

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

## **ESCUELA DE POSGRADO**



**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS**

**MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES**

**TESIS:**

**EVALUACIÓN DE LAS PARTÍCULAS  $PM_{2.5}$  Y  $PM_{10}$  EN LA CONSTRUCCIÓN  
DE LA CARRETERA CHOTA – COCHABAMBA (CAJAMARCA)**

Para optar el Grado Académico de

**DOCTOR EN CIENCIAS**

Presentada por:

**M.Cs. HUGO MOSQUEIRA ESTRAYER**

Asesor:

**Dr. NILTON EDUARDO DEZA ARROYO**

**Cajamarca - Perú**

**2019**

COPYRIGHT © 2019 by  
**HUGO MOSQUEIRA ESTRAVER**  
Todos los derechos reservados

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

## **ESCUELA DE POSGRADO**



**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS**

**MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES**

**TESIS APROBADA:**

**EVALUACIÓN DE LAS PARTÍCULAS PM<sub>2.5</sub> Y PM<sub>10</sub> EN LA  
CONSTRUCCIÓN DE LA CARRETERA CHOTA – COCHABAMBA  
(CAJAMARCA)**

Para optar el Grado Académico de

**DOCTOR EN CIENCIAS**

Presentada por:

**M.Cs. HUGO MOSQUEIRA ESTRAYER**

**JURADO EVALUADOR**

Dr. Nilton Eduardo Deza Arroyo  
Asesor

Dr. Marco Antonio Rivera Jacinto  
Jurado Evaluador

Dra. Claudia Carolina Rodríguez Ulloa  
Jurado Evaluador

Dr. Alejandro Claudio Lagos Manrique  
Jurado Evaluador

Cajamarca - Perú

2019



**Universidad Nacional de Cajamarca**  
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD  
**Escuela de Posgrado**  
CAJAMARCA - PERU



**PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS**

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

**MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES**

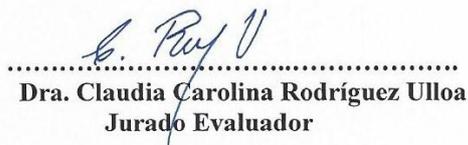
Siendo las **11:10** horas del día 26 de marzo del año dos mil diecinueve, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **Dr. MARCO ANTONIO RIVERA JACINTO** y **Dra. CLAUDIA CAROLINA RODRÍGUEZ ULLOA**, **Dr. ALEJANDO CLAUDIO LAGOS MANRIQUE**; y en calidad de Asesor, el **Dr. NILTON EDUARDO DEZA ARROYO**; Actuando de conformidad con el Reglamento Interno de la Escuela de Posgrado y el Reglamento del Programa de Doctorado de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se inició la SUSTENTACIÓN de la tesis titulada: **EVALUACIÓN DE LAS PARTÍCULAS PM<sub>2.5</sub> Y PM<sub>10</sub> EN LA CONSTRUCCIÓN DE LAS CARRETERAS CHOTA-COCHABAMBA (CAJAMARCA)**; Presentado por el M.Cs. **AUGUSTO HUGO MOSQUEIRA ESTRAVER**.

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó ..... **A.P.R.O.B.A.R.** ..... con la calificación de ..... **Diecisiete (17)** ..... la mencionada Tesis; en tal virtud, el M.Cs. **AUGUSTO HUGO MOSQUEIRA ESTRAVER**, está apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **DOCTOR EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias, Mención: **GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES**.

Siendo las **12:10** horas del mismo día, se dio por concluido el acto.

  
.....  
**Dr. Nilton Eduardo Deza Arroyo**  
Asesor

  
.....  
**Dr. Marco Antonio Rivera Jacinto**  
Presidente-Jurado Evaluador

  
.....  
**Dra. Claudia Carolina Rodríguez Ulloa**  
Jurado Evaluador

  
.....  
**Dr. Alejandro Claudio Lagos Manrique**  
Jurado Evaluador

## **DEDICATORIA**

**A:**

Mi esposa Irma, a mi madre Alejandrina, mis hijos Yajaira, Paola, Hugo  
Jeampiere.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por ser mi guía, fortaleza y mi refugio.

A mi esposa Irma por estar siempre a mi lado, brindándome apoyo indesmayable.

A mi madre Alejandrina, por haberme dado la sabiduría para defenderme en la vida.

A mis hijos Yajaira, Paola y Hugo Jeanpiere, por ser mi fortaleza y ser parte de mi vida.

A mi asesor Nilton Deza Arroyo, por su apoyo incondicional en el desarrollo de la tesis.

A mis docentes de la Escuela de Posgrado por su brindarme sus conocimientos durante los estudios de doctorado.

A la Universidad Nacional de Cajamarca, que a través de la Escuela de Posgrado que me permite obtener el grado de Doctor en Ciencias.

## CONTENIDO

	Pág.
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>vi</b>
<b>CONTENIDO .....</b>	<b>vii</b>
<b>FIGURAS .....</b>	<b>xi</b>
<b>TABLAS .....</b>	<b>xiii</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS.....</b>	<b>xvi</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>xv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xvi</b>
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>1</b>
1.1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN .....	3
1.3. OBJETIVOS .....	4
1.3.1. Objetivo General.....	4
1.3.2. Objetivos Específicos.....	5
1.4. HIPÓTESIS .....	5
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>6</b>
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS.....	6
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	6
2.1.2. Antecedentes Nacionales. ....	7
2.1.3. Antecedentes locales.....	11
2.2. BASES TEÓRICAS .....	12

2.2.1.	Material particulado. ....	12
2.2.2.	Contaminación por partículas. ....	13
2.2.3.	Tecnología de emisión. ....	14
2.2.3.1.	Ciclones.....	14
2.2.3.2.	Multiciclones.....	14
2.2.3.3.	Lavador Venturi. ....	14
2.2.3.4.	Precipitador electrostático.....	15
2.2.3.5.	Filtros de mangas .....	15
2.2.4.	Estándares de calidad ambiental (ECA). ....	15
2.2.5.	Calidad de aire. ....	16
2.2.6.	Contaminación del Aire. ....	16
2.3.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	16
2.3.1.	Contaminación. ....	16
2.3.2.	Contaminantes.....	17
2.3.3.	Atmósfera.....	17
2.3.4.	Contaminación Atmosférica. ....	17
2.3.5.	Partículas en Suspensión.....	18
2.3.6.	PM <sub>10</sub> . ....	18
2.3.7.	PM <sub>2.5</sub> . ....	18
2.3.8.	Índice de Calidad Ambiental. ....	19
2.3.9.	Monitoreo de Aire.....	19
2.3.10.	Índice de Calidad del Aire (ECA).....	19
2.3.11.	Zonas de Atención Prioritaria (ZAP).....	20
2.3.12.	Protocolo de Monitoreo del material particulado PM <sub>2.5</sub> y PM <sub>10</sub> . y gestión de los datos (DIGESA, 2005). ....	20

2.3.12.1. Diseño del Monitoreo. ....	20
2.3.12.2. Escala de monitoreo. ....	21
2.3.12.3. Selección de Parámetros a Monitorear. ....	23
2.3.12.4. Frecuencia del Monitoreo y Periodos de Muestreo. ....	25
2.3.12.5. Criterios para la Selección de Métodos. ....	26
2.3.12.6. Parámetros Técnicos. ....	27
2.3.12.7. Descripción de los Diferentes Métodos. ....	28
2.3.12.7.1. Muestreadores Pasivos. ....	28
2.3.12.7.2. Muestreadores Activos. ....	29
2.3.12.7.3. Analizadores Automáticos. ....	29
2.3.12.7.4. Sensores Remotos. ....	30
2.3.12.7.5. Ventajas y desventajas de las metodologías. ....	30
2.3.12.8. Factores para la Operación (Precisión y Confiabilidad). ....	31
2.3.12.8.1. Métodos Instrumentales de Alta Precisión. ....	31
2.3.12.8.2. Métodos Instrumentales de Menor Precisión. ....	32
2.3.12.8.3. Métodos Manuales para Particulados. ....	32
2.3.12.8.4. Métodos de Monitoreo Activo. ....	32
2.3.12.8.5. Métodos de Monitoreo Pasivo. ....	32
<b>CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>34</b>
3.1. LOCALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN. ....	34
3.1.1 UBICACIÓN .....	35
3.2. DISEÑO METODOLÓGICO .....	36
3.2.1. Tipo de Investigación. ....	36
3.2.2. Población. ....	37
3.2.3. Muestra .....	37

3.3.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	38
3.3.1.	Acopio y Análisis de Información Secundaria. ....	39
3.4.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	39
3.4.1.	Campo. ....	39
3.4.2.	Materiales de Gabinete.....	39
3.4.3.	Equipo. ....	39
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>		<b>41</b>
4.1.1.	Concentración de 12 horas de PM <sub>2.5</sub> y PM <sub>10</sub> en Chancadora Doñana. ....	43
4.1.2.	Concentración de 12 horas de PM <sub>2.5</sub> y PM <sub>10</sub> en Plaza de Armas de Lajas....	46
4.1.3.	Concentración de 12 horas de PM <sub>2.5</sub> y PM <sub>10</sub> en Chancadora Ajipampa. ....	49
4.1.4.	Concentración de 12 horas de PM <sub>2.5</sub> y PM <sub>10</sub> en Cantera El Molino. ....	51
4.1.5.	Concentración de 12 horas de PM <sub>2.5</sub> y PM <sub>10</sub> en Plaza de Armas Cochabamba.	53
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES .....</b>		<b>56</b>
<b>PROPUESTA DEL PROYECTO .....</b>		<b>57</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>		<b>60</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>70</b>
ANEXO 1. DECRETO SUPREMO 003-2017-MINAM .....		71
ANEXO 2. CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE CONTADOR DE PARTÍCULAS (HANDHELD 3016AQ). ....		75
APÉNDICE A. RESULTADOS DE PM <sub>2,5</sub> Y PM <sub>10</sub> DE LOS 5 PUNTOS DE MONITOREO EN EL AÑO 2012-2013. ....		77
APÉNDICE B. FOTOS DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO. ....		87

## FIGURAS

	<b>Pág.</b>
1. CONCENTRACIÓN PROMEDIO DIARIO DE PM <sub>10</sub> EN CIUDADES. ....	9
2. UMBRAL DE CUIDADO. ....	9
3. CONCENTRACIÓN PROMEDIO DIARIO DE PM <sub>2.5</sub> EN CIUDADES. ` .....	10
4. UMBRAL DE CUIDADO. ....	11
5. UBICACIÓN POLÍTICA DEL ÁREA DEL ESTUDIO. ....	35
6. UBICACIÓN DE LAS 5 ESTACIONES DE MUESTREO. ....	38
7. PROMEDIO DE PM <sub>2.5</sub> Y PM <sub>10</sub> EN EL PUNTO DE MONITOREO CHANCADORA DOÑANA. ....	43
8. PROMEDIO DE PM <sub>2.5</sub> Y PM <sub>10</sub> EN EL PUNTO DE MONITOREO PLAZA DE ARMAS LAJAS. ....	46
9. PROMEDIO DE PM <sub>2.5</sub> Y PM <sub>10</sub> EN EL PUNTO DE MONITOREO CHANCADORA AJIPAMPA. ....	49
10. PROMEDIO DE PM <sub>2.5</sub> Y PM <sub>10</sub> EN EL PUNTO DE MONITOREO CANTERA EL MOLINO. ....	51
11. PROMEDIO DE PM <sub>2.5</sub> Y PM <sub>10</sub> EN EL PUNTO DE MONITOREO PLAZA DE ARMAS COCHABAMBA (E-5). ....	53
12. ESQUEMA DE LA PROPUESTA DE MITIGACIÓN DE DAÑOS POR EL MATERIAL PARTICULADO. ....	59
13. COMPARACIÓN DE CONCENTRACIONES DE PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN PM <sub>10</sub> -12H EN CHANCADORA DOÑANA - DICIEMBRE 2012. ....	77
14. COMPARACIÓN DE CONCENTRACIONES DE PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN PM <sub>2.5</sub> - 12H EN CHANCADORA DOÑANA - ABRIL 2013. ....	78

15. COMPARACIÓN DE CONCENTRACIONES DE PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN PM <sub>2.5</sub> - 12H EN PLAZA DE ARMAS DE LAJAS – ABRIL 2013. ....	79
16. COMPARACIÓN DE CONCENTRACIONES DE PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN PM <sub>10</sub> - 12H EN PLAZA DE ARMAS DE LAJAS – DICIEMBRE 2013. ....	80
17. COMPARACIÓN DE CONCENTRACIONES DE PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN PM <sub>10</sub> - 12H EN CHANCADORA AJIPAMPA – DICIEMBRE 2012. ....	81
18. COMPARACIÓN DE CONCENTRACIONES DE PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN PM <sub>2.5</sub> - 12H EN CHANCADORA AJIPAMPA – ABRIL 2013. ....	82
19. COMPARACIÓN DE CONCENTRACIONES DE PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN PM <sub>10</sub> - 12H EN CANTERA EL MOLINO – DICIEMBRE 2012. ....	83
20. COMPARACIÓN DE CONCENTRACIONES DE PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN PM <sub>2.5</sub> - 12H EN CANTERA EL MOLINO – ABRIL 2013. ....	84
21. COMPARACIÓN DE CONCENTRACIONES DE PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN PM <sub>2.5</sub> - 12H EN PLAZA DE ARMAS COCHABAMBA – ABRIL 2013. ....	85
22. COMPARACIÓN DE CONCENTRACIONES DE PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN PM <sub>10</sub> - 12H EN PLAZA DE ARMAS COCHABAMBA – ABRIL 2013. ....	86
23. ESTACIÓN DE MUESTREO CHANCADORA DOÑANA. ....	87
24. ESTACIÓN PLAZA DE ARMAS DE LAJAS. ....	87

## TABLAS

	Pág.
1. ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD DEL AIRE.....	16
2. DEFINICIÓN DE ESCALAS PARA LA REALIZACIÓN DE MONITOREOS AMBIENTALES. ....	22
3. RELACIÓN ENTRE OBJETIVOS DE MONITOREO Y ESCALAS ESPACIALES DE REPRESENTATIVIDAD. ....	23
4. . PARÁMETROS A MONITOREAR.....	24
5. CONTAMINANTES A MONITOREAR EN FUNCIÓN A LAS PRINCIPALES FUENTES.....	25
6. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS DIFERENTES TÉCNICAS DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE.....	31
7. COORDENADAS DE LA UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	36
8. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS PUNTOS DE MONITOREO DE MATERIAL PARTICULADO (PM2.5 Y PM10). ....	36
9. PUNTOS DE MONITOREO Y DISTANCIA EN RELACIÓN A LA CIUDAD DE CHOTA.....	37
10. PROMEDIO DE PM2.5 Y PM10 EN LOS 5 PUNTOS DE MONITOREO. ....	42
11. DATOS METEOROLÓGICOS SENAMHI- ESTACIÓN CHOTA CAJAMARCA.....	76
12. CONCENTRACIONES DE PM 10 EN CHANCADORA DOÑANA - DICIEMBRE2012.....	77
13. CONCENTRACIONES DE PM 2.5 EN CHANCADORA DOÑANA - ABRIL 2013. ....	78
14. . CONCENTRACIONES DE PM2.5 EN PLAZA DE ARMAS LAJAS – ABRIL 2013. ....	79
15. CONCENTRACIONES DE PM10 EN PLAZA DE ARMAS LAJAS – DICIEMBRE 2013.....	80
16. . CONCENTRACIONES DE PM10 EN CHANCADORA AJIPAMPA – DICIEMBRE 2012.....	81
17. CONCENTRACIONES DE PM2.5 EN CHANCADORA AJIPAMPA – ABRIL 2013.....	82
18. CONCENTRACIONES DE PM10 EN CANTERA EL MOLINO – DICIEMBRE 2012.....	83
19. CONCENTRACIONES DE PM2.5 EN CANTERA EL MOLINO – ABRIL 2013.....	84
20. CONCENTRACIONES DE PM2.5 EN PLAZA DE ARMAS COCHABAMBA – ABRIL 2013...	85
21. . CONCENTRACIONES DE PM10 EN PLAZA DE ARMAS COCHABAMBA – ABRIL 2013..	86

## LISTA DE ABREVIATURAS

DIGESA.	:	Dirección General de Salud Ambiental
ECA.	:	Estándar de Calidad Ambiental.
EPA	:	Agencia de Protección del Medioambiente de los Estados Unidos
GEI	:	Gases de Efecto Invernadero
INCA	:	Índice de Calidad del aire
LMP.	:	Límite Máximo Permisible
MINAM.	:	Ministerio del Ambiente.
MP	:	Material Particulado
OEFA	:	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
OMS.	:	Organización Mundial de Salud.
SENAMHI	:	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
SINIA	:	Sistema Nacional de Información Ambiental
SNGA	:	Sistema Nacional de Gestión Ambiental
ZAP	:	Zona de Atención Prioritaria

## RESUMEN

La presente tesis fue desarrollada en el periodo comprendido entre abril-diciembre de 2012 y abril-octubre-diciembre de 2013, en cinco puntos de monitoreo: Chancadora Doñana, Plaza de Armas de Lajas, Chancadora Ajipampa, Cantera El Molino y Plaza de Armas de Cochabamba. El objetivo del presente trabajo de investigación fue determinar la concentración de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  en la construcción de la carretera Chota – Cochabamba. Se obtuvo la concentración del material particulado (PM) utilizando el equipo HANDHELD 3016AQ, generado por el movimiento de tierra, transporte vehicular, transporte de maquinaria pesada y chancado de agregado. Así mismo, se registró las lecturas meteorológicas determinados por SENAMHI – Chota, para analizar el comportamiento de la naturaleza en función de la temperatura promedio, viento y precipitación. Los resultados del material particulado  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  no superaron los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) en los cinco puntos de monitoreo; sin embargo, en la Plaza de Armas de Lajas, Chancadora Ajipampa, Cantera el Molino y Plaza de Cochabamba superan el 50% de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el  $PM_{2.5}$ . Así mismo los valores obtenidos del material particulado  $PM_{10}$  en la chancadora Ajipampa en diciembre del 2012 fue de  $74.90 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y en la cantera El Molino en diciembre del 2012 fue de  $74.40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  los cuales superan el 50% del Estándar de Calidad Ambiental (ECA). En conclusión, al evaluar el material particulado  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  en la construcción de la carretera Chota – Cochabamba en Cajamarca hay evidencia de este material particulado que no supera el Estándar de Calidad Ambiental (ECA), pero cuya presencia podría ser peligroso para la salud de la población y el ecosistema.

