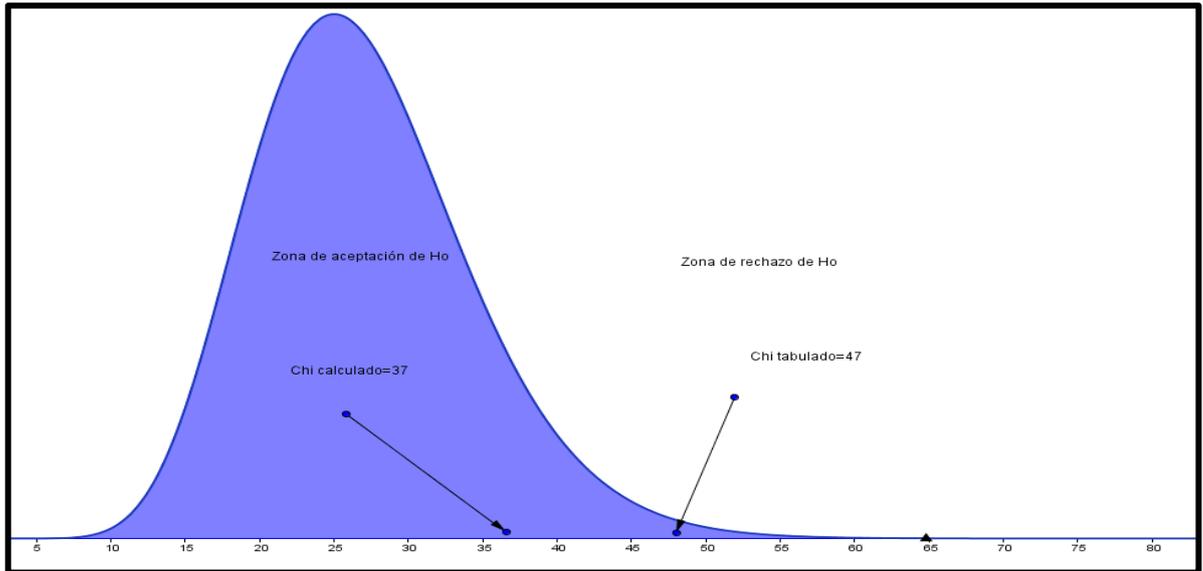


Gráfico 7-3: Prueba Chi -cuadrado
Elaborado por: Gaibor V

Dado que $p > 0,01$; esto es 0,11 es mayor que 0,01 se acoge la hipótesis nula de la investigación concluyéndose que la contaminación por material particulado $PM_{2,5}$ depende del sitio del monitoreo. De las dos pruebas realizadas se sostiene que la concentración de las partículas de tamaño 2,5 depende del sitio de muestreo.

3.5.4. Prueba Hipótesis 4

La concentración de $PM_{2,5}$ es mayor a lo establecido en el Acuerdo 050 del Ministerio de Ambiente del Ecuador-TULSMA Libro VI, Anexo 4. Dado que en los puntos 2 y 3 se sobre pasa el límite máximo permisible e cada uno de los monitoreos.

Tabla 14-3: Resultados monitoreo $PM_{2,5}$

Punto	Monitoreo 1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Monitoreo 2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Monitoreo 3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Normativa ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
P2	70,4	61,92	67,04	50
P3	88,62	61,76	83,04	
Promedio	69,12	56,63	64,62	
Desviación Estándar	20,16	9,03	19,73	

Elaborado por: Gaibor V

Dado que en P1 los resultados no sobre pasan las concentraciones limites se escoge P2 y P3 y el segundo y tercer monitoreo respectivamente para el tratamiento estadístico.

La relación: Media de concentración de $PM_{2,5}$ segundo monitoreo / Normativa es:

$$r = \frac{67,04}{50} = 1.34 \text{ veces}$$

La relación: Media de concentración de PM_{2,5} tercer monitoreo / Normativa es:

$$r = \frac{83,04}{50} = 1.66 \text{ veces}$$

Tabla 15-3: Prueba T-Student. Monitoreo 2

PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS
Ho: La concentración de PM _{2,5} es mayor a lo establecido en el Acuerdo 050 del Ministerio de Ambiente del Ecuador-TULSMA Libro VI, Anexo 4. X1-Xn:0
Hi: La concentración de PM _{2,5} no es mayor a lo establecido en el Acuerdo 050 del Ministerio de Ambiente del Ecuador-TULSMA Libro VI, Anexo 4. X1-Xn>0
REGION DE RECHAZO
si el t valor es menor que 1,96 entonces se rechaza Ho
si el t valor es mayor que 1,96 entonces no se rechaza Ho
t=13,91

Elaborado por: Gaibor V

Ya que 13,91 equivalente a t calculado es mayor que el valor 1,96 se rechaza la hipótesis nula se acoge la hipótesis alternativa que sostiene la desigualdad de las medias de concentración de PM_{2,5} en el Centro Histórico de Riobamba con respecto a la normativa del MAE.

Dado que 13,09 equivalente a t calculado es mayor que el valor 1,96 se rechaza la hipótesis nula se acoge la hipótesis alternativa que sostiene la desigualdad de las medias de concentración de PM_{2,5} en el punto 3 de monitoreo Centro Histórico de Riobamba con respecto a la normativa del MAE.

Mediante las pruebas específicas realizadas se comprueba que la concentración de Material Particulado del Centro Histórico de la Ciudad de Riobamba es un parámetro que contribuye a la determinación de la calidad del aire del mismo.

Tabla 16-3: Prueba T-Student. Monitoreo 3

PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS
Ho: La concentración de PM _{2,5} es mayor a lo establecido en el Acuerdo 050 del Ministerio de Ambiente del Ecuador-TULSMA Libro VI, Anexo 4. X1-Xn:0
Hi: La concentración de PM _{2,5} no es mayor a lo establecido en el Acuerdo 050 del Ministerio de Ambiente del Ecuador-TULSMA Libro VI, Anexo 4. X1-Xn>0
REGION DE RECHAZO
si el t valor es menor que 1,96 entonces se rechaza Ho
si el t valor es mayor que 1,96 entonces no se rechaza Ho
t=13,09

Elaborado por: Gaibor V

3.6. Discusión de Resultados

De acuerdo a las directrices establecidas por la Organización Mundial de la Salud las concentraciones máximas de partículas PM_{10} : $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $PM_{2,5}$: $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, la concentración de partículas en el Centro Histórico de Riobamba sobre pasa ampliamente esta cantidad fijada por la OMS, obteniéndose resultados que incluso han triplicado el valor de las directrices.

Los valores indicados por el ente regulador MAE señala que PM_{10} : $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $PM_{2,5}$: $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, incluso con estos valores que duplican las directrices de la OMS, en dos puntos de medición del Centro Histórico no se cumple con la concentración establecida.

CONCLUSIONES

- Se realizó la caracterización del Centro Histórico de Riobamba con el fin de establecer una línea base para la realización de la investigación. El Centro Histórico de Riobamba constituye un conjunto heterogéneo de edificaciones las cuales por sus características: altura, densidad, etc., permiten una adecuada circulación del aire, no se encuentran focos de emisión de partículas relativamente cercanos que puedan causar interferencia en la medición del Material Particulado en la urbe, considerando también la dirección y velocidad del viento.
- La medición del Material Particulado se efectuó conforme a lo especificado en el Apéndice J, Parte 50, 40 CFR Método de referencia para la determinación de Material Particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ en la atmósfera, expedido por la *Environmental Protection Agency*. La red de monitoreo se instaló de acuerdo a las recomendaciones prescritas por la Organización Mundial de la Salud.
- La concentración de PM_{10} en el Centro Histórico de Riobamba es superior en 1,73 y 1,78 veces respectivamente en los puntos correspondientes a las calles José Joaquín de Olmedo y Cristóbal Colon y Juan Larrea y Primera Constituyente; los que fueron establecidos en los lugares estratégicos urbanos; esto, frente a lo que establece la normativa del Ministerio de Ambiente del Ecuador la cual determina que no se debe superar los $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 24 horas. A diferencia del primer punto de muestreo Juan de Lavalle y Av. Unidad Nacional en donde la concentración de PM_{10} se encuentra dentro de los límites establecidos.
- La concentración de $PM_{2.5}$ en el Centro Histórico de Riobamba es superior en 1,34 y 1,66 veces al igual que para PM_{10} en las calles José Joaquín de Olmedo y Cristóbal Colon y Juan Larrea y Primera Constituyente; los que fueron implementados en sitios urbanos pertinentes por su ubicación; esto, frente a lo que establece la normativa del Ministerio de Ambiente del Ecuador la cual sugiere que no se debe superar los $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 24 horas.

RECOMENDACIONES

- Las autoridades encargadas de tomar decisiones deben analizar la presente investigación de una manera minuciosa y responsable a fin de alcanzar el establecimiento de políticas que preserven el medio ambiente como una garantía de vida saludable para los ciudadanos residentes o visitantes de la ciudad de Riobamba en general y el Centro Histórico de la capital de provincia en particular.
- Ampliar de los puntos de monitoreo y los muestreos activos a lo largo de un período de por lo menos 1 año; pero en otros puntos estratégicos del Centro Histórico de Riobamba de manera que sea posible ampliar el conocimiento del impacto del material particulado en otros sectores de la urbe; de esa manera se pueda propender a un estudio más profundo sobre la calidad del aire en la ciudad.
- Establecer en base a este estudio; el cual es un punto de partida, una línea de investigación interdisciplinaria; en especial con el área de salud para definir una correlación entre las enfermedades respiratorias como el cáncer laríngeo con los diferentes niveles de concentración en especial de las partículas 2,5 de manera que sea plausible el establecimiento de políticas idóneas relacionadas con el caso.
- Realizar el monitoreo de los otros tipos de contaminantes como: óxidos de nitrógeno, azufre, ozono, entre otros con la finalidad de conocer la concentración de estos contaminantes en el aire de Riobamba.

BIBLIOGRAFÍA

AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL. Partículas Finas PM_{2.5}. Designaciones. [Consulta: 20 de Mayo 2015].