**Palabras clave:** Emisión, Material particulado,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ , equipo de control.

## ABSTRACT

This thesis was developed in the period from April-December 2012 to April-October-December 2013, in five monitoring points: Chancadora Doñana, Plaza de Armas de Lajas, Chancadora Ajipampa, Cantera El Molino and Plaza de Armas de Cochabamba. The objective of this research work was to evaluate the concentration of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> in the construction of the Chota - Cochabamba highway. The concentration of PM was determined using the HANDHELD 3016AQ equipment, and the concentration of PM was analyzed for twelve hours. Generated by earth movement, vehicular transport, transport of heavy machinery and aggregate crushing. Likewise, the meteorological readings provided by SENAMHI - Chota were recorded to determine the behavior of nature as a function of average temperature, wind and precipitation. The PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> particulate material values did not exceed the Environmental Quality Standards (ECA) in the five monitoring points; however, in the Plaza de Armas of Lajas, Ajipampa crusher, El Molino quarry and Plaza de Cochabamba exceed 50% of the maximum allowable ECA limits for PM<sub>2.5</sub>. Likewise for the PM<sub>10</sub> in the Ajipampa crusher and Quarry mill, exceeded 50% of the Environmental Quality Standard (ECA). In conclusion, when evaluating particulate material PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> in the construction of the Chota - Cochabamba road in Cajamarca there is evidence of this particulate material that does not exceed the Environmental Quality Standard (ECA), but whose presence could be dangerous for the health of the population and the ecosystem.

**Keywords:** Emission, particulate matter, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, control equipme

## CAPÍTULO I

### 1.1. Introducción

Las fluctuaciones climáticas se deben a los cambios en los usos y coberturas de los suelos, que consiste en una sustitución progresiva de las estructuras naturales para usos urbanos.

El proceso de construcción y mejoramiento de una carretera asfaltada trae consigo modificaciones en la calidad del aire en sus diferentes parámetros como el incremento de partículas de tipo  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$ , entre otros.

Estos contaminantes, al relacionarse con la dirección de los vientos, permiten mostrar transformaciones ambientales que son sistemas complejos interrelacionados, donde la variación de la temperatura puede incidir, a su vez, en el normal comportamiento de la contaminación atmosférica y ambos sobre la salud de las personas y de los ecosistemas.

En la atmósfera hay un gran número de contaminantes que tienen distintos impactos negativos en el ambiente y la salud humana. Entre estos contaminantes destacan las partículas  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$ , que son una mezcla de sustancias naturales, antropogénicas y productos de los procesos atmosféricos de conversión de gas a partícula. Así mismo, pueden ser emitidas como tales a la atmósfera (primarias) o bien ser generadas por reacciones químicas (secundarias). (Canseco et al., 2013).

La "partícula" es un término que se emplea para describir cualquier material sólido o líquido dividido finamente, que es dispersado y arrastrado por el aire y que tiene un tamaño que varía entre 0.0002 y 500  $\mu m$ . La composición química de las partículas, es uno de los factores que determina el riesgo a la salud, además de su tamaño y área superficial. (Sun et al., 2010).

Las partículas con diámetros mayores a 10  $\mu\text{m}$  se depositan casi exclusivamente en la nariz y garganta de los seres vivos. Las  $\text{PM}_{10}$  pueden penetrar y depositarse a lo largo del tracto respiratorio. Las partículas  $\text{PM}_{2.5}$  penetran más profundamente en los pulmones llegando a los bronquiólos y región alveolar, por lo que se les conoce como partículas respirables (Rojas y Garibay, 2003).

Echeverri y Maya (2008), afirman que la relación  $\text{PM}_{2.5}$  y  $\text{PM}_{10}$ , permite valorar la composición de las partículas por tamaño y su presencia en la atmósfera, además permite utilizar datos de  $\text{PM}_{10}$  para predecir con confianza la concentración de  $\text{PM}_{2.5}$ . Si se conoce esta relación en un lugar, se cuenta con parte de la información necesaria para tomar acciones y estrategia de gestión más adecuadas sobre las fuentes (Galvis y Rojas, 2006).

En el proceso de construcción de la carretera, la emisión de partículas respirables de tipo  $\text{PM}_{2.5}$  y  $\text{PM}_{10}$  se incrementan y al ser emitidas a la atmósfera tienden a desplazarse desde sus centros de emisión hacia donde las corrientes de viento los lleven. En algunos casos pueden presentarse en poblaciones cercanas afectando significativamente el confort, la salud y el bienestar de las personas. Sin embargo, existe un complejo patrón espacial y temporal; entre los cuales destaca la situación topográfica, los usos y coberturas de los suelos, la localización de las fuentes móviles y fijas y la acción de los vientos locales. Para dar cuenta de ello se requerirían datos e información obtenida de estaciones fijas localizadas en función de la variabilidad espacial de los factores mencionados. Por otro lado, las investigaciones recientes han demostrado que las concentraciones de contaminantes se pueden ver agravadas por la cercanía a la población a las carreteras (Buzelli, 2008).

Como una forma de avanzar en aclarar la relación espacial entre las concentraciones de contaminantes y los factores explicativos (diferencias: geológicas,

climatológicas, atmosféricas, y en las fuentes de emisión de contaminantes), esta investigación pretende conocer el grado de asociación existente entre las mediciones de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  registradas en las estaciones de monitoreo y la distribución de las temperaturas atmosféricas obtenidas de las mismas estaciones antes señaladas. Para esto se han considerado los datos de la estación fija de Chota que pertenece al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. A partir de dicha información se analizará la concentración de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$ .

El trabajo de investigación mide de forma simultánea, las concentraciones de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  en la construcción de la carretera Chota – Cochabamba en Cajamarca. Ello es de suma importancia, ya que se mide el nivel de estos contaminantes en la atmósfera de la ciudad de Lajas y Cochabamba.

El trabajo de investigación se realizó en abril-diciembre del 2012 y abril-octubre- diciembre del año 2013. No obstante, los resultados y conclusiones obtenidas tienen gran impacto en la salud de las personas y en los ecosistemas. En efecto, se puede realizar la comparación cuantitativa de los resultados obtenidos de las partículas  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) según Ministerio del Ambiente (MINAM). Con ello, finalmente determinar y analizar el grado de contaminación en los puntos de monitoreo.

### **Formulación del Problema**

¿Cuál es la concentración de las partículas  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  en la construcción de la carretera Chota – Cochabamba en Cajamarca?

#### **1.2. Justificación**

La investigación se justifica debido a que la emisión de partículas contaminantes al aire no ha sido bien estudiada respecto a su dinámica, pues la determinación de los niveles de material particulado en la atmósfera es uno de los

parámetros fundamentales en el control de la calidad del aire, como consecuencia de sus efectos nocivos sobre la salud, el clima y los ecosistemas (Rojano et al., 2013; Oyarzún, 2010).

Este trabajo de investigación se justifica en razón de que estudia y analiza un problema donde intervienen 2 variables como son el material particulado  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  que son importantes para su estudio en la construcción de la carretera Chota – Cochabamba en Cajamarca.

Es fundamental, que todas las sustancias del aire deben encontrarse en equilibrio en la atmosfera de acuerdo a sus componentes. Si se va agregando alguna sustancia en cantidades mayores en los que habitualmente tiene, el aire se contamina y establece un riesgo para el medio ambiente y/o la vida de las personas, por lo tanto, el presente estudio de investigación tiene una justificación teórica porque permitirá lograr resultados sobre la influencia de estos materiales particulados en las infecciones respiratorias de las personas, así como en los ecosistemas.

Se utilizaron instrumentos de medición debidamente calibrados y certificados, que servirán a estas y a otras investigaciones similares; se utilizará como referencia a las normas emitidas por el gobierno central a través del Ministerio del Ambiente (MINAM), las cuales nos permitirán llegar a una justificación metodológica.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo General.**

Determinar la concentración de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  en la construcción de la carretera Chota – Cochabamba en Cajamarca.

### **1.3.2. Objetivos Específicos.**

- Monitorear la concentración del material particulado  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  en los periodos de estudio durante la construcción de la carretera Chota – Cochabamba.
- Determinar eventos de elevada concentración de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  en los periodos de estudio durante la construcción de la carretera Chota – Cochabamba.
- Comparar las concentraciones de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  con los estándares de calidad ambiental para aire según el MINAM.

### **1.4. Hipótesis**

La concentración promedio de las partículas  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  en la construcción de la carretera Chota – Cochabamba en Cajamarca, superan los estándares de calidad ambiental, el cual tiene influencia en la calidad del aire.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes Teóricos

##### 2.1.1. Antecedentes Internacionales.

Blanco et al., (2015), sugieren como fuentes generadoras de las  $PM_{2.5}$ , la quema de combustibles por automotores que aporta el material orgánico, la quema de combustibles en la industria, así como el diésel usado por el transporte pesado, la erosión y suspensión del suelo y actividades extractivas como las fuentes del material del suelo que se encuentra en las partículas.

Carrillo et al., (2014), al monitorear las concentraciones diarias sobre el material particulado observó una relación directamente proporcional con las direcciones del viento y la temperatura.

Desamparados (2012), afirma que los factores ambientales como la temperatura y el viento afectan a la dispersión de los contaminantes atmosféricos particulados  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$ , pues durante los meses más fríos al existir un estancamiento de las masas de aire existe una disminución de los niveles de concentración de partículas en el aire y cuando se interrelacionan con el viento se observan que hay un alejamiento de las fuentes de emisión.

Fernández (2012), en su investigación concluyó que las fuentes que más contribuyen a los niveles y composición de las partículas  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  en Huelva (España) son: combustión de hidrocarburos pesados en actividades industriales (26% del  $PM_{2.5}$  y 30% del  $PM_{10}$ ), emisiones de automóviles (43% del  $PM_{2.5}$  y 17% del  $PM_{10}$ ), y materia mineral (18% del  $PM_{2.5}$  y 35% del  $PM_{10}$ ); además, las emisiones de los automóviles dan lugar a altos valores de  $PM_{2.5}$  durante la mañana (07:00 – 09:00h) y tarde (18:00 – 20:00 h) de los días laborables.

Palacios (2010), manifiesta que la concentración de Partículas Totales Sólidas en la atmósfera del sitio de muestreo escogido, es superior en los días que tienen flujo vehicular normal comparado con los días que hubo restricción vehicular y que las concentraciones emitidas a la atmósfera tienen una condición de proporcionalidad.

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales.**

Fernández (2017), comprobó que la concentración de material particulado  $PM_{2.5}$ , en las estaciones de monitoreo correspondientes al mes de noviembre del 2016, tuvieron resultados de 86.63 y 63.53  $\mu g/m^3$  respecto al derrumbe ocasionado en el distrito de San Juan de Sigua – Arequipa, estos valores se encuentran por encima de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de aire según el Decreto. Supremo. N° 003-2017-MINAM (ECA), donde se ve influenciado por el tránsito vehicular que circula en la vía Panamericana Sur, ya que el índice de flujo por la zona es constante.

Condori (2013), en su estudio de la contaminación por material particulado  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  en el distrito de Torata, Moquegua, resaltó la necesidad de monitorear la concentración másica de las partículas en mención, pues hay evidencias de que las partículas más finas tienen una mayor incidencia en los indicadores de mortalidad y morbilidad de la población y la naturaleza.

Quispe (2013), realizó una evaluación cuantitativa de material particulado, y determinó la relación expresada como el incremento de 10  $\mu g/m^3$  en las concentraciones de partículas respirables ( $PM_{10}$ ) con un aumento agudo a corto plazo y son las causas del incremento de la frecuencia de consultas por IRAS en los pobladores de Ate Vitarte.

Herrera (2011), afirmó que la calidad del aire del medio atmosférico en la población de Segunda Jerusalén, en partículas  $PM_{10}$ , cumple las normas legales peruanas, cuyas cantidades en promedios son de 10.14  $\mu g/m^3$  para la época de invierno y 13.37  $\mu g/m^3$  para la época de verano. El Decreto Supremo N° 074-2001-PCM, menciona que

los Límites Máximos Permisibles (LMP), para material particulado PM<sub>10</sub>, corresponden a concentraciones de 150 ug/m<sup>3</sup>.

DIGESA (2000), afirmó que el material particulado es una mezcla de partículas sólidas microscópicas y gotas líquidas suspendidas en el aire, el cual se clasifica de acuerdo a su tamaño, en partículas con diámetro menor a 10 micras, 2.5 micras y 1 micra. Las partículas gruesas contienen usualmente material de la corteza terrestre y polvo de las carreteras y de la industria. La fracción fina contiene mayor acidez y actividad mutagénica. La mayor parte de las partículas se hallan como finos (entre 100 nm y 2.5 µm), pero hay otro porcentaje importante que están como ultrafinos (menores a 100 nm).

Un estudio realizado por el MINAM (2014), determinó que los resultados obtenidos para el PM<sub>10</sub>, están referidos a muestreos puntuales en las dieciocho Nuevas Zonas de Atención Prioritaria (ZAP) en el ámbito geográfico de las Cuencas Atmosféricas de las provincias de Abancay, Cajamarca, Chachapoyas, Coronel Portillo, Huamanga, Huancavelica, Huánuco, Huaraz, Ica, Mariscal Nieto, Moyobamba, Puno, San Román, Tacna, Tambopata, Tarapoto, Tumbes y Utcubamba. Estos muestreos han sido realizados a fines de 2013 e inicios de 2014. La información de las primeras trece Nuevas Zonas de Atención Prioritaria (ZAP) ha sido tomada principalmente de los monitoreos realizados como parte del Programa de Vigilancia de la Calidad del Aire realizados por la DIGESA y el SENAMHI, y estudios puntuales realizados por el OEFA. (Figuras 1 y 2).