Disponible en:

<http://translate.google.com.ec/translate?hl=es&sl=en&u=http://www.epa.gov/pmdesignations/basicinfo.htm&prev=search>

BALLESTER, D., TENIAS, J., PEREZ-HOYOS, S. “Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud: una introducción”. *Revista Española de Salud Pública*. [en línea], 1999, (España), 73(2), pp. 117-118. [Consulta: 16 enero 2015]. ISSN 1135-5727. Disponible en: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57271999000200002

BOLDO, E., QUEROL, X. “Nuevas políticas europeas de control de la calidad del aire: ¿un paso adelante para la mejora de la salud pública?”. *Gaceta Sanitaria*. [en línea], 2014, (España), 28(4), pp. 1-3. [Consulta: 6 enero 2015]. ISSN 0213-9111. Disponible en: http://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S0213-91112014000400001&script=sci_arttext

BRENES, A., SABORÍO, F. Elementos de climatología: Su aplicación didáctica a Costa Rica. 2. ed., Costa Rica, Universidad Estatal a Distancia. 1995, pp. 6

CALDERÓN, M. Plan de marketing para el producto turístico el centro histórico de la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo. (Tesis). (Ing. Ecotur.) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ingeniería en Ecoturismo, Riobamba – Ecuador, 2012, pp. 12-14

CARRETO, F., GONZALEZ, R., VILLAVICENCIO, J. Geografía General. 6. ed., Toluca-México, Universidad Autónoma de México. 2000, pp. 115

CASAS, C., ALARCON, M. Meteorología y Clima. Barcelona-España. Universidad Politécnica de Cataluña. 1999, pp. 15-16

CAZORLA, E. Obtención del consorcio bacteriano nativo del sedimento de la Laguna de San Antonio del Cantón Riobamba. (Tesis) (Ing. Biotec. Amb.) Escuela Superior Politécnica de

Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas, Riobamba-Ecuador, 2014, pp. 40-42

CHALACAN, R. Evaluación de PM₁₀ y PM_{2.5} en la ciudad de Riobamba afectada por el Volcán Tungurahua y validación de método de análisis. (Tesis). (Ing. Biotec. Amb) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas, Riobamba – Ecuador, 2009, pp. 26-27

CONSEJO NACIONAL ELECTORAL. Cantón Riobamba. [Consulta: 16 de Julio 2014].

Disponible en: <http://vototransparente.gob.ec/apps/elecciones->

ECUADOR., Ministerio del Ambiente, Ley de Gestión Ambiental. 2004. pp. 1

ECUADOR., Ministerio del Ambiente, Plan Nacional de Calidad del Aire. 2010. pp. 1

ECUADOR., Ministerio del Ambiental, Acuerdo Ministerial 050. pp. 3-12

GARCIA, M. Evaluación del riesgo por emisiones de partículas en fuentes estacionarias de combustión. Estudio de caso: Bogotá. Bogotá-Colombia. Universidad Nacional de Colombia. 2006, pp. 6-17

GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DE CHIMBORAZO. Atractivos de Riobamba. [Consulta: 16 de Julio 2014].

Disponible en: <http://www.chimborazo.gob.ec/chimborazo/index>.

GONZALES, G., ZEBALLOS, A., GONZALES, C., NUÑEZ, D., GASTAÑAGA, C., CABEZAS, C., NAEHER, L., LEVY, K., STEELAND, K. “Contaminación ambiental, variabilidad climática y cambio climático: una revisión del impacto en la salud de la población peruana”. *Revista peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*. [en línea], 2014, (Perù), 31(3), pp. 547-556. [Consulta: 14 marzo 2015]. ISSN 1726-4634. Disponible en: http://www.scielosp.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342014000300021&lng=en&nrm=iso&tlng=en

GRAU, M., GRAU, M. Riesgos Ambientales en la Industria. 2. ed. Madrid-España. Universidad Nacional de Educación a Distancia. 2006, pp. 25-31

LEDESMA, M., LEDESMA, J. Principios de Meteorología y Climatología. Madrid-España. Parainfo, SA. 2011, pp. 1-2

MAPAS DE ECUADOR. Mapa geográfico de Chimborazo. [Consulta: 20 de Mayo 2015].
Disponible en: <http://www.mapasecuador.net/mapa/mapa-chimborazo-mapa-geografico.html>

McCURRY, P., SHEPARD, M., VICKERY, J. Particulate Matter Science for Policy Makers: A NARSTO Assessment. 2. ed. New York- USA. Cambridge University Press. 2004, pp.69

NOTA DESCRIPTIVA N°313. *Calidad del aire (exterior) y salud.* Organización mundial de la salud. . [Consulta: 20 de Mayo 2015].
Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>

PEREZ, J., MORENO, E., ORTIZ, P. Tripulantes de Cabina de Pasajeros. 2. ed., Madrid - España, ARAN. 2009, pp. 41

QUIJANO, A., OROZCO, J., “Monitoreo de material particulado-fracción respirable (PM_{2,5}) en Pamplona (Colombia)”. *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas.* [en línea], 2005, (Colombia), 8(1). pp. 3-8. [Consulta: 14 marzo 2015]. ISSN: 0120-4211. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/903/90315226007.pdf>