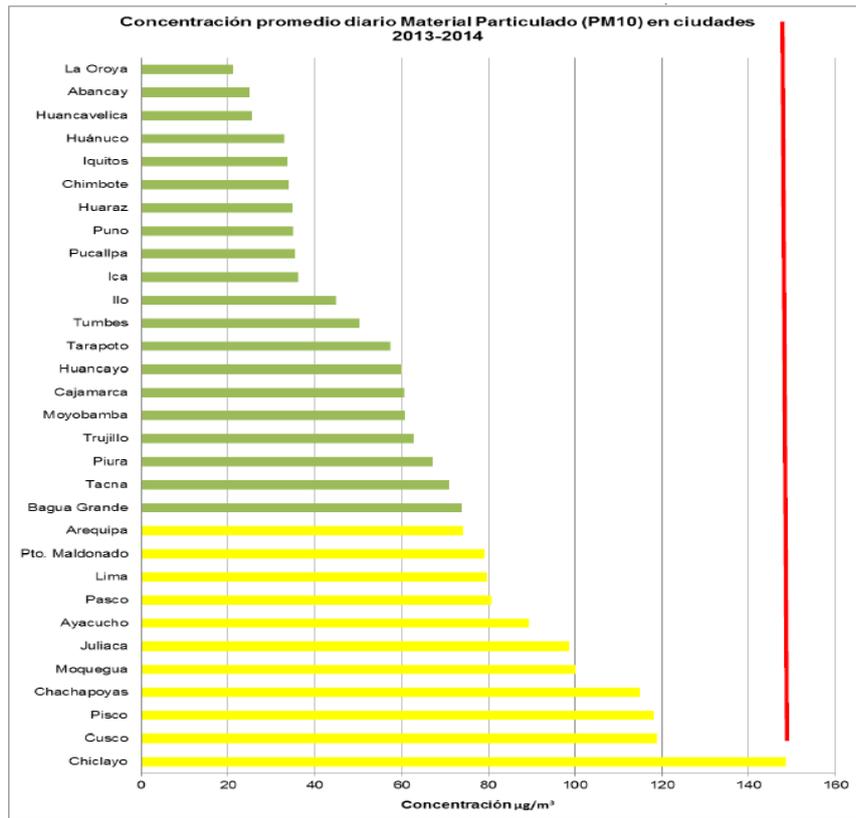


Figura 1. Concentración Promedio Diario de PM<sub>10</sub> en Ciudades.

Fuente: Informe Nacional de la Calidad del Aire 2013-2014 (MINAM)

INCA	Concentración µg/m <sup>3</sup>
BUENA	0-75
MODERADA	76-150
MALA	151-250
VUEC*	> 250

Figura 2. Umbral de Cuidado.

Fuente: Informe Nacional de la Calidad del Aire 2013-2014 (MINAM)

Un estudio realizado por el MINAM (2014) determinó que para el ranking de ciudades referidas al parámetro PM<sub>2.5</sub> se tiene información de monitoreos puntuales de 21 ciudades realizados entre 2013 y 2014; los resultados muestran con claridad tres clases de ciudades, las que presentan niveles bajos con una concentración menor a 12.5 µg/m<sup>3</sup> que pertenecen a la categoría buena (color verde), son 5 ciudades Ayacucho, Abancay, Huaraz, Huánuco y Huancavelica; mientras que 10 ciudades presentan niveles de contaminación moderada (color amarillo) y 6 ciudades pertenecen a la categoría mala, excediendo el valor del ECA, estas son Chachapoyas, Cajamarca, Tacna y Juliaca, Moquegua y Cusco. (Figuras 3 y 4).

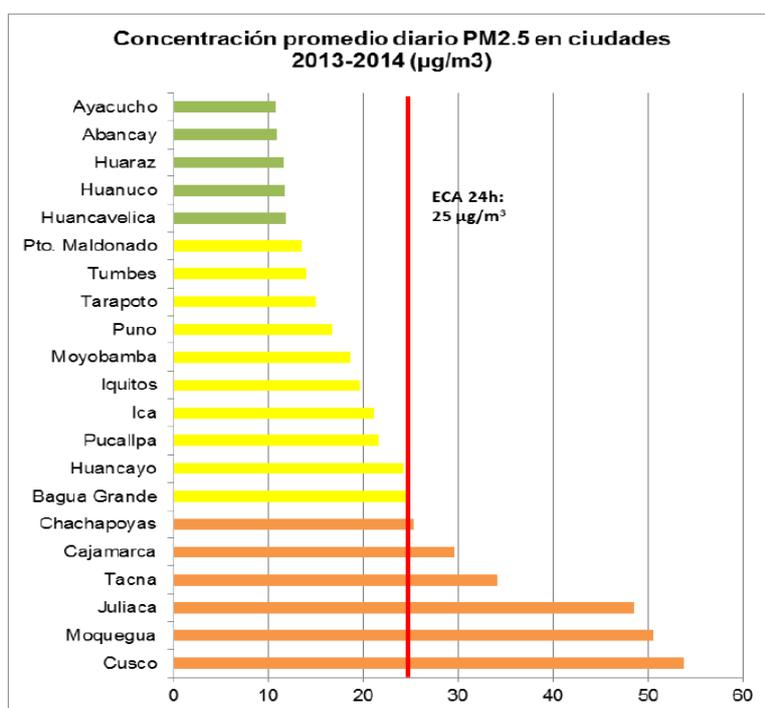


Figura 3. Concentración Promedio Diario de PM<sub>2.5</sub> en Ciudades.

Fuente: Informe Nacional de la Calidad del Aire 2013-2014 (MINAM)

INCA	Concentración $\mu\text{g}/\text{m}^3$
BUENA	0-12,5
MODERADA	12.6-25
MALA	25.1-125
VUEC*	>125

Figura 4. Umbral de Cuidado.

Fuente: Informe Nacional de la Calidad del Aire 2013-2014 (MINAM)

### 2.1.3. Antecedentes locales.

Briones y Malaver (2015), afirmaron que la concentración de  $\text{PM}_{2.5}$  en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en la Cuenca Atmosférica de Cajamarca, varían cada año, encontrándose casi en todo momento por encima de los valores de  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  según el Estándar de Calidad Ambiental (ECA).

Briones y Malaver (2015), de la misma forma que la Dirección General de Salud Ambiental (2005) y el SENHAMI (2011), también asocian que el aumento del parque automotor, sobre todo de automóviles gasolineros, la minería, las canteras, las ladrilleras, las pollerías, las panaderías, la quema de leña para cocinar, la quema de basura y pastizales, entre otros factores contribuyen al exceso de partículas en suspensión como  $\text{PM}_{2.5} \mu\text{g}/\text{m}^3$  en la atmósfera. Todo ello, constituye factores de morbilidad en la población de Cajamarca, pues según menciona la Organización Mundial de la Salud (2005), estas partículas pueden ocasionar neumopatías, cardiopatías, cáncer y otro tipo de enfermedades que afectaran a toda la población en general, en especial a los niños, ancianos y gestantes.

Cachi (2014), realizó en Cajamarca, monitoreos de  $\text{PM}_{2.5}$  en la Estación de Monitoreo I.E. Santa Teresita cuyos valores, en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , exceden los ECAS, sobre todo en épocas de estiaje y viento.

Martos (2013), determinó que el aire de Cajamarca está expuesto a contaminación por partículas del tipo  $PM_{2.5}$  porque existen valores que sobrepasan los ECAS, mas no para las partículas  $PM_{10}$  cuyos valores están por debajo de los ECAS.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Material particulado.**

Para Meszaros (1999), el material particulado es uno de los contaminantes atmosféricos más estudiados en el mundo, este se define como el conjunto de partículas sólidas y/o líquidas (a excepción del agua pura) presentes en suspensión en la atmósfera, que se originan a partir de una gran variedad de fuentes naturales o antropogénicas y poseen un amplio rango de propiedades morfológicas, físicas, químicas y termodinámicas.

Fang et al., (2006), afirmaron que el material particulado (MP) es un conjunto de partículas sólidas y líquidas emitidas directamente al aire, tales como el hollín de diésel, polvo de vías, el polvo de la agricultura y las partículas resultantes de procesos productivos.

Viana (2003), sostuvo que la extracción de la atmósfera del material particulado en suspensión se produce por diversos mecanismos, bien sea por deposición seca o por deposición húmeda, cuya eficacia depende esencialmente del diámetro, composición química y propiedades termodinámicas de las partículas.

Toro et al., (2001), afirmaron que el material particulado es emitido a la atmósfera producto de diferentes actividades, tanto naturales como antropogénicas. Entre las actividades naturales se encuentran las emisiones volcánicas y las partículas arrastradas por el viento, como el aerosol marino. Dentro de las actividades antropogénicas se encuentran las emisiones de gases de escape y partículas procedentes de los buques de navegación marítima.

García (2002), afirmó que el material particulado debido a que son de tamaño, forma y composición variada, para su identificación se han clasificado en términos de su diámetro aerodinámico que corresponde al diámetro de una esfera uniforme en unidad de densidad, que alcanza la misma velocidad terminal de asentamiento que la partícula de interés y que está determinado por la forma y densidad de la partícula. De acuerdo a esto, pueden ser clasificadas como finas y gruesas. Por otra parte, el material particulado está asociado con compuestos con conocida actividad genotóxica, mutagénica o carcinogénica.

### **2.2.2. Contaminación por partículas.**

Alonso (2005), señaló que la evaluación del impacto en salud puede ser una importante aportación a la valoración de las políticas medioambientales. Las muertes prematuras atribuibles a la contaminación media anual de  $PM_{10}$  son por encima de  $20 \mu g/m^3$  y son todavía necesarias investigaciones futuras para evaluar y comparar el impacto de distintos riesgos ambientales.

Billet et al., (2007), afirmaron que, según la normatividad colombiana, el material particulado no sedimenta en períodos cortos, sino que permanece suspendido en el aire debido a su tamaño y densidad. Estas partículas en suspensión (MP) son una compleja mezcla de productos químicos y/o elementos biológicos, como metales, sales, materiales carbonosos, orgánicos volátiles, compuestos volátiles (COV), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y endotoxinas que pueden interactuar entre sí formando otros compuestos.

Moreano Bohórquez et al., (2012), se refiere al impacto producido por partículas en suspensión menores a 10 micras ( $PM_{10}$ ) debido a emisiones de compuestos ocasionados por el parque automotriz.

### **2.2.3. Tecnología de emisión.**

Las tecnologías utilizadas para el control de las emisiones de material particulado para fuentes fijas corresponden a:

#### **2.2.3.1. Ciclones.**

Son equipos de recolección de polvo que se usan con mayor frecuencia. Los ciclones remueven el material particulado de la corriente gaseosa, basándose en el principio de impactación inercial, generado por la fuerza centrífuga. Son adecuados para separar partículas con diámetros mayores de 5 $\mu$ m con eficiencias hasta del 90%; aunque partículas muchos más pequeñas, en ciertos casos, pueden ser separadas. (Echeverri, 2006).

#### **2.2.3.2. Multiciclones.**

Son, básicamente, un conjunto de pequeños ciclones de alta eficacia, reunidos en un colector común. Al igual que los ciclones ordinarios, separan las partículas del gas a tratar mediante el centrifugado del mismo. La eficacia de los multiciclones para polvo con partículas entre 80 y 120 micras es del 95 al 98%. (Mejía y Oviedo, 2006).

#### **2.2.3.3. Lavador Venturi.**

El lavador inyecta chorros finos de líquido (generalmente agua) a alta velocidad en la estrección de un Venturi, el líquido se atomiza y se mezcla con la corriente de gases en la zona de expansión. Los lavadores Venturi pueden alcanzar el 99% de eficiencia en la remoción de partículas pequeñas. Sin embargo, una desventaja de este dispositivo es la producción de aguas residuales. Las eficiencias de recolección de los depuradores tipo Venturi varían del 70 a más del 99 por ciento, dependiendo de la aplicación. Las eficiencias de recolección son generalmente más altas para la MP con diámetros aerodinámicos de aproximadamente 0.5 a 5 mm. (Mejía y Oviedo, 2006).

#### **2.2.3.4. Precipitador electrostático**

Este dispositivo de control de partículas utiliza fuerzas eléctricas para mover las partículas fuera de la corriente de gas y sobre las placas del colector. A las partículas se les da una carga eléctrica forzándolas a que pasen a través de una corona, una región en la cual fluyen iones gaseosos. El campo eléctrico que fuerza a las partículas cargadas hacia las paredes, proviene de electrodos que se mantienen a un alto voltaje en el centro de la línea de flujo. La eficiencia de estos equipos depende de factores como la humedad de los gases del efluente, la resistividad de la mezcla del gas, partículas, etc. Permite tratar grandes flujos de gas a altas temperaturas y posee buena eficiencia para la recolección de particulado fino. (Mejía & Oviedo, 2006).

#### **2.2.3.5. Filtros de mangas**

Los equipos más representativos de la separación sólido-gas. Su función consiste en recoger las partículas sólidas que arrastra una corriente gaseosa haciéndolas pasar a través de un tejido. En general, un filtro es una estructura porosa compuesta de material fibroso que tiende a retener las partículas según pasa el gas que las arrastra, a través de los espacios vacíos del filtro. (Mejía y Oviedo, 2006).

#### **2.2.4. Estándares de calidad ambiental (ECA).**

En el Perú, estos límites están regulados por el Ministerio del Ambiente. Según el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para material particulado y establecen disposiciones complementarias.

**Tabla 1 . Estándares Nacionales de Calidad del Aire.**

Parámetros	Período	Valor [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Criterios de evaluación	Método de análisis
Material Particulado con diámetro menor a 2.5 micras ( $\text{PM}_{2.5}$ )	24 horas	50	No exceder más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración
	Anual	25	Media aritmética anual	(Gravimetría)
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras ( $\text{PM}_{10}$ )	24 horas	100	No exceder más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración
	Anual	50	Media aritmética anual	(Gravimetría)

*Fuente: Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM*

### **2.2.5. Calidad de aire.**

Es una indicación de cuando el aire esté exento de polución atmosférica, y por lo tanto apto para ser respirado. (MINAM, 2012).

Querol (2008), señaló que la modificación de la composición de la atmósfera, por causas antropogénicas o naturales, altera la calidad del aire, a la vez que puede causar cambios en el clima por su influencia en el balance radiactivo terrestre. Los indicadores que mejor reflejan la calidad de vida de una sociedad son los medioambientales.

### **2.2.6. Contaminación del Aire.**

Seoáñez (2002), señaló que el estudio de la contaminación del aire, generalmente, se limita a la Tropósfera, es decir, la capa inferior de la atmósfera envolvente de la tierra, que se extiende desde la superficie del planeta hasta los 12 km de altura, variando esta distancia en función de la latitud y las estaciones del año.

## **2.3. Definición de Términos Básicos**

### **2.3.1. Contaminación.**

Presencia o incorporación al ambiente de sustancias o elementos tóxicos que son perjudiciales para el hombre o los ecosistemas (seres vivos). Los tipos de contaminación más importantes son los que afectan a los recursos naturales básicos: el

aire, los suelos y el agua. Existen diferentes tipos de contaminación que dependen de determinados factores y que afectan distintamente a cada ambiente. (Bermúdez et al., 2010).

### **2.3.2. Contaminantes.**

Contaminante es cualquier sustancia o forma de energía que puede provocar algún daño o desequilibrio (irreversible o no) en un ecosistema, en el medio físico o en un ser vivo. Es siempre una alteración negativa del estado natural del medio ambiente y generalmente, se originan como consecuencia de la actividad humana. Para que exista contaminación la sustancia contaminante deberá estar en cantidad relativa suficiente como para provocar ese desequilibrio. (Bermúdez et al., 2010).

Contaminante es la sustancia presente en mayor concentración a la natural como resultado de la actividad humana y que ejerce un efecto pernicioso sobre el ambiente o sobre algo valioso para el ambiente. (Figuerelo y Dávila, 2004).

### **2.3.3. Atmósfera.**

Envoltura gaseosa que rodea la tierra mientras que el aire es una porción limitada de ella. A menudo, estos términos se usan indistintamente en el estudio ambiental. La atmósfera terrestre tiene una altura de 2000 Km. La densidad de los gases desciende con la altitud y la temperatura, varían también conforme estas se alteren lo que permite separar arbitrariamente a la atmósfera en capas para su estudio. (Díaz, 2009).

### **2.3.4. Contaminación Atmosférica.**

Presencia en el aire de materias o formas de energía que impliquen riesgo, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza, así como que pueden atacar a distintos materiales, reducir la visibilidad o producir olores desagradables. El nombre de la contaminación atmosférica se aplica por lo general a las alteraciones que tiene efectos perniciosos en los seres vivos y los elementos materiales, y

no a otras alteraciones inocuas. Los principales mecanismos de contaminación atmosférica son los procesos industriales que implican combustión, tanto en industrias como en automóviles. (Bermúdez, 2010).

### **2.3.5. Partículas en Suspensión.**

Estos términos abarcan un amplio espectro de sustancias orgánicas o inorgánicas dispersas en el aire, procedentes de fuentes naturales y artificiales, en la combustión de carburantes fósiles generada por el tráfico (una de las principales fuentes de contaminación por partículas en las ciudades), puede producir diversos tipos de partículas: partículas grandes, por la liberación de materiales inquemados (cenizas volátiles), partículas finas, formadas por la condensación de materiales vaporizados durante la combustión, y partículas secundarias, mediante reacciones atmosféricas de contaminantes desprendidos como gases. (Estévez, 2006).

### **2.3.6. PM<sub>10</sub>.**

Material particulado con diámetro aerodinámico igual o inferior a las 10  $\mu\text{m}$ . (Linares y Díaz, 2011).

Aquellas partículas sólidas o líquidas de polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen, dispersas en la atmósfera y cuyo diámetro varía entre 2.5 y 10  $\mu\text{m}$  (1 micrómetro corresponde a la milésima parte de 1 milímetro). Están formadas principalmente por compuestos inorgánicos como silicatos y aluminatos, metales pesados, entre otros, y material orgánico asociado a partículas de carbono (hollín). Se caracterizan por poseer un pH básico debido a la combustión no controlada de materiales. (Ministerio de Agricultura y Pesca de España, 2013).

### **2.3.7. PM<sub>2.5</sub>.**

Material particulado respirable presente en la atmósfera de nuestras ciudades en forma sólida o líquida (polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento y polen,

entre otras) el cual representa la fracción respirable más pequeña, estas últimas están constituidas por aquellas partículas de diámetro aerodinámico inferior o igual a los micrómetros, es decir, son 100 veces más delgados que un cabello humano. En el caso del PM<sub>2.5</sub> su origen está principalmente en fuentes de carácter antropogénico, como las emisiones de los vehículos diésel. (Linares y Díaz, 2011).

### **2.3.8. Índice de Calidad Ambiental.**

Herramienta usada por la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA) y otras agencias para proveer al público información oportuna y fácil de comprender sobre la calidad del aire local. También indica si los niveles de polución son perjudiciales para la salud. El AQI informa al público si la condición del aire debe ser preocupante a su salud. (Bermúdez et al., 2010).

### **2.3.9. Monitoreo de Aire.**

Todas las metodologías diseñadas para muestrear, analizar y procesar en forma continua las concentraciones de sustancias o de contaminantes presentes en el aire en un lugar establecido y durante un tiempo determinado. Es importante porque permite conformar una base de datos que aporte información para la realización de estudios necesarios para: a) formular los estándares de calidad de aire, b) realizar investigaciones epidemiológicas que relacionen los efectos de las concentraciones de los contaminantes con los daños en la salud, c) especificar tipos y fuentes emisoras, d) llevar a cabo estrategias de control y políticas de desarrollo acordes con los ecosistemas locales y e) desarrollar programas racionales para el manejo de la calidad del aire.(Escalona et al., 2008).

### **2.3.10. Índice de Calidad del Aire (ECA).**

Representación y calificación del estado de la calidad del aire tomando en cuenta los conceptos ya posicionados en la población como son los colores del semáforo

y del espectro de luz como el arco iris. Considerando los Estándares de Calidad Ambiental del Aire (ECA) vigentes y los Niveles de Estado de Alerta, el INCA se divide en 4 categorías. La banda de color verde significa que la calidad del aire es buena, la banda de color amarillo indica una calidad moderada del aire, la banda de color anaranjado indica que la calidad del aire es mala, finalmente el color rojo de la cuarta banda indica que la calidad del aire se encuentra en el umbral de cuidado, el cual corresponde a la aplicación de los estados de alerta por parte de la autoridad de Salud. (MINAM, 2014).

#### **2.3.11. Zonas de Atención Prioritaria (ZAP).**

Zonas que cuenten con centros poblados o poblaciones mayores a 250000 habitantes o una densidad poblacional por hectárea que justifiquen su atención prioritaria o con presencia de actividades socioeconómicas con influencia significativa sobre la calidad del aire. En cada ZAP se deberá elaborar el Diagnóstico de Línea Base que considera la realización de monitoreo de la Calidad del Aire para determinar el estado de la calidad del aire, el inventario de emisiones, identificando las fuentes de contaminación y estimando la carga anual de contaminantes, criterio liberados al aire y los estudios epidemiológicos para tratar de correlacionar los niveles de contaminación del aire con el impacto en la salud (prevalencia de enfermedades). Este diagnóstico permite a los Grupos de Estudio Técnico Ambiental de Calidad del Aire (GESTA) establecer las prioridades para la gestión de la calidad del aire en la ZAP. (MINAM, 2014).

#### **2.3.12. *Protocolo de Monitoreo del material particulado $PM_{2.5}$ y $PM_{10}$ y gestión de los datos (DIGESA, 2005).***

##### **2.3.12.1. *Diseño del Monitoreo.***

El diseño del monitoreo depende de la planificación y de los objetivos que se desean alcanzar, así como la disponibilidad de recursos (económicos, humanos y tiempo); los contaminantes que se van a monitorear, la estrategia, el equipamiento, tipo

de información requerida, calidad de la información (exactitud, precisión, representatividad y comparabilidad).

La definición y documentación de los objetivos del monitoreo, así como la definición de los objetivos de la calidad de los datos deben realizarse considerando el uso eficiente de los recursos, la implementación del sistema de aseguramiento de la calidad en el proceso y el diseño adecuado de la red de monitoreo.

#### **2.3.12.2. Escala de monitoreo.**

La escala del monitoreo del material particulado  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  de la calidad del aire, debe ser compatible con el objetivo del monitoreo en un lugar, a una escala espacial apropiada y representativa, para facilitar la localización física de las estaciones de monitoreo. La escala de representatividad espacial relativa a cada contaminante se define para establecer la relación entre los objetivos de monitoreo y localización física de la estación de monitoreo.

En la tabla 2 se observa las seis escalas para la realización de monitoreos ambientales de acuerdo a la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), y constituye la representatividad espacial para ubicar los sistemas de monitoreo, donde cada escala espacial se diseña para cumplir con los objetivos específicos de monitoreo.

**Tabla 2.** *Definición de escalas para la realización de monitoreos ambientales.*

<b>Categoría de Escala</b>	<b>Definición</b>
Microescala	Define las concentraciones en volumen de aire asociados con dimensiones de área de algunos metros hasta 100 metros.
Escala Media	Define concentraciones típicas de áreas que pueden comprender dimensiones desde 100 metros hasta 0.5 kilómetros.
Escala Local	Define concentraciones en un área con uso de suelo relativamente uniforme, cuyas dimensiones abarcan de 0.5 a 4.0 kilómetros.
Escala Urbana	Define todas las condiciones de una ciudad con dimensiones en un rango de 4 a 50 kilómetros.
Escala Regional	Define generalmente un área rural de geografía razonablemente homogénea y se extiende desde decenas hasta cientos de kilómetros.
Escala Nacional o Global	Las mediciones que corresponden a esta escala representan concentraciones características de la nación o del mundo como un todo.

*Fuente: Dirección general de salud Ambiental*

La tabla 3 indica la relación entre los objetivos del monitoreo y las escalas de representatividad, teniendo en cuenta que el presente protocolo de la calidad del aire, relaciona los efectos que se da en la población con las concentraciones de dichos contaminantes en el aire.

**Tabla 3.** *Relación entre Objetivos de Monitoreo y Escalas Espaciales de Representatividad.*

<b>Objetivos de monitoreo</b>	<b>Escalas espaciales apropiadas</b>
Medición de altas concentraciones	Micro
	Media
	Local
Efectos en la población	Local
	Urbana
	Micro
Impacto de fuentes	Media
	Local
	Local
General / De fondo / De base	Local

*Fuente: Dirección general de salud ambiental.*

### **2.3.12.3. Selección de Parámetros a Monitorear.**

Los contaminantes atmosféricos son producidos por fuentes fijas y móviles, los cuales pueden generar problemas en su desplazamiento de contaminantes secundarios (polvo, humos). El alto costo para el monitoreo de la calidad del aire utilizando equipos automáticos en las redes, no permite monitorear todos los contaminantes que se generan, por lo que el de monitoreo se registra en un área determinada. Los contaminantes a ser monitoreados son los indicados en el Decreto Supremo N° 074-2001-PCM y que pueden tener efectos adversos sobre la salud y el ambiente.

**Tabla 4 . Parámetros a Monitorear.**

<b>Grupo</b>	<b>Parámetro</b>
Material particulado	Material particulado respirable de diámetro menor a 10 $\mu\text{m}$ (PM-10)
	Material particulado respirable de diámetro menor a 2.5 $\mu\text{m}$ (PM-2.5)
Gases	Dióxido de azufre
	Monóxido de carbono
	Dióxido de nitrógeno
	Ozono
Metales pesados	Sulfuro de hidrógeno
	Plomo
Meteorológicos	Dirección del viento
	Velocidad del viento
	Temperatura
	Humedad relativa
	Precipitación
	Radiación Solar
	Perfil vertical de temperatura
	Nubosidad

*Fuente: Dirección general de salud Ambiental*

Así mismo, se debe indicar en el área determinada qué contaminantes deben monitorearse. Por ejemplo, los vehículos son la fuente primaria de contaminantes de material particulado, gases y compuestos orgánicos, el cual deberían ser monitoreados. Si el área es afectada por el consumo de leña, carbón, etc., en procesos industriales o domésticos se debe monitorear las partículas y gases. Por lo tanto; el monitoreo dependerá de los objetivos centrales y de la elección de los

contaminantes a monitorear. Se presenta una tabla de los contaminantes a monitorear en función a las principales fuentes de contaminación:

**Tabla 5.** *Contaminantes a Monitorear en Función a las Principales Fuentes.*

<b>Fuente</b>	<b>Contaminante</b>
Vehículos (tráfico intenso)	Dióxido de nitrógeno
	Monóxido de carbono
Domicilios / consumo de leña	Dióxido de azufre PM-10 / PM-2.5
Industrias y domésticas / consumo de carbón	Monóxido de carbono PM-10 / PM-2.5
Industrias / consumo de combustible residual	Dióxido de azufre PM-10 / PM-2.5
Pesqueras	Dióxido de azufre Sulfuro de hidrógeno
Fundición	Dióxido de azufre
Cemento	PM-10 / PM-2.5
Generación eléctrica / consumo de carbón, residual y diésel	Dióxido de azufre PM-10 / PM-2.5
Generación eléctrica / consumo de gas	Dióxido de nitrógeno

*Fuente: Dirección general de salud ambiental*

#### **2.3.12.4. Frecuencia del Monitoreo y Periodos de Muestreo.**

La frecuencia de monitoreo indica el número de muestras que se tomaran o llevaran a cabo en un intervalo de tiempo en un área de muestreo.

La frecuencia de monitoreo de los contaminantes depende de los objetivos del monitoreo y de la normativa nacional que establece los periodos de evaluación (Decreto Supremo N° 074-2001-PCM y Decreto Supremo N° 009-2003-SA).

Los valores medios anuales se pueden obtener realizando muestreos individuales con una o dos veces por semana, dependiendo de las concentraciones y variando el día de la semana, (ejemplo: tomar muestreos cada seis días), de manera que se tomen muestras de todos los días de la semana, de acuerdo a los objetivos del programa. Para el monitoreo de partículas con la técnica de un antifaz “pantalla táctil” son usuales las frecuencias semanales y mensuales. Estas mediciones no pueden ser comparadas con normas horarias.

El periodo de muestreo es el tiempo de toma de muestra de lectura individual y corresponde al periodo en que se lleva a cabo la determinación de concentraciones de los contaminantes.

Se recomienda que para los periodos de muestreo se midan concentraciones promedio de 24 horas; se realice el monitoreo anual para determinar las variaciones estacionales y los promedios anuales, se lleven a cabo muestreos diarios si se necesitan realizar comparaciones significativas a corto plazo o si las concentraciones a 24 horas serán cuantificadas confiablemente y que se realicen monitoreos con resolución horaria únicamente cuando existan condiciones de episodio de contaminación.

#### **2.3.12.5. Criterios para la Selección de Métodos.**

Es recomendable elegir la técnica idónea para desarrollar las tareas, si se emplea un método inadecuado, demasiado sofisticado o que conduce a errores, el desempeño de la red podría ser deficiente, generar datos de poca utilidad y lo que es peor pérdida de recursos. Si bien los objetivos del monitoreo son el principal factor que se debe considerar para el diseño, también es importante tener en cuenta las limitaciones de recursos y la disponibilidad de personal calificado. Es necesario lograr un equilibrio entre los costos del equipo, la complejidad, la confiabilidad y el desempeño. Los

sistemas más avanzados pueden suministrar datos cada vez más refinados pero su operación es más sofisticada y difícil. Los aspectos a considerar en la selección del método de medición son:

#### **2.3.12.6. Parámetros Técnicos.**

- **Selectividad:** indica el grado por el cual un método puede determinar un contaminante sin ser interferido por otros componentes.
- **Especificidad:** indica el grado de interferencias en la determinación.
- **Límite de detección:** es la concentración mínima detectable por un sistema de medición.
- **Sensibilidad:** tasa o amplitud de cambio de la lectura del instrumento con respecto a los cambios de los valores característicos de la calidad del aire.
- **Exactitud:** semejanza entre el valor verdadero y el valor medio o medido. Depende tanto de la especificidad del método como de la exactitud de la calibración, que a su vez depende de la disponibilidad de estándares primarios y de la forma como es calibrado el equipo. Indica la ausencia de errores por predisposición o sesgo por azar.
- **Precisión:** semejanza entre los resultados de una serie de mediciones aplicando un método bajo condiciones predeterminadas y el valor medio de las observaciones.
- **Calibración del instrumento:** disponibilidad de material particulado PM<sub>2.5</sub> Y PM<sub>10</sub> de calibración en el mercado (estándares primarios) y a su aplicación en el sistema de muestreo, así como a la necesidad de la frecuencia de su uso.
- **Partículas de calibración:** partículas primarios o secundarios
- **Tiempo de respuesta del instrumento:** corresponde al tiempo necesario para que el monitor responda a una señal dada, o sea el periodo transcurrido desde

la entrada del contaminante al instrumento de medición hasta la emisión del valor de la medición de las partículas. Se suele distinguir dos partes, el tiempo de retraso, aquel en que se alcanza el 10% del cambio final en el instrumento de lectura y el tiempo de crecimiento o caída, durante el cual se pasa del 10% al 90% del cambio final en el instrumento de lectura.

- **Otros parámetros:**

- ✓ Disponibilidad de los sensores
- ✓ Resolución espacial
- ✓ Mantenimiento
- ✓ Porcentaje del intervalo de tiempo fuera de operación
- ✓ Equipamiento adicional necesario
- ✓ Mano de obra especializada requerida para operación y mantenimiento
- ✓ Simplicidad de aplicación y uso
- ✓ Confiabilidad y compatibilidad
- ✓ Costo de adquisición, operación y mantenimiento
- ✓ Soporte

#### **2.3.12.7. Descripción de los Diferentes Métodos.**

De acuerdo a la Guías de la Calidad del Aire de la OMS, los métodos de monitoreo se pueden dividir en cuatro tipos genéricos principales con diferentes costos y nivel de desempeño incluyendo a los muestreadores pasivos, muestreadores activos, analizadores automáticos y sensores remotos.