REGISTRO MERCANTIL RIOBAMBA. Generalidades de Riobamba. [Consulta: 1 de Agosto 2014].
Disponible en: <http://registromercantil.gob.ec/riobamba/quienes-somos-riobamba/nuestra-labor-riobamba.html>

SBARATO, D., SBARATO, V., ORTEGA, J. Predicción y evaluación de impactos ambientales sobre la atmosfera. 2. ed. Córdoba-España. Universidad Nacional de Córdoba. 2007, pp. 57-65

STANLEY, E. Introducción a la Química Ambiental. México,D.F.-México. Reverté, S,A, DE C.V. 2007, pp. 353

TAMAYO, M. Rehabilitación de la imagen urbana del sector de los alrededores de la estación de ferrocarriles de la ciudad de Riobamba. (Tesis). (Arq.) Universidad Internacional SEK, Arquitectura y Urbanismo, Quito – Ecuador, 2010, pp. 40-41

TORRES, J. Evaluación de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental del Proyecto Parque Lineal Chibunga, Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo. (Tesis) (Ing. Biotec. Amb.) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas, Riobamba-Ecuador, 2009, pp. 62-69

ANEXO A. Monitoreo. Calle Juan de Lavalle y Av. Unidad Nacional



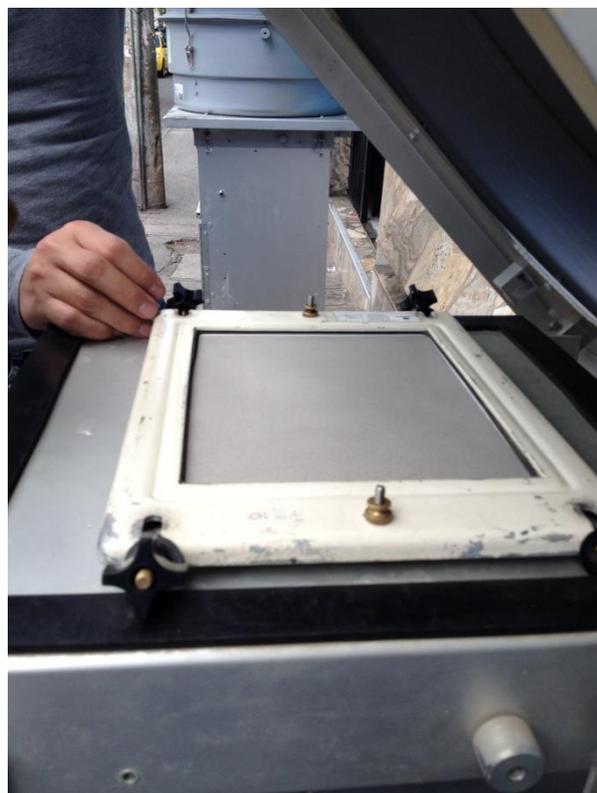
ANEXO B. Muestreo de Material Particulado



ANEXO C. Monitoreo. Juan Larrea y Primera Constituyente



ANEXO D. Filtro de medición de material particulado



ANEXO E. 40 CFR PART 50 APENDICE J (Idioma ingles)

40 CFR Part 50, Appendix J to Part 50 Reference Method for the Determination of Particulate Matter as PM₁₀ in the Atmosphere

1.0 Applicability.

1.1 This method provides for the measurement of the mass concentration of particulate matter with an aerodynamic diameter less than or equal to a nominal 10 micrometers (PM₁₀) in ambient air over a 24-hour period for purposes of determining attainment and maintenance of the primary and secondary national ambient air quality standards for particulate matter specified in § 50.6 of this chapter. The measurement process is nondestructive, and the PM₁₀ sample can be subjected to subsequent physical or chemical analyses. Quality assurance procedures and guidance are provided in part 58, appendices A and B, of this chapter and in References 1 and 2.

2.0 Principle.

2.1 An air sampler draws ambient air at a constant flow rate into a specially shaped inlet where the suspended particulate matter is inertially separated into one or more size fractions within the PM₁₀ size range. Each size fraction in the PM₁₀ size range is then collected on a separate filter over the specified sampling period. The particle size discrimination characteristics (sampling effectiveness and 50 percent cutpoint) of the sampler inlet are prescribed as performance specifications in part 53 of this chapter.

2.2 Each filter is weighed (after moisture equilibration) before and after use to determine the net weight (mass) gain due to collected PM₁₀. The total volume of air sampled, corrected to EPA reference conditions (25 C, 101.3 kPa), is determined from the measured flow rate and the sampling time. The mass concentration of PM₁₀ in the ambient air is computed as the total mass of collected particles in the PM₁₀ size range divided by the volume of air sampled, and is expressed in micrograms per standard cubic meter ($\mu\text{g}/\text{std m}^3$). For PM₁₀ samples collected at temperatures and pressures significantly different from EPA reference conditions, these corrected concentrations sometimes differ substantially from actual concentrations (in micrograms per actual cubic meter), particularly at high elevations. Although not required, the actual PM₁₀ concentration can be calculated from the corrected concentration, using the average ambient temperature and barometric pressure during the sampling period.