##### **2.3.12.7.1. Muestreadores Pasivos.**

Es un método simple y eficaz en función de los costos para determinar el sondeo de la calidad del aire en un área determinada. A través de un equipo HANDHELD 3016AQ con flujo de 0.1 CFM y un antifaz “Pantalla táctil” que es un medidor de partículas dispersas; se recoge una muestra integrada durante un determinado periodo

(que generalmente varía entre una semana y un mes). Los bajos costos por unidad permiten muestrear en varios puntos del área de interés, para identificar los lugares críticos donde hay una alta concentración de contaminantes, como las vías principales o las fuentes de emisión, y donde se deben realizar estudios más detallados. Para aprovechar al máximo esta técnica, se debe tener un diseño cuidadoso del estudio y vigilar los procedimientos en el seguimiento y control de la calidad seguidos en el laboratorio durante el análisis de la muestra.

#### 2.3.12.7.2. Muestreadores Activos.

Las muestras de contaminantes se recolectan por medios físicos o químicos para su posterior análisis en el laboratorio. Generalmente, se bombea un volumen conocido de aire a través de un colector como un filtro (Muestreador activo manual) o una solución química (Muestreador activo automático) durante un determinado periodo y luego se retira para el análisis. Existe una larga historia de mediciones con muestreadores en muchas partes del mundo, que provee datos valiosos de línea de base para análisis de tendencias y comparaciones. Los sistemas de ponderación para el material particulado (MP), los muestreos para gases y el acondicionamiento de muestras, así como los procedimientos de laboratorio, son factores clave que influyen en la calidad de los datos finales.

#### 2.3.12.7.3. Analizadores Automáticos.

Proporcionan mediciones de alta resolución (generalmente en promedios horarios o mejores) en un punto para varios contaminantes como material particulado ( $PM_{2.5}$  Y  $PM_{10}$ ), así como para otros contaminantes importantes como los COV. La muestra se analiza en línea y en tiempo real, generalmente a través del método medidor de partículas dispersas HANDHELD 3016AQ con flujo de 0.1 CFM y un antifaz “Pantalla táctil”. Para determinar la calidad de los datos del analizador de partículas, es

necesario contar con procedimientos adecuados para el mantenimiento, la operación, aseguramiento y control de calidad.

#### 2.3.12.7.4. Sensores Remotos.

Son instrumentos que se están utilizando recientemente que usan técnicas espectroscópicas de larga trayectoria para medir las concentraciones de varios contaminantes en tiempo real. Los datos se obtienen mediante la integración entre el detector y una fuente de luz a lo largo de una ruta determinada. Los sistemas de monitoreo de larga trayectoria pueden cumplir un papel importante en diferentes situaciones de monitoreo, principalmente cerca de las fuentes. Para obtener datos significativos con estos equipos, es necesario contar con procedimientos adecuados para la operación, calibración y manejo de datos. Estos métodos requieren calibración de los instrumentos y aseguramiento de la calidad para obtener datos significativos.

#### 2.3.12.7.5. Ventajas y desventajas de las metodologías

Existe una amplia variedad de métodos para la medición de contaminantes en el aire, con variación en costos y precisión. Los métodos de monitoreo específicos deben ser seleccionados teniendo en cuenta los objetivos del programa de monitoreo y el presupuesto disponible.

**Tabla 6.** *Ventajas y Desventajas de las Diferentes Técnicas de Monitoreo de la Calidad del Aire.*

<b>Método</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Muestreadores Pasivos	Muy económicos. Muy simples. No dependen de cables de electricidad. Se colocan en números muy grandes. Útiles para sondeos, mapeos y estudios de línea de base.	No han sido probado para algunos contaminantes. Sólo suministran promedios mensuales y semanales. Requieren mano de obra calificada para su funcionamiento y el consiguiente análisis. No existe un método de referencia para monitorear el cumplimiento. Lenta generación de datos.
Muestreadores Activos	Económicos. De fácil manejo. Operación y rendimiento confiables. Cuentan con base de datos históricos.	Suministran promedios diarios. Requieren mano de obra calificada para la recolección y análisis de muestras. Requieren análisis de laboratorio.
Analizadores Automáticos	Han sido debidamente probados. Alto rendimiento. Datos horarios. Información en línea.	Sofisticados. Costosos. Demandan alta calificación. Altos costos recurrentes.
Sensores Remotos	Función de la ruta y del rango de concentración. Útiles cerca de fuentes Mediciones de componentes múltiples.	Muy sofisticados y costosos. Soporte, operación, calibración Validaciones difíciles. No comparable con mediciones puntuales Visibilidad atmosférica e interferencia

*Fuente: Dirección general de salud Ambiental*

### **2.3.12.8. Factores para la Operación (Precisión y Confiabilidad).**

#### **2.3.12.8.1. Métodos Instrumentales de Alta Precisión.**

Generan registros continuos de niveles de contaminantes en periodos extensos (semanas o meses) con mínima intervención del operador, y con un alto grado de precisión en la medición. Los niveles de detección están en un orden de magnitud o más bajo que los niveles de fondo típico. Así mismo, estos métodos de monitoreo más

costosos y requieren de una apropiada calibración y operación para asegurar que se alcance una alta precisión.

#### 2.3.12.8.2. Métodos Instrumentales de Menor Precisión.

Son económicos con respecto a los monitores de alta precisión. Sin embargo, requieren la verificación de su operación con mayor frecuencia, y la precisión de la medición está en el orden del nivel de fondo típico. El costo de estos instrumentos es menor a los monitores de alta precisión, aunque los costos se incrementan por la operación y el mantenimiento

#### 2.3.12.8.3. Métodos Manuales para Particulados.

Proporcionan resultados para un periodo, típicamente de 24 horas. La mayoría de sistemas requieren cambios manuales del detector de partículas dispersas en el muestreo para cada muestra; aunque también hay disponibles algunos sistemas semi automáticos. La precisión de la mayoría de estos métodos manuales para Material Particulado es alrededor del 10% al 20% de los niveles de precisión.

#### 2.3.12.8.4. Métodos de Monitoreo Activo.

Se utilizan para una gran variedad de contaminantes de material particulado y gaseosos. Se requieren la intervención del operador de manera regular y sólo producen resultados para un periodo de 24 horas. La precisión de la mayoría de los métodos activos se encuentra ligeramente por debajo de los niveles de fondo típicos, y los métodos algunas veces están sujetos a interferencias por parte de otros contaminantes. Los costos de operación son muy similares a aquellos de los monitores instrumentales de más bajo nivel.

#### 2.3.12.8.5. Métodos de Monitoreo Pasivo.

Son métodos económicos y efectivos para la clasificación de áreas con niveles de contaminación bajo, medio o alto, basado en muestreo a largo plazo

(usualmente semanal o mensual). No reportan niveles de contaminación en el corto plazo. Es el monitoreo más económico.

Los métodos descritos anteriormente serán parte de los programas de monitoreo. Si se desea demostrar el cumplimiento de la normativa nacional, entonces los métodos instrumentales de alta precisión deberán ser usados, salvo para monitoreo de material particulado, donde los métodos manuales son adecuados. Los monitores instrumentales de alta precisión pueden ser usados también en investigaciones donde se requiera entender las vías en las cuales fluctúan los niveles de los contaminantes para un periodo corto (horas o días). Los monitores instrumentales económicos de bajo nivel y los métodos vía húmeda manuales pueden ser usados generalmente para inspecciones preliminares, cuando se quiere obtener los niveles de contaminación de un área en el corto plazo. Si los niveles de contaminación son bajos, entonces estos métodos podrían ser usados para inspecciones durante los años siguientes. Los monitores pasivos deben ser usados para inspecciones amplias. Esto se realiza para confirmar que no se requieren monitoreos en detalle de un área en particular debido a los niveles de contaminación bajos que se encuentren. También pueden aplicarse para priorizar el número de áreas que deben ser seleccionadas para programas de monitoreo detallado.

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Localización de la Investigación

Los puntos de esta investigación, están constituidos por la carretera Chota-Cochabamba (Cajamarca) que se encuentra en el margen del río Chotano, con una longitud de 52 km lineales, en la construcción de la Carretera Chota - Cochabamba en Cajamarca.

Se seleccionaron los sitios de monitoreo y ubicación de los equipos requeridos teniendo en cuenta los siguientes criterios: densidad demográfica que está constituido por los trabajadores que laboran en la construcción de carretera así como también en el transporte y acumulación del agregado extraído del río Chotano y la población de la ciudad de Lajas y de la ciudad de Cochabamba, acumulación y triturado de agregado extraído del río Chotano, dirección del viento que sopla de norte al sur, presencia de lluvias que se generan de acuerdo a las estaciones del año, variación de temperaturas que se relacionan con las precipitaciones y presencia de calor, tipos del suelos como arcillosos, calizos, arcillosos, etc. y otras características de las fuentes más importantes del sector y los objetivos del estudio.

La provincia de Chota es una de las trece provincias que conforman el Departamento de Cajamarca, que se encuentra administrada por el Gobierno Regional de Cajamarca, dicha provincia se encuentra ubicada en la parte Norte del Perú. Limitando por el norte con la provincia de Cutervo; por el este, con las provincias de Utcubamba y de Luya; por el sur, con las provincias de Hualgayoc y Santa Cruz; y por el oeste, con las provincias de Chiclayo y Ferreñafe.

Tiene una altitud de 2408 m.s.n.m., tiene por coordenadas UTM:

- Por el Norte: 9274112
- Por el Este: 759908

La provincia de Chota tiene una extensión de 3 795.10 kilómetros cuadrados. Con una población aproximada de 45 280 habitantes.

Políticamente se encuentra ubicada en el Departamento de Cajamarca, Provincia de Chota, distrito de Lajas, tal como lo muestra en el mapa de ubicación (Figura 5).

### 3.1.1 Ubicación

La ciudad de Chota, Cochabamba y Lajas se ubican al norte del Perú, estos distritos limitan con Chugur, Hualgayoc, Bambamarca entre otros.

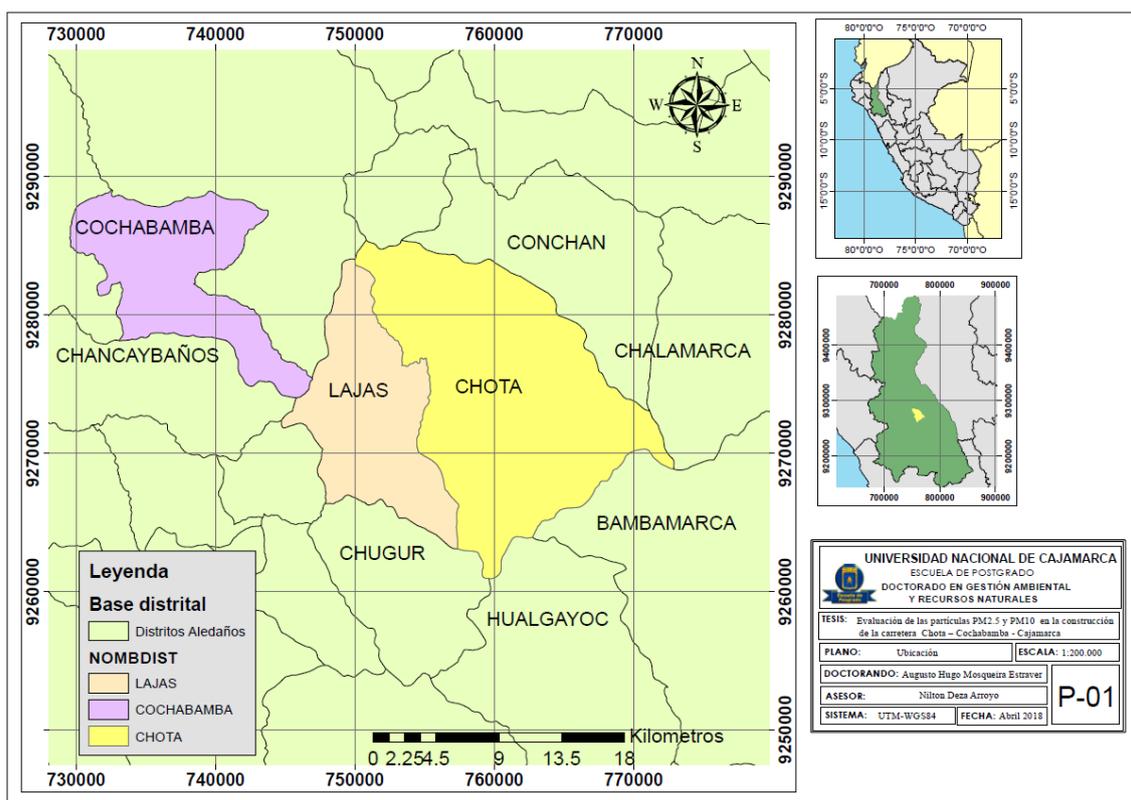


Figura 5. Ubicación política del área del estudio.

La ubicación geográfica está delimitada espacialmente por las siguientes coordenadas UTM, en el sistema WGS – 84.

**Tabla 7.** *Coordenadas de la Ubicación Geográfica del Área de Estudio.*

VÉRTICES	ESTE	NORTE
V1	730000	9260000
V2	730000	9290000
V3	770000	9290000
V4	77000	9250000

**Tabla 8.** *Ubicación Geográfica de los Puntos de Monitoreo de Material Particulado (PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>).*

Puntos de Monitoreo	Código de los puntos de monitoreo	Altitud de los Puntos de monitoreo (msnm)		
		Norte	Sur	
Chancadora Doñana	A-1	9276850	755446	2228
Plaza De Armas De Lajas	B-2	9274278	7504495	2147
Chancadora Ajipampa	C-3	9275660	748277	2082
Cantera El Molino	D-4	9283697	735797	1715
Plaza De Armas Cochabamba	E-5	9283782	733942	1683

*Fuente: Elaborada por el autor*

Se presentan los puntos de monitoreo con las coordenadas geográficas en el sistema UTM GS-84, así como la altitud de cada uno de los puntos de monitoreo en la construcción de la carretera Chota – Cochabamba en Cajamarca

### **3.2. Diseño Metodológico**

#### **3.2.1. Tipo de Investigación.**

El tipo de investigación es descriptivo-analítico.

### 3.2.2. Población

Son las emisiones de las partículas PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>, en la construcción de la carretera Chota - Cochabamba, a lo largo de los 52 km lineales, generados durante los meses de abril y diciembre del 2012 y abril, octubre y diciembre del año 2013.

### 3.2.3. Muestra

Las muestras de investigación, se tomaron teniendo en cuenta las diferencias geológicas, climatológicas, atmosféricas, y en las fuentes de emisión de contaminantes, que influyen en la distribución de tamaños de las partículas en cada sitio de monitoreo; estas muestras se tomaron por 12 horas continuas con intervalos de cinco minutos, y fueron tomadas en cinco puntos de monitoreo.

**Tabla 9.** *Puntos de Monitoreo y Distancia en Relación a la Ciudad de Chota.*

Nº	Punto de monitoreo	Ubicación
1	Chancadora Doñana	Ubicada a 7 km de la ciudad de Chota
2	Plaza de armas de Lajas	Ubicada a 12 km de la ciudad Chota
3	Chancadora Ajipampa	Ubicada a 25 km de la ciudad de Chota
4	Cantera el Molino	Ubicada a 47 km de la ciudad de Chota
5	Plaza de armas de Cochabamba	Ubicada a 50 km de la ciudad de Chota

*Fuente: Elaboración propia*

La selección de los sitios de monitoreo y ubicación de los equipos requeridos se realizó teniendo en cuenta criterios como: Su densidad demográfica; el cual tiene una población aproximada de 45000 habitantes y ubicada a 2408 msnm; los suelos de la zona de estudio son principalmente arcillosos, limosos y humíferos utilizados en la agricultura y ganadería; así mismo, la dirección del viento, tiene una velocidad promedio de 2.5 m/s hacia el noreste; tipos y características de las fuentes más importantes del sector y los objetivos del estudio.



Figura 6. Ubicación de las 5 Estaciones de Muestreo.

Fuente: Google Earth, 2018

### 3.3. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Los puntos de monitoreo, selección y la ubicación de los equipos para medir el material particulado se ubicaron en lugares estratégicos, se utilizó el equipo (HANDHELD 3016 AQ) que permitió realizar el monitoreo de la concentración de las partículas con un diámetro de  $0.3 \mu\text{m}$  hasta  $10 \mu\text{m}$  lo que lo convierte en los contadores de partículas portátiles más avanzados, mostrando los valores en modo acumulativo, diferencial y másico; se puede grabar hasta 3000 registros los cuales pueden ser descargados a una computadora para posteriormente ser analizados. Este equipo tiene una eficiencia de un 100%; posee un láser el cual tiene un tiempo de vida de 25 años, lo que demuestra que las partículas recolectadas y analizadas tienen un alto grado de confiabilidad para monitorear partículas de  $\text{PM}_{2.5}$  y  $\text{PM}_{10}$ .