2.3 A method based on this principle will be considered a reference method only if (a) the associated sampler meets the requirements specified in this appendix and the requirements in part 53 of this chapter, and (b) the method has been designated as a reference method in accordance with part 53 of this chapter.

3.0 Range.

3.1 The lower limit of the mass concentration range is determined by the repeatability of filter tare weights, assuming the nominal air sample volume for the sampler. For samplers having an

automatic filter-changing mechanism, there may be no upper limit. For samplers that do not have an automatic filter-changing mechanism, the upper limit is determined by the filter mass loading beyond which the sampler no longer maintains the operating flow rate within specified limits due to increased pressure drop across the loaded filter. This upper limit cannot be specified precisely because it is a complex function of the ambient particle size distribution and type, humidity, filter type, and perhaps other factors. Nevertheless, all samplers should be capable of measuring 24-hour PM₁₀ mass concentrations of at least 300 µg/std m³ while maintaining the operating flow rate within the specified limits.

4.0 Precision.

4.1 The precision of PM₁₀ samplers must be 5 µg/m³ for PM₁₀ concentrations below 80 µg/m³ and 7 percent for PM₁₀ concentrations above 80 µg/m³, as required by part [53 of this chapter](#), which prescribes a test procedure that determines the variation in the PM₁₀ concentration measurements of identical samplers under typical sampling conditions. Continual assessment of precision via collocated samplers is required by part [58 of this chapter](#) for PM₁₀ samplers used in certain monitoring networks.

5.0 Accuracy.

5.1 Because the size of the particles making up ambient particulate matter varies over a wide range and the concentration of particles varies with particle size, it is difficult to define the absolute accuracy of PM₁₀ samplers. Part [53 of this chapter](#) provides a specification for the sampling effectiveness of PM₁₀ samplers. This specification requires that the expected mass concentration calculated for a candidate PM₁₀ sampler, when sampling a specified particle size distribution, be within ±10 percent of that calculated for an ideal sampler whose sampling effectiveness is explicitly specified. Also, the particle size for 50 percent sampling effectiveness is required to be 10 ±0.5 micrometers. Other specifications related to accuracy apply to flow measurement and calibration, filter media, analytical (weighing) procedures, and artifact. The flow rate accuracy of PM₁₀ samplers used in certain monitoring networks is required by part [58 of this chapter](#) to be assessed periodically via flow rate audits.

6.0 Potential Sources of Error.

6.1 *Volatile Particles.* Volatile particles collected on filters are often lost during shipment and/or storage of the filters prior to the post-sampling weighing³. Although shipment or storage of loaded filters is sometimes unavoidable, filters should be reweighed as soon as practical to minimize these losses.

6.2 *Artifacts.* Positive errors in PM₁₀ concentration measurements may result from retention of gaseous species on filters.^{4 5} Such errors include the retention of sulfur dioxide and nitric acid. Retention of sulfur dioxide on filters, followed by oxidation to sulfate, is referred to as artifact sulfate formation, a phenomenon which increases with increasing filter alkalinity.⁶ Little or no artifact sulfate formation should occur using filters that meet the alkalinity specification in

section 7.2.4. Artifact nitrate formation, resulting primarily from retention of nitric acid, occurs to varying degrees on many filter types, including glass fiber, cellulose ester, and many quartz fiber filters.^{5 7 8 9 10} Loss of true atmospheric particulate nitrate during or following sampling may also occur due to dissociation or chemical reaction. This phenomenon has been observed on Teflon® filters⁸ and inferred for quartz fiber filters.^{11 12} The magnitude of nitrate artifact errors in PM₁₀ mass concentration measurements will vary with location and ambient temperature; however, for most sampling locations, these errors are expected to be small.

6.3 *Humidity*. The effects of ambient humidity on the sample are unavoidable. The filter equilibration procedure in section 9.0 is designed to minimize the effects of moisture on the filter medium.

6.4 *Filter Handling*. Careful handling of filters between presampling and postsampling weighings is necessary to avoid errors due to damaged filters or loss of collected particles from the filters. Use of a filter cartridge or cassette may reduce the magnitude of these errors. Filters must also meet the integrity specification in section 7.2.3.

6.5 *Flow Rate Variation*. Variations in the sampler's operating flow rate may alter the particle size discrimination characteristics of the sampler inlet. The magnitude of this error will depend on the sensitivity of the inlet to variations in flow rate and on the particle distribution in the atmosphere during the sampling period. The use of a flow control device (section 7.1.3) is required to minimize this error.

6.6 *Air Volume Determination*. Errors in the air volume determination may result from errors in the flow rate and/or sampling time measurements. The flow control device serves to minimize errors in the flow rate determination, and an elapsed time meter (section 7.1.5) is required to minimize the error in the sampling time measurement.

7.0 *Apparatus*.

7.1 *PM₁₀ Sampler*.