### **3.3.1. Acopio y Análisis de Información Secundaria.**

El estudio se realizó utilizando los registros meteorológicos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Chota (SENAMHI), dicho registros meteorológicos se realizaron en el 2012 y 2013.

### **3.4. Materiales y Métodos**

Los materiales y equipos que se utilizan en el presente estudio de investigación son los siguientes.

#### **3.4.1. Campo.**

- GPS Map 76CSx.
- Registro de SENAMHI.
- Plano Topográfico, de Ubicación e Hidrológico.
- Cámara digital.
- Imagen satelital.
- Trípode.
- Conos de seguridad.
- Pilas y cargadores eléctricos.
- Electrodo analítico de partículas.
- Contador de partículas: HANDHELD 3016AQ con flujo de 0.1 CFM y un antifaz. “Pantalla táctil”.

#### **3.4.2. Materiales de Gabinete.**

- Laptop para procesar datos.
- Calculadora.

#### **3.4.3. Equipo.**

Se ha seleccionado el equipo (HANDHELD 3016AQ con flujo de 0.1 CFM y un antifaz “Pantalla táctil”.) que es un medidor de partículas dispersas en el aire, el cual

es válido, confiable y debidamente certificado. Este equipo es calibrado y certificado en las fechas asignadas por la empresa de calibración. Se adjunta certificado de calibración. (Anexo 2).

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta los objetivos planteados y los resultados obtenidos para los 5 puntos de monitoreo (Chancadora Doñana, Plaza de armas de Lajas, Chancadora Ajipampa, Cantera El Molino y Plaza de armas de Cochabamba), se evaluó la concentración del material particulado  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$ , generado por el movimiento de tierra, transporte del agregado extraído del río Chotano, movimiento vehicular pesado, transporte del agregado grueso y fino para la construcción de la carretera, así mismo se tomó en cuenta la información meteorológica en las diferentes fechas de monitoreo (abril-diciembre del 2012, abril – octubre - diciembre del 2013) tales como temperaturas promedio ( $^{\circ}C$ ), vientos (m/s) y precipitación promedio (mm agua) proporcionados por el SENAMHI-Chota.

El muestreo del material particulado  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  se realizó durante 12 horas de 7:00 am a 6:00 pm, obteniéndose el promedio de cada punto de monitoreo en la fecha señalada durante los años 2012 y 2013 para luego compararlo con el estándar de calidad ambiental (ECA) según el decreto supremo N° 003-2017-MINAM vigente.

En la tabla 10 se presenta el resumen promedio de la concentración de material particulado  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  de los 5 puntos de monitoreo durante los años 2012 y 2013.

**Tabla 10.** Promedio de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  en los 5 Puntos de Monitoreo.

Puntos de muestreo	Código	Abril 2012		Diciembre 2012		Abril 2013		Set - Oct 2013		Diciembre 2013	
		$PM_{2.5}$	$PM_{10}$	$PM_{2.5}$	$PM_{10}$	$PM_{2.5}$	$PM_{10}$	$PM_{2.5}$	$PM_{10}$	$PM_{2.5}$	$PM_{10}$
Chancadora Doñana	A-1	12.07	26.00	12.70	37.00	15.93	28.88	10.71	18.53	10.96	18.49
Plaza de armas de Lajas	B-2	1.80	28.00	3.03	44.00	30.80	47.60	28.99	48.00	29.47	48.40
Chancadora Ajipampa	C-3	18.69	73.91	21.77	74.90	30.70	45.80	19.02	27.92	18.28	28.07
Cantera El Molino	D-4	2.74	62.01	21.83	74.40	46.00	66.70	17.81	36.31	16.77	35.30
Plaza de armas de Cochabamba	E-5	3.28	38.29	3.28	38.76	30.80	47.60	20.18	37.91	19.34	35.86

*Fuente:* Elaborada por el autor.

#### 4.1.1. Concentración de 12 horas de PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> en Chancadora Doñana.

Los valores promedios de PM 2.5 y PM10 según el ECA son: (50 µg/m<sup>3</sup> para PM2.5; 100 µg/m<sup>3</sup> para PM10)

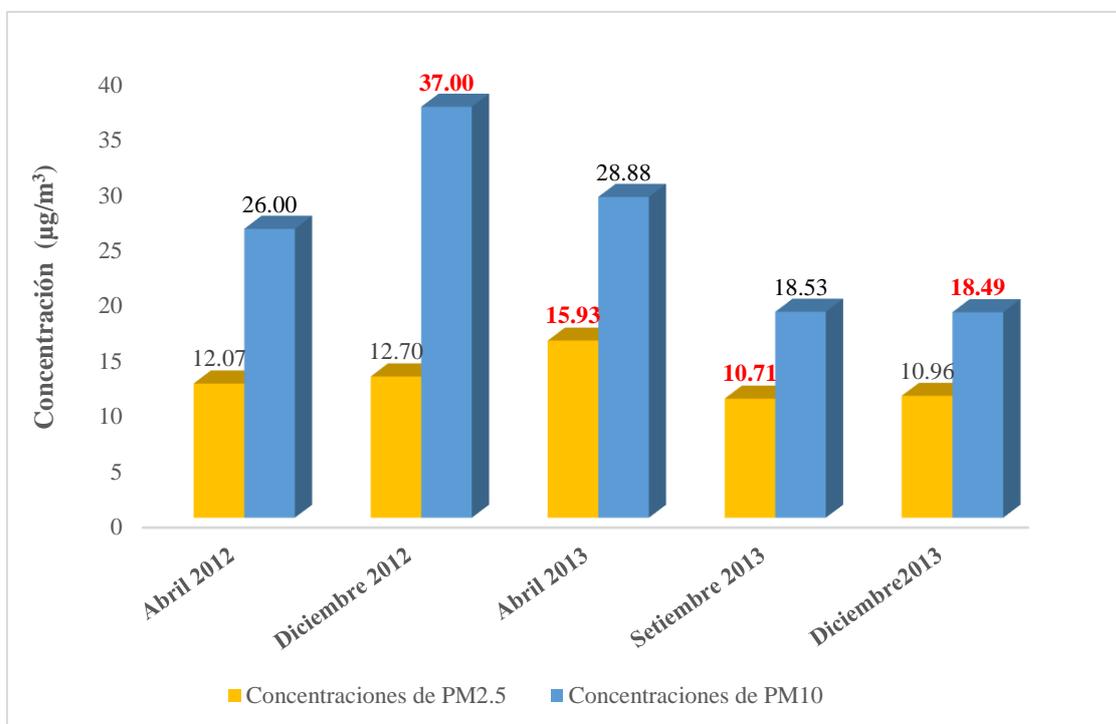


Figura 7. Promedio de PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> en el Punto de Monitoreo Chancadora Doñana.

En la Tabla 10 se reporta el promedio de los resultados del monitoreo del material particulado de PM<sub>2.5</sub> en la chancadora Doñana en los años 2012 y 2013. Y en la figura 7 se presenta el promedio de la concentración del material particulado PM<sub>2.5</sub> realizado en la chancadora Doñana en los meses de abril-diciembre del 2012 y abril-Setiembre- diciembre del año 2013.

De acuerdo con los resultados obtenidos se observó que la concentración mínima de material particulado PM<sub>2.5</sub> de 12 horas de monitoreo, el 30 de setiembre del 2013 fue 10.71 µg/m<sup>3</sup>, que corresponde al 21.42% del ECA en 24 horas. Este resultado podría deberse a que se generó pequeños movimientos de vehículos motorizados pesados y poco almacenamiento de agregado extraído del río Chotano. Según Echeverri (2006),

manifiesta que estudios realizados en la ciudad de Medellín-Colombia de material particulado  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  es mayor cuando el parque automotor influye fuertemente en el sitio de muestreo. Asimismo, Celis (2007), manifiesta que el material particulado  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  se ve influenciado por el tráfico vehicular en la ciudad, trabajos de construcción, talleres y operaciones industriales.

El valor máximo del material particulado  $PM_{2.5}$  mostrado en la figura 7 corresponde al 04 de abril del 2013 cuyo valor es de  $15.93 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y corresponde al 31.86 % del estándar máximo permitido por el ECA en 24 horas. Se obtuvo este resultado porque se realizó desplazamiento de maquinaria pesada, movimiento de tierra, un gran desplazamiento vehicular diésel, ocasionando un alto desplazamiento de partículas en el aire. El resultado máximo obtenido de  $PM_{2.5}$  fue de  $15.93 \mu\text{g}/\text{m}^3$  que no sobrepasó el Estándares de calidad del aire (ECA); sin embargo, se debe tener algunas precauciones como lo manifiesta Condori et al., (2013), que expresa la necesidad de monitorear la concentración másica de las partículas en mención, pues hay evidencia de que las partículas más finas tienen una mayor incidencia en los indicadores de morbilidad y mortalidad en la población y la naturaleza.

De acuerdo a los valores encontrados de  $PM_{10}$  en las cinco fechas de monitoreo según la figura 7, se comprobó que el 03 de diciembre 2013 el promedio mínimo obtenido fue de  $18.49 \mu\text{g}/\text{m}^3$  que corresponde al 18.49% del ECA en 24 horas. Este promedio se debió a que en esta chancadora no había movimiento de tierra ni acumulación de agregado grueso y fino; por lo tanto, no se realizaba chancado de este material y solamente se realizó el cargamento del material que era utilizado para la construcción de la carretera Chota – Cochabamba; el promedio de estas partículas  $PM_{10}$  se justifica con lo expresado por Palacios (2010), donde manifiesta que la concentración

de partículas totales sólidas en la atmósfera del sitio de muestreo escogido, es superior en los días del mayor flujo vehicular comparado con los días de restricción vehicular

En la figura 7 de las 5 fechas de monitoreo realizados en la chancadora Doñana encontramos que el valor máximo de  $PM_{10}$  es de  $37.00 \mu\text{g}/\text{m}^3$  correspondiente al 15 de diciembre del 2012, que de acuerdo al ECA concierne al 37% en 24 horas. Este resultado se obtuvo por la generación de movimientos de tierras por la construcción de la carretera, gran acumulación y chancado de agregados, movimiento vehicular pesado, transportando el agregado para la construcción de la carretera Chota - Cochabamba. Este resultado se puede confirmar con el trabajo de investigación de Desamparados (2012), afirma que los factores ambientales afectan a la dispersión de los contaminantes atmosféricos particulados  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$ , pues durante los meses más fríos al existir un estancamiento de las masas de aire existe una disminución de los niveles de concentración de partículas en el aire y cuando se interrelacionan con el viento se observan que hay un alejamiento de las fuentes de emisión.

De acuerdo a los resultados obtenidos tanto máximos como mínimos de  $PM_{10}$  no supera el ECA. Sin embargo, según la Agencia de Protección ambiental- EPA (2012), manifiesta que las partículas  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  son de mayor interés, ya que estas pueden penetrar a los pulmones y en algunos casos puede ingresar en el torrente sanguíneo.

#### 4.1.2. Concentración de 12 horas de PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> en Plaza de Armas de Lajas.

Los valores promedios de PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> según el ECA son: (50 µg/m<sup>3</sup> para PM<sub>2.5</sub>; 100 µg/m<sup>3</sup> para PM<sub>10</sub>)

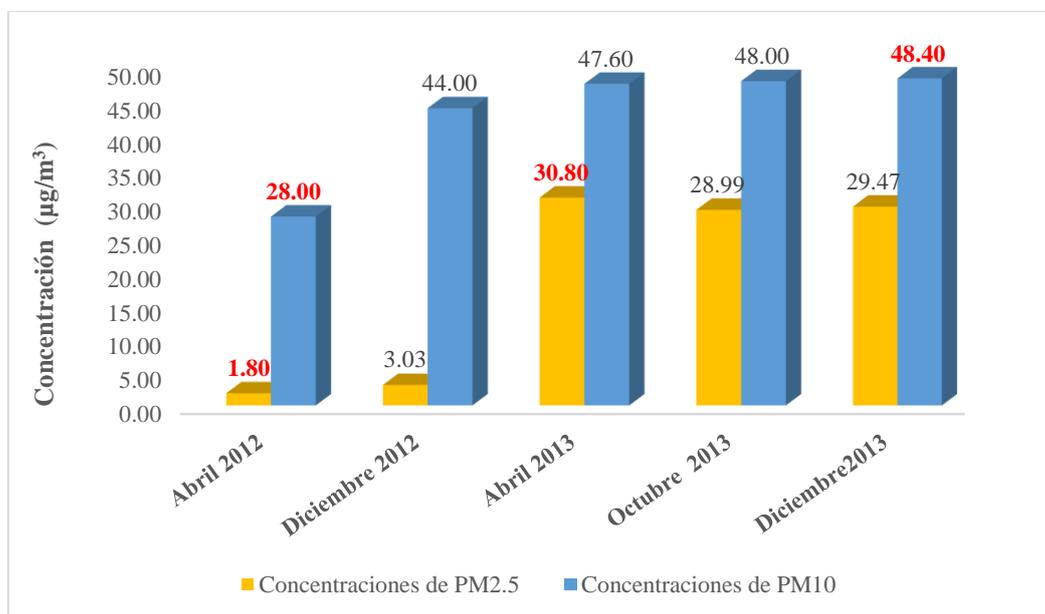


Figura 8. Promedio de PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> en el Punto de Monitoreo Plaza de Armas Lajas.

En la figura 8 se muestra el promedio de la concentración del material particulado PM<sub>2.5</sub> en la plaza de Armas Lajas (B-2), realizados en los meses de abril-diciembre del 2012 y abril-octubre- diciembre del 2013.

De acuerdo a los datos registrados se observa que la concentración mínima de PM<sub>2.5</sub> de 12 horas de monitoreo realizado el 30 de abril del 2012 es de 1.80 µg/m<sup>3</sup> que corresponde al 3.60% de acuerdo al ECA para el aire en 24 horas. Este valor se obtuvo debido a que se realizó mínimos movimientos de tierra y del parque automotor, al mismo tiempo las chancadoras no realizaron ningún tipo de actividad porque se encontraban en reparación.

Con referencia al valor máximo de PM<sub>2.5</sub> se ubica el 5 de abril de 2013, cuyo valor es de 30.80 µg/m<sup>3</sup> que corresponde al 61.60 % de acuerdo al ECA para el aire en 24 horas. Este resultado se obtuvo porque se generó un gran movimiento de maquinaria pesada transportando agregado fino y grueso para la construcción de la carretera,

movimiento y transporte de tierra por vehículos pesados Diesel, generando la presencia de material particulado en suspensión en el aire; estos datos se confirman con el trabajo de investigación de Blanco et al., (2015), donde sugieren como fuentes generadoras del material particulado  $PM_{2.5}$  la quema de combustible por transporte pesado Diesel, la erosión y suspensión del suelo. Además, Desamparados (2012), afirma que los factores ambientales afectan a la dispersión de los contaminantes atmosféricos particulados  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$ . De igual manera el resultado obtenido supera el 50% según el ECA; por lo cual se debe tener cuidado, porque además de afectar los ecosistemas es perjudicial para la salud del ser humano; y esto se puede afirmar con lo propuesto por Briones y Malaver (2015), que manifiestan que las concentraciones de  $PM_{2.5}$  en  $\mu g/m^3$  en la Cuenca Atmosférica de Cajamarca, varían cada año, encontrándose casi en todo momento por encima de los valores de  $25 \mu g/m^3$ , ocasionando enfermedades que afectan a toda la población y en especial a los niños, ancianos y gestantes.

Si analizamos los valores obtenidos del promedio del material particulado  $PM_{2.5}$  el 01 de octubre y 12 de diciembre del 2013 se observa que se encuentran cerca al valor máximo obtenido, lo que indica que ha existido una alta generación de material particulado  $PM_{2.5}$  el cual podría afectar a la salud y a la naturaleza, como lo manifiesta la EPA (2012), que las partículas  $PM_{2.5}$  son de mayor interés y preocupación en los contaminantes del aire porque estos pueden penetrar profundamente a los pulmones y generar enfermedades en los bronquios y las vías respiratorias.