7.1.1 The sampler shall be designed to:

- a. Draw the air sample into the sampler inlet and through the particle collection filter at a uniform face velocity.
- b. Hold and seal the filter in a horizontal position so that sample air is drawn downward through the filter.
- c. Allow the filter to be installed and removed conveniently.
- d. Protect the filter and sampler from precipitation and prevent insects and other debris from being sampled.
- e. Minimize air leaks that would cause error in the measurement of the air volume passing through the filter.
- f. Discharge exhaust air at a sufficient distance from the sampler inlet to minimize the sampling of exhaust air.

g. Minimize the collection of dust from the supporting surface.

7.1.2 The sampler shall have a sample air inlet system that, when operated within a specified flow rate range, provides particle size discrimination characteristics meeting all of the applicable performance specifications prescribed in part 53 of this chapter. The sampler inlet shall show no significant wind direction dependence. The latter requirement can generally be satisfied by an inlet shape that is circularly symmetrical about a vertical axis.

7.1.3 The sampler shall have a flow control device capable of maintaining the sampler's operating flow rate within the flow rate limits specified for the sampler inlet over normal variations in line voltage and filter pressure drop.

7.1.4 The sampler shall provide a means to measure the total flow rate during the sampling period. A continuous flow recorder is recommended but not required. The flow measurement device shall be accurate to ± 2 percent.

7.1.5 A timing/control device capable of starting and stopping the sampler shall be used to obtain a sample collection period of 24 ± 1 hr ($1,440 \pm 60$ min). An elapsed time meter, accurate to within ± 15 minutes, shall be used to measure sampling time. This meter is optional for samplers with continuous flow recorders if the sampling time measurement obtained by means of the recorder meets the ± 15 minute accuracy specification.

7.1.6 The sampler shall have an associated operation or instruction manual as required by part 53 of this chapter which includes detailed instructions on the calibration, operation, and maintenance of the sampler.

7.2 *Filters.*

7.2.1 *Filter Medium.* No commercially available filter medium is ideal in all respects for all samplers. The user's goals in sampling determine the relative importance of various filter characteristics (e.g., cost, ease of handling, physical and chemical characteristics, etc.) and, consequently, determine the choice among acceptable filters. Furthermore, certain types of filters may not be suitable for use with some samplers, particularly under heavy loading conditions (high mass concentrations), because of high or rapid increase in the filter flow resistance that would exceed the capability of the sampler's flow control device. However, samplers equipped with automatic filter-changing mechanisms may allow use of these types of filters. The specifications given below are minimum requirements to ensure acceptability of the filter medium for measurement of PM_{10} mass concentrations. Other filter evaluation criteria should be considered to meet individual sampling and analysis objectives.

7.2.2 *Collection Efficiency.* ≥ 99 percent, as measured by the DOP test (ASTM-2986) with 0.3 μm particles at the sampler's operating face velocity.

7.2.3 *Integrity.* ± 5 $\mu g/m^3$ (assuming sampler's nominal 24-hour air sample volume). Integrity is measured as the PM_{10} concentration equivalent corresponding to the average difference between the initial and the final weights of a random sample of test filters that are weighed and handled

under actual or simulated sampling conditions, but have no air sample passed through them (*i.e.*, filter blanks). As a minimum, the test procedure must include initial equilibration and weighing, installation on an inoperative sampler, removal from the sampler, and final equilibration and weighing.

7.2.4 *Alkalinity.* <25 microequivalents/gram of filter, as measured by the procedure given in Reference 13 following at least two months storage in a clean environment (free from contamination by acidic gases) at room temperature and humidity.

7.3 *Flow Rate Transfer Standard.* The flow rate transfer standard must be suitable for the sampler's operating flow rate and must be calibrated against a primary flow or volume standard that is traceable to the National Bureau of Standards (NBS). The flow rate transfer standard must be capable of measuring the sampler's operating flow rate with an accuracy of ± 2 percent.

7.4 *Filter Conditioning Environment.*

7.4.1 Temperature range: 15 to 30 C.

7.4.2 Temperature control: ± 3 C.

7.4.3 Humidity range: 20% to 45% RH.

7.4.4 Humidity control: $\pm 5\%$ RH.

7.5 *Analytical Balance.* The analytical balance must be suitable for weighing the type and size of filters required by the sampler. The range and sensitivity required will depend on the filter tare weights and mass loadings. Typically, an analytical balance with a sensitivity of 0.1 mg is required for high volume samplers (flow rates >0.5 m³/min). Lower volume samplers (flow rates <0.5 m³/min) will require a more sensitive balance.

8.0 *Calibration.*

8.1 *General Requirements.*

8.1.1 Calibration of the sampler's flow measurement device is required to establish traceability of subsequent flow measurements to a primary standard. A flow rate transfer standard calibrated against a primary flow or volume standard shall be used to calibrate or verify the accuracy of the sampler's flow measurement device.

8.1.2 Particle size discrimination by inertial separation requires that specific air velocities be maintained in the sampler's air inlet system. Therefore, the flow rate through the sampler's inlet must be maintained throughout the sampling period within the design flow rate range specified by the manufacturer. Design flow rates are specified as actual volumetric flow rates, measured at existing conditions of temperature and pressure (Q_a). In contrast, mass concentrations of PM₁₀ are computed using flow rates corrected to EPA reference conditions of temperature and pressure (Q_{std}).

8.2 *Flow Rate Calibration Procedure.*

8.2.1 PM₁₀ samplers employ various types of flow control and flow measurement devices. The specific procedure used for flow rate calibration or verification will vary depending on the type of flow controller and flow indicator employed. Calibration in terms of actual volumetric flow rates (Q_a) is generally recommended, but other measures of flow rate (e.g., Q_{std}) may be used provided the requirements of section 8.1 are met. The general procedure given here is based on actual volumetric flow units (Q_a) and serves to illustrate the steps involved in the calibration of a PM₁₀ sampler. Consult the sampler manufacturer's instruction manual and Reference 2 for specific guidance on calibration. Reference 14 provides additional information on the use of the commonly used measures of flow rate and their interrelationships.

8.2.2 Calibrate the flow rate transfer standard against a primary flow or volume standard traceable to NBS. Establish a calibration relationship (e.g., an equation or family of curves) such that traceability to the primary standard is accurate to within 2 percent over the expected range of ambient conditions (*i.e.*, temperatures and pressures) under which the transfer standard will be used. Recalibrate the transfer standard periodically.

8.2.3 Following the sampler manufacturer's instruction manual, remove the sampler inlet and connect the flow rate transfer standard to the sampler such that the transfer standard accurately measures the sampler's flow rate. Make sure there are no leaks between the transfer standard and the sampler.

8.2.4 Choose a minimum of three flow rates (actual m³/min), spaced over the acceptable flow rate range specified for the inlet (see 7.1.2) that can be obtained by suitable adjustment of the sampler flow rate. In accordance with the sampler manufacturer's instruction manual, obtain or verify the calibration relationship between the flow rate (actual m³/min) as indicated by the transfer standard and the sampler's flow indicator response. Record the ambient temperature and barometric pressure. Temperature and pressure corrections to subsequent flow indicator readings may be required for certain types of flow measurement devices. When such corrections are necessary, correction on an individual or daily basis is preferable. However, seasonal average temperature and average barometric pressure for the sampling site may be incorporated into the sampler calibration to avoid daily corrections. Consult the sampler manufacturer's instruction manual and Reference 2 for additional guidance.

8.2.5 Following calibration, verify that the sampler is operating at its design flow rate (actual m³/min) with a clean filter in place.

8.2.6 Replace the sampler inlet.

9.0 Procedure.

9.1 The sampler shall be operated in accordance with the specific guidance provided in the sampler manufacturer's instruction manual and in Reference 2. The general procedure given here assumes that the sampler's flow rate calibration is based on flow rates at ambient conditions (Q_a) and serves to illustrate the steps involved in the operation of a PM₁₀ sampler.

- 9.2 Inspect each filter for pinholes, particles, and other imperfections. Establish a filter information record and assign an identification number to each filter.
- 9.3 Equilibrate each filter in the conditioning environment (see 7.4) for at least 24 hours.
- 9.4 Following equilibration, weigh each filter and record the presampling weight with the filter identification number.
- 9.5 Install a preweighed filter in the sampler following the instructions provided in the sampler manufacturer's instruction manual.
- 9.6 Turn on the sampler and allow it to establish run-temperature conditions. Record the flow indicator reading and, if needed, the ambient temperature and barometric pressure. Determine the sampler flow rate (actual m^3/min) in accordance with the instructions provided in the sampler manufacturer's instruction manual. NOTE.—No onsite temperature or pressure measurements are necessary if the sampler's flow indicator does not require temperature or pressure corrections or if seasonal average temperature and average barometric pressure for the sampling site are incorporated into the sampler calibration (see step 8.2.4). If individual or daily temperature and pressure corrections are required, ambient temperature and barometric pressure can be obtained by on-site measurements or from a nearby weather station. Barometric pressure readings obtained from airports must be station pressure, not corrected to sea level, and may need to be corrected for differences in elevation between the sampling site and the airport.
- 9.7 If the flow rate is outside the acceptable range specified by the manufacturer, check for leaks, and if necessary, adjust the flow rate to the specified setpoint. Stop the sampler.
- 9.8 Set the timer to start and stop the sampler at appropriate times. Set the elapsed time meter to zero or record the initial meter reading.
- 9.9 Record the sample information (site location or identification number, sample date, filter identification number, and sampler model and serial number).
- 9.10 Sample for 24 ± 1 hours.
- 9.11 Determine and record the average flow rate (Q_a) in actual m^3/min for the sampling period in accordance with the instructions provided in the sampler manufacturer's instruction manual. Record the elapsed time meter final reading and, if needed, the average ambient temperature and barometric pressure for the sampling period (see note following step 9.6).
- 9.12 Carefully remove the filter from the sampler, following the sampler manufacturer's instruction manual. Touch only the outer edges of the filter.
- 9.13 Place the filter in a protective holder or container (e.g., petri dish, glassine envelope, or manila folder).
- 9.14 Record any factors such as meteorological conditions, construction activity, fires or dust storms, etc., that might be pertinent to the measurement on the filter information record.
- 9.15 Transport the exposed sample filter to the filter conditioning environment as soon as possible for equilibration and subsequent weighing.