En la figura 8 referente al promedio del material particulado  $PM_{10}$  en las 5 fechas de monitoreo en la plaza de armas de Lajas se observó que el día 30 de abril del 2012 el promedio mínimo obtenido fue de  $28.00 \mu g/m^3$ , que corresponde al 28 % de acuerdo al ECA en 24 horas. Este promedio se debe al poco movimiento vehicular en la ciudad de Lajas, no existió movimiento de tierras ni transporte de agregado grueso ni fino

por vehículos pesados Diesel. Estos informes se pueden comparar con el trabajo de investigación de Rojano R. et.al., (2013), manifiestan que las principales fuentes de contaminación en la ciudad de Riohacha- Caribe-Colombia son las fuentes móviles, vías no pavimentadas, flujo vehicular, dirección de vientos entre otros.

Si analizamos la figura 8, el valor máximo de las partículas  $PM_{10}$  en las 5 fechas de monitoreo, se observó que el 8 de diciembre del 2013 se obtuvo un valor máximo de  $48.40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  que correspondiente al 48.40 % de acuerdo al ECA, en 24 horas. Analizando los promedios de  $PM_{10}$  de las 5 fechas de monitoreo en la figura 8 se comprueba que se encuentran muy cercanos al promedio máximo registrado de  $48.40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y estos valores son  $44.00 \mu\text{g}/\text{m}^3$  el 21 de diciembre del 2012;  $47.60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  el 05 de abril del 2013;  $48.00 \mu\text{g}/\text{m}^3$  el 01 de octubre del 2013 y  $48.40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  el 08 de diciembre del 2013, que obteniendo el promedio de  $PM_{10}$  de estas fechas de monitoreo es de  $47.00 \mu\text{g}/\text{m}^3$  que corresponde al 47 % de acuerdo al (ECA) en 24 horas, lo que indica que es un promedio cercano al 50%, el cual se debe tener precaución a fin de no generar alteraciones en el ecosistema y en la salud humana. Este promedio lo podemos relacionar con los valores de  $PM_{10}$  obtenidos en Santiago de Chile de  $69.00 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y La Paz- Bolivia con un valor de  $54.00 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , los cuales se encuentran preocupados por el alto índice de material particulado, generado por el parque automotor, los combustibles Diesel y construcción de carretera, según el programa de las naciones para el medio ambiente- PNUMA (2010).

#### 4.1.3. Concentración de 12 horas de PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> en Chancadora Ajipampa.

Los valores promedios de PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> según el ECA son: (50 µg/m<sup>3</sup> para PM<sub>2.5</sub>; 100 µg/m<sup>3</sup> para PM<sub>10</sub>)

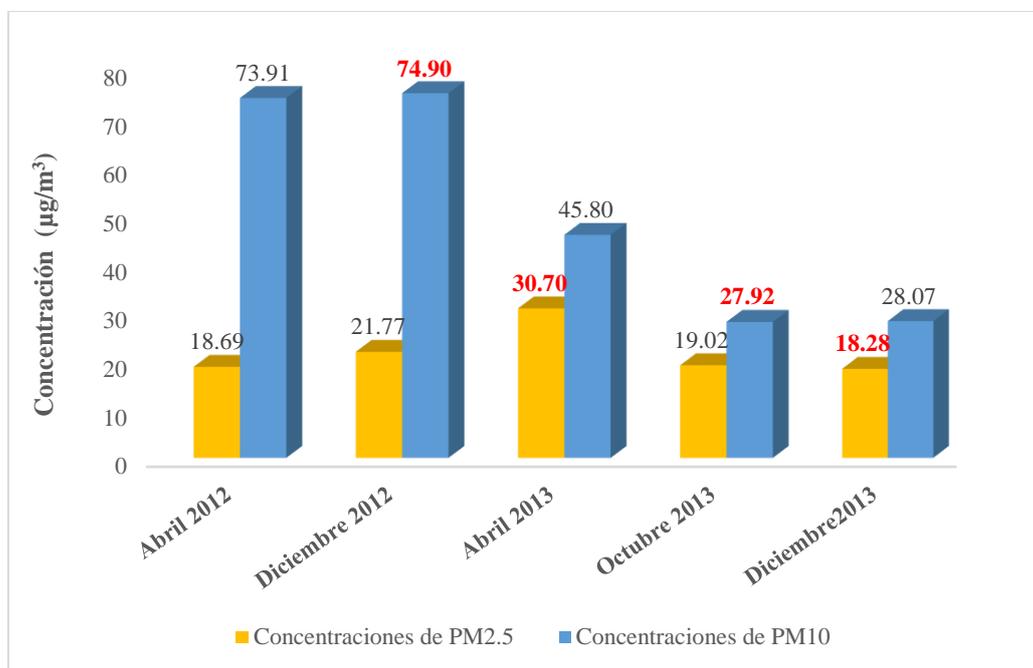


Figura 9. Promedio de PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> en el Punto de Monitoreo Chancadora Ajipampa.

Según los resultados de la Figura 9 se observa los promedios de concentración de material particulado PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> en el punto de monitoreo en la Chancadora Ajipampa (C-3), se analizó que el promedio mínimo de PM<sub>2.5</sub> en 12 horas de monitoreo es de 18.28 µg/m<sup>3</sup>, proporcionada el 07 de diciembre del 2013 que corresponde al 36.46 % de acuerdo al ECA para aire en 24 horas. Este resultado se obtuvo debido a que se generó baja acumulación y chancado de agregado extraído del río Chotano y además se realizó el mantenimiento y reparación de vehículos pesados. Si tomamos en cuenta los antecedentes registrados y lo comparamos con el trabajo de investigación de Rojano, R. et al., (2011), manifestaron, que al escoger los puntos de monitoreo se debe tener en cuenta los factores ambientales y el alcance de la investigación.

Respecto al valor máximo de PM<sub>2.5</sub> en la Chancadora Ajipampa registrado el 03 de abril del 2013 fue de 30.70 µg/m<sup>3</sup> que corresponde al 61.40 % de acuerdo al ECA

en 24 horas. Este valor promedio se debió a la acumulación y chancado del agregado extraído del río Chotano, movimiento vehicular pesado, y funcionamiento de chancadoras. Estos resultados obtenidos se justifican con el trabajo de investigación de Desamparados (2012), el cual manifiesta que los factores ambientales afectan la dispersión de los contaminantes atmosféricos particulados  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  y cuando existe una interrelación de estos factores se observa que hay un alejamiento de las fuentes de emisión de material particulado. El resultado obtenido de  $PM_{2.5}$  supera el 50 % del ECA para aire en 24 horas; el cual se puede relacionar con el trabajo de investigación de Martos (2013), que manifiesta que el aire de Cajamarca está expuesto a contaminación por partículas de tipo  $PM_{2.5}$ , porque existen valores que sobrepasan los Estándares de Calidad de Aire (ECA).

Los resultados de  $PM_{10}$  encontrados en las 5 fechas de monitoreo en la chancadora Ajipampa, se comprobó que el 5 de octubre del año 2013 el promedio mínimo obtenido de este material particulado  $PM_{10}$  fue de  $27.92 \mu\text{g}/\text{m}^3$  que corresponde al 27.92% de acuerdo al ECA en 24 horas.

Los resultados de  $PM_{10}$  obtenidos de las 5 fechas de monitoreo en la Chancadora Ajipampa se comprobó que el 16 de diciembre del 2012 el promedio máximo fue de  $74.90 \mu\text{g}/\text{m}^3$  correspondiente al 74.90 % de acuerdo al ECA para aire en 24 horas. Este resultado se obtuvo debido a que se realizó gran desplazamiento de agregados de las chancadoras, así como también un gran movimiento vehicular de maquinaria Diésel y movimiento de tierra generado por el avance de la construcción de la carretera. Si analizamos el valor promedio de material particulado máximo se comprobó que tiene un valor cercano al 100% lo que indica que se debe tener cuidado porque genera efectos negativos en la salud pública y los ecosistemas.

#### 4.1.4. Concentración de 12 horas de PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> en Cantera El Molino.

Los valores promedios de PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> según el ECA son: (50 µg/m<sup>3</sup> para PM<sub>2.5</sub>; 100 µg/m<sup>3</sup> para PM<sub>10</sub>)

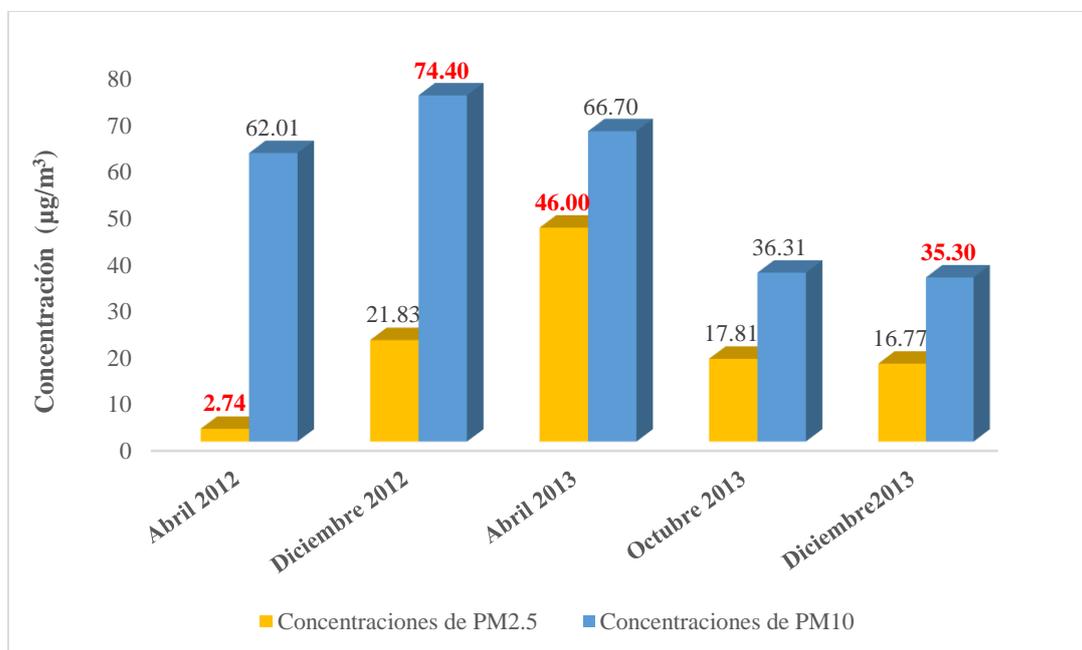


Figura 10. Promedio de PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> en el Punto de Monitoreo Cantera El Molino.

Según los resultados obtenidos en la Figura 10, se observa los promedios de concentración de material particulado PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> de las 5 fechas de monitoreo en la Cantera El Molino. Se determinó que el promedio mínimo de PM<sub>2.5</sub> en 12 horas de monitoreo fue de 2.74 µg/ m<sup>3</sup> realizado el 31 de abril del 2012 correspondiente al 5.48% de acuerdo al ECA para aire en 24 horas. Este resultado se obtuvo por la acumulación de agregado extraído del Río Chotano, el desplazamiento de vehículos y movimiento de tierras fueron mínimos.

El promedio máximo de PM<sub>2.5</sub> se registró el 3 de abril de 2013, cuyo valor es de 46.00 µg/m<sup>3</sup> correspondiente al 92%, según el ECA en 24 horas de monitoreo. Este resultado se ha obtenido debido a que se ha generado movimiento de tierras, desplazamiento de agregados tanto grueso como fino, construcción de la carretera asfáltica, movimiento vehicular pesado, entre otros.

Analizando el resultado obtenido se observa que se acerca al 100% del Estándar de Calidad Ambiental; como manifiesta Blanco (2015), que la fuente generadora de las partículas  $PM_{2.5}$  es la quema de combustibles por automotores que aportan el material orgánico, la quema de combustible Diesel usado en el transporte pesado y el movimiento de tierras. Asimismo, como manifiestan Briones y Malaver (2015), de la misma forma que la dirección general de salud ambiental (2005) y el SENAMHI 2011, manifiestan que el aumento del parque automotor, sobre todo de automóviles gasolineros, la minería, las canteras, las ladrilleras, las pollerías, entre otros factores, contribuyen al exceso de partículas en suspensión de  $PM_{2.5}$  en la atmosfera. Todo ello, constituye factores de morbilidad en la población de Cajamarca. Se hace esta mención ya que el resultado obtenido se acerca al 100% del ECA para aire en 24 horas.

Por otro lado, según los valores encontrados de  $PM_{10}$  en las 5 fechas de monitoreo, se comprobó que el 10 de diciembre del año 2013 el valor mínimo obtenido de  $PM_{10}$  fue de  $35.30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  correspondiente al 35.30% de acuerdo al ECA para aire en 24 horas. Este resultado se obtuvo por el escaso movimiento de tierra, construcción y asfaltado de la carretera.

El resultado máximo obtenido de  $PM_{10}$  en 12 horas de monitoreo en la cantera El Molino fue de  $74.40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  realizado el 16 de diciembre del 2012 cuyo valor corresponde al 74.40 % de acuerdo al ECA para aire en 24 horas. Se obtuvo este resultado debido a que se generó movimientos de vehículos pesados, movimiento de tierras, chancado y transporte de agregados para la construcción de la carretera. Si analizamos este valor con el parámetro máximo permisible del ECA se evidencia que supera el 50%, el cual indica que se debe tener ciertas precauciones; como lo afirma Osorio et al., (2007), que las partículas tienen un impacto a la salud ya que presentan características toxicológicas lo cual depende de su origen y composición química debido a un gran

crecimiento industrial y urbano. Asimismo, la OMS (2006), manifiesta que los materiales particulados son parte de los indicadores para medir la calidad del aire limpio en un área determinada. Como se puede analizar el valor máximo obtenido de estas mediciones se acerca al valor estándar proporcionado por el ECA, cuyo valor es de 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

#### 4.1.5. Concentración de 12 horas de PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> en Plaza de Armas Cochabamba.

Los valores promedios de PM 2.5 y PM10 según el ECA son: (50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM2.5; 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM10)

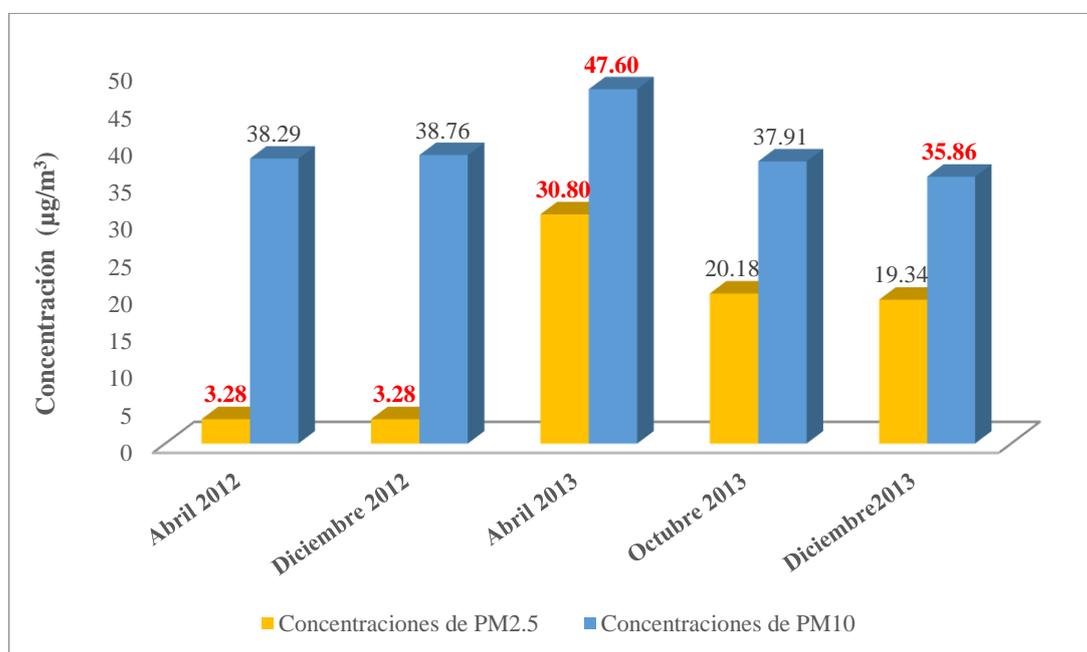


Figura 11. Promedio de PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> en el Punto de Monitoreo Plaza de Armas Cochabamba (E-5)

Los resultados obtenidos en la Figura 11, se observa los promedios de concentración de material particulado PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> de las 5 fechas de monitoreo en la Plaza de Armas de Cochabamba. De acuerdo a los datos obtenidos de la figura 11 en el monitoreo de material particulado PM<sub>2.5</sub> de 12 horas en la Plaza de Armas Cochabamba (E-5), se observó que el promedio mínimo de este material particulado es de 3.28  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , generado el 12 de diciembre del 2012 y que corresponde al 6.56% del ECA para aire en

24 horas. Este resultado se generó porque en esa fecha no hubo movimiento de tierras, el transporte vehicular fue mínimo y solamente se realizó actividades propias de la ciudad.