9.16 Equilibrate the exposed filter in the conditioning environment for at least 24 hours under the same temperature and humidity conditions used for presampling filter equilibration (see 9.3).

9.17 Immediately after equilibration, reweigh the filter and record the postsampling weight with the filter identification number.

10.0 *Sampler Maintenance.*

10.1 The PM₁₀ sampler shall be maintained in strict accordance with the maintenance procedures specified in the sampler manufacturer's instruction manual.

11.0 *Calculations.*

11.1 Calculate the average flow rate over the sampling period corrected to EPA reference conditions as Q_{std}. When the sampler's flow indicator is calibrated in actual volumetric units (Q_a), Q_{std} is calculated as:

$$Q_{std} = Q_a \times (P_{av}/T_{av})(T_{std}/P_{std})$$

where

Q_{std} = average flow rate at EPA reference conditions, std m³/min;

Q_a = average flow rate at ambient conditions, m³/min;

P_{av} = average barometric pressure during the sampling period or average barometric pressure for the sampling site, kPa (or mm Hg);

T_{av} = average ambient temperature during the sampling period or seasonal average ambient temperature for the sampling site, K;

T_{std} = standard temperature, defined as 298 K;

P_{std} = standard pressure, defined as 101.3 kPa (or 760 mm Hg).

11.2 Calculate the total volume of air sampled as:

$$V_{std} = Q_{std} \times t$$

where

V_{std} = total air sampled in standard volume units, std m³;

t = sampling time, min.

11.3 Calculate the PM₁₀ concentration as:

$$PM_{10} = (W_f - W_i) \times 10^6 / V_{std}$$

where

PM₁₀ = mass concentration of PM₁₀, µg/std m³;

W_f, W_i = final and initial weights of filter collecting PM₁₀ particles, g;

10⁶ = conversion of g to µg.

Note:

If more than one size fraction in the PM₁₀ size range is collected by the sampler, the sum of the net weight gain by each collection filter [Σ(W_f - W_i)] is used to calculate the PM₁₀ mass concentration.

12.0 *References.*

1. Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems, Volume I, Principles. EPA-600/9-76-005, March 1976. Available from CERL, ORD Publications, U.S. Environmental Protection Agency, 26 West St. Clair Street, Cincinnati, OH 45268.
2. Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems, Volume II, Ambient Air Specific Methods. EPA-600/4-77-027a, May 1977. Available from CERL, ORD Publications, U.S. Environmental Protection Agency, 26 West St. Clair Street, Cincinnati, OH 45268.
3. Clement, R.E., and F.W. Karasek. Sample Composition Changes in Sampling and Analysis of Organic Compounds in Aerosols. *Int. J. Environ. Analyt. Chem.*, 7:109, 1979.
4. Lee, R.E., Jr., and J. Wagman. A Sampling Anomaly in the Determination of Atmospheric Sulfate Concentration. *Amer. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 27:266, 1966.
5. Appel, B.R., S.M. Wall, Y. Tokiwa, and M. Haik. Interference Effects in Sampling Particulate Nitrate in Ambient Air. *Atmos. Environ.*, 13:319, 1979.
6. Coutant, R.W. Effect of Environmental Variables on Collection of Atmospheric Sulfate. *Environ. Sci. Technol.*, 11:873, 1977.
7. Spicer, C.W., and P. Schumacher. Interference in Sampling Atmospheric Particulate Nitrate. *Atmos. Environ.*, 11:873, 1977.
8. Appel, B.R., Y. Tokiwa, and M. Haik. Sampling of Nitrates in Ambient Air. *Atmos. Environ.*, 15:283, 1981.
9. Spicer, C.W., and P.M. Schumacher. Particulate Nitrate: Laboratory and Field Studies of Major Sampling Interferences. *Atmos. Environ.*, 13:543, 1979.
10. Appel, B.R. Letter to Larry Purdue, U.S. EPA, Environmental Monitoring and Support Laboratory. March 18, 1982, Docket No. A-82-37, II-I-1.
11. Pierson, W.R., W.W. Brachaczek, T.J. Korniski, T.J. Truex, and J.W. Butler. Artifact Formation of Sulfate, Nitrate, and Hydrogen Ion on Backup Filters: Allegheny Mountain Experiment. *J. Air Pollut. Control Assoc.*, 30:30, 1980.
12. Dunwoody, C.L. Rapid Nitrate Loss From PM₁₀ Filters. *J. Air Pollut. Control Assoc.*, 36:817, 1986.
13. Harrell, R.M. Measuring the Alkalinity of Hi-Vol Air Filters. EMSL/RTP-SOP-QAD-534, October 1985. Available from the U.S. Environmental Protection Agency, EMSL/QAD, Research Triangle Park, NC 27711.
14. Smith, F., P.S. Wohlschlegel, R.S.C. Rogers, and D.J. Mulligan. Investigation of Flow Rate Calibration Procedures Associated With the High Volume Method for Determination of Suspended Particulates. EPA-600/4-78-047, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC 27711, 1978.

[52 FR 24664, July 1, 1987; 52 FR 29467, Aug. 7, 1987]