Asimismo, el promedio máximo de material particulado  $PM_{2.5}$  obtenido el 5 de abril del 2013 es de  $30.80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , que corresponde al 61.60% del (ECA) para aire en 24 horas. Se obtuvo este resultado porque se generó movimiento de tierra en la construcción de la carretera Chota-Cochabamba, además se utilizó el transporte vehicular pesado en el traslado de los agregados de las chancadoras que pasaban por la ciudad de Cochabamba. Estos cambios se pueden comparar por lo afirmado por Manzanares (2011), con respecto a la fuente de emisión de partículas  $PM_{2.5}$  que pueden tener su origen en fuentes naturales o bien provenir de fuentes antropogénicas; entre ellas, tenemos la quema de biomasa, la combustión incompleta de combustibles fósiles, polvos fugitivos de caminos pavimentados y construcción de carreteras, entre otros.

El resultado de  $PM_{2.5}$  se comprueba que superó el 50% del ECA para aire en 24 horas; el cual se debe tener cuidado porque como manifiesta Rojano (2013), la determinación de los niveles de material particulado en la atmosfera es uno de los parámetros fundamentales en el control de la calidad del aire como consecuencia de sus efectos nocivos sobre la salud, el clima y los ecosistemas.

Analizando el promedio del parámetro mínimo de material particulado  $PM_{10}$  en 12 horas en la Plaza de Armas Cochabamba (E-5), se observó que el promedio mínimo de  $PM_{10}$  es de  $35.86 \mu\text{g}/\text{m}^3$  realizado el 9 de diciembre del 2013 correspondiente al 35.86% del ECA para aire en 24 horas. Este resultado se obtuvo por el poco movimiento de tierra, escaso movimiento vehicular en el transporte de agregado y solamente se observó actividades realizadas por la población como el comercio, tráfico vehicular, mercados, entre otros y esto se puede comprobar por lo manifestado por Rojano et al.(2011), quienes indican que las principales fuentes de contaminación en la ciudad son

la fuentes móviles, las emisiones de fuentes misceláneas, principalmente vías no pavimentadas y un número relativamente pequeño de restaurantes que operan en la zona urbana. Estos resultados se pueden comparar con lo manifestado por Corleto y Cortez (2012), indicando que la variación de la concentración del polvo atmosférico sedimentable puede ser influenciados por factores meteorológicos debido al cambio de estación de verano a invierno y así mismo, como factores asociados a los alrededores del sitio de muestreo (edificios, zonas verdes, flujo vehicular, flujo de personas)

Si analizamos la figura 11 del monitoreo de material particulado en 12 horas  $PM_{10}$  realizadas en la Plaza de Armas de Cochabamba, se observó que el promedio máximo es de  $47.60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ocurrido el 5 de abril del 2013 que corresponde al 47.60% del ECA para aire en 24 horas. Este resultado se obtuvo porque se generó un elevado movimiento de tierras, así como un alto movimiento vehicular pesado y transporte de agregado para la construcción de la carretera; asimismo, se relaciona con las actividades urbanas, comerciales de la ciudad y como manifiesta Martos (2013), que determinó que el aire de Cajamarca esta expuesto a contaminación por partículas de tipo  $PM_{2.5}$  porque existen valores que sobrepasan los ECAS mas no para los valores  $PM_{10}$  cuyos valores están por debajo de los ECAS.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES**

- En la presente investigación se concluye que los valores del material particulado  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$ , en la construcción de la carretera Chota-Cochabamba en Cajamarca, en los 5 puntos de monitoreo realizados en el año 2012 y 2013 se encuentran ligeramente afectados según del Estándar de Calidad Ambiental (ECA). D.S. N°003-2017 MINAM.
- Al monitorear el material particulado  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  en la construcción de la carretera en los años 2012 y 2013, se comprobó que el incremento de estas partículas se generó por el movimiento de tierra, parque automotor, acumulación y chancado de agregados; afectando a la calidad del aire.
- La mayor concentración de  $PM_{2.5}$  se obtuvo en abril 2013 en la Cantera el Molino con un valor de  $46.00 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y la mayor concentración de  $PM_{2.5}$  en la Chancadora Ajipampa con un valor de  $74.90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , generando impactos negativos en el ambiente y en la salud de las personas.
- Los valores máximos obtenidos de material particulado  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  no superan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA). D.S. N°003-2017 MINAM.

## PROPUESTA DEL PROYECTO

Después de haber obtenido los resultados del material particulado  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  en el aire atmosférico, se observa que muchos de ellos superan el 50% del Estándar de Calidad Ambiental (ECA), generando alteraciones al medio ambiente, específicamente al suelo, agua, aire y cambios en factores bióticos, entre otros.

El impacto negativo del material particulado en la construcción de una carretera, es generado por el chancado de agregado, movimiento de tierra, transporte vehicular, almacenamiento y transporte de agregado, acumulación de elementos metálicos y no metálicos; lo cual produce la liberación y producción del material particulado  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  ocasionando enfermedades respiratorias en los niños y adultos.

La propuesta es disminuir la concentración del material  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  en la construcción de la carretera y en toda clase de construcción civil, utilizando los vehículos motorizados con combustible ecológico, aditivos y catalizadores que generan la energía de combustión y minimizan la liberación de partículas; realizar riegos en el área con camiones cisternas, para evitar la generación y concentración del material particulado.

El personal que labora en la construcción de carreteras debe utilizar equipos de protección respiratoria y utilizar señalización para los lugares en donde se realice este tipo de actividades y exista altas concentraciones de partículas, a fin de que tenga una protección laboral y evitar enfermedades ocupacionales.

Implementar equipos de monitoreo que midan la concentración de estas partículas de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  en la construcción de carreteras y en todo proyecto de construcción civil, minero, entre otros, con la finalidad de tomar precauciones para no causar daños en la salud humana como en el medio ambiente.

En el siguiente gráfico se muestra el esquema de la propuesta de mitigación de daños por el material particulado.

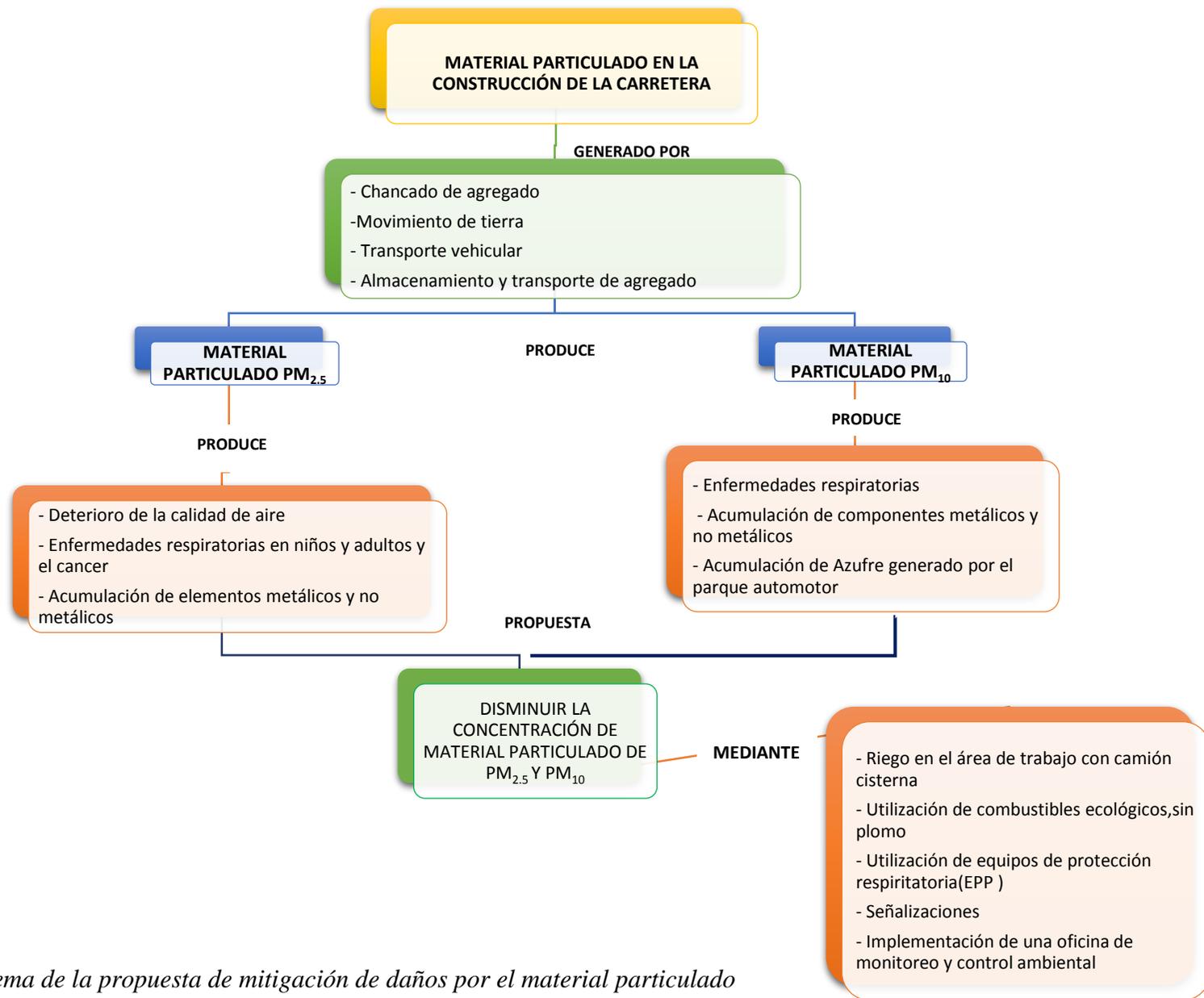


Figura 12. Esquema de la propuesta de mitigación de daños por el material particulado

Fuente: Elaboración propia

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, A., y Sánchez, M. (2006). Estudio de los Niveles de PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> en un Área Urbana con influencia Industrial Siderometalúrgica – (Besain, Guipúzcoa). Gobierno Vasco, España.
- Alonso, E. y Gómez, F. (2005). Caracterización experimental de los niveles de la concentración de partículas correspondientes a la fracción submicrométrica y del “black carbon” en PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> en aire ambiente en la Urbanización “El Quiñón” (Seseña). Madrid, España.
- Alvarado, G. (2010). Estudio Integrado de Factores que Influyen sobre la Contaminación Atmosférica por Material Particulado Respirable de Puhadel. (Tesis de maestría) Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- Arciniegas, L. (2011). Contaminación por Partículas Suspendedas Totales en las comunas 6 y 7 de Cali, Colombia. Un modelo estadístico para la evaluación de la calidad del aire. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, 1(2), 17-21.
- Aupax, S. (2005). Caracterización de Material Particulado menor a 10µm –PM<sub>10</sub>– Colectado en Dos Puntos de Muestreo En La Ciudad De Guatemala. (Tesis de pregrado) Universidad de San Carlos de Guatemala. San Carlos, Guatemala.
- Badillo, C. (2012). Caracterización del Contenido de Metales en Partículas PM<sub>2.5</sub> en dos zonas del Área Metropolitana de Monterrey. (Tesis de doctorado) Universidad de Nuevo León, México.
- Bermúdez, L. et al. (2010) Estimación de Factores de Emisión de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, en Vías Urbanas en Mexicali, Baja California, México, Información Tecnológica, 21(4), 45-56.

- Billet, S. et al. (2007). Ambient Particulate Matter (PM<sub>2.5</sub>): Physicochemical characterization and metabolic activation of the organic fraction in human lung epithelial cells (A549) *Environmental Research* 105, 212-223
- Blanco Jiménez, S. et al. (2015). Evaluación de Partículas Suspensas PM<sub>2.5</sub> en el Área Metropolitana de Monterrey. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). México. 34 pp.
- Briones, E. y Malaver, C. (2015). Concentración de material particulado PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> en la cuenca atmosférica de Cajamarca durante los años 2014 y 2015. (Tesis pregrado) Universidad Cesar Vallejo. Cajamarca, Perú.
- Buzelli, M. (2008). A Political Ecology of Scale in Urban Air Pollution Monitoring. Journal compilation. *Royal Geographical Society (with The Institute of British Geographers)*, 33, 502–517.
- Cachi, C. (2014). Evaluación de la Concentración de Plomo y su Relación con el material particulado PM<sub>2.5</sub> en la Atmósfera de la Ciudad de Cajamarca en los años 2010 y 2011. Cajamarca - Perú.
- Campos, P. (2012). Manual para el Monitoreo de Partículas Atmosféricas. Querétaro, México. Universidad Tecnológica de Querétaro, 111 p.
- Canseco, L. et al. (2013). Determinación de PM<sub>2.5</sub> y Metales en el Aerosol Urbano de la ciudad de Chihuahua, México. (Tesis Doctoral). Cima Posgrado.
- Carrillo, S. (2014). Estudio de los aerosoles – material particulado en la ciudad de Huancayo y su relación con la quema de biomasa en Brasil. (Tesis de pregrado) Universidad Nacional del centro del Perú. Huancayo, Perú.

- Celis, J. (2003). Chemical characterization of the inhalable particulate matter in the city of Chillán, Chile. *J. Chil. Chem. Soc*, 48 (2), 47-53.
- Condori, L. et al. (2013). Análisis de partículas suspendidas totales (PST) y partículas fracción respirable (PM10), en Cunduacán, Tabasco, *Universidad y Ciencia*: 26(2), 151- 162.
- Condori, M. (2013). Contaminación del aire material particulado PM10 y PM2.5 en el Distrito de Torata, Moquegua, Perú. Instituto de Bioingeniería aplicada ABI – UNASA. Arequipa, Perú.
- Corleto, A. y Cortez, D. (2012) Comparación de los Métodos de Bergerhoff y Placas Receptoras para la Cuantificación de Polvo Atmosférico Sedimentable. (Tesis de pregrado) Universidad del Salvador, El Salvador.
- Dawson, J. et al. (2009). Impacts of climate change on regional and urban air in the quality in the Eastern United States: Role of Meteorology. *Journal of Geophysical Research*. 114, 11 pp-pp.
- Decreto Supremo N° 003. (2017). Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias. MINAM.
- Desamparados, R. (2012). Contaminantes atmosféricos particulados: Evaluación de las fuentes de origen y de su contribución a la contaminación atmosférica en el clúster cerámico de Castellón. (Tesis de pregrado) Universidad JAUME I. Castellón, España.
- Díaz, V. (2009) Contaminación atmosférica y prevalencia de asma en Centro Habana. *Rev. Cubana Hig. Epidemiol.*, 39, 1.

- Dirección General de Salud Ambiental DIGESA. (2005). Protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos. [http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma\\_consulta/protocolo\\_calidad\\_de\\_aire.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma_consulta/protocolo_calidad_de_aire.pdf)
- Echeverri, C. (2006). Determinación de las concentraciones de fondo de material particulado en suspensión en la ciudad de Medellín. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, 20, 7-19.
- Echeverri, C. y Maya, G. (2008). Relación entre las partículas finas (PM<sub>2.5</sub>) y respirables (PM<sub>10</sub>) en la ciudad de Medellín. Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Medellín: 7(12), 23-42.
- EPA, United States Environmental Protection Agency. (2012). National Ambient Air QualityStandards (NAAQS) for Particulate Matter (PM).
- Escalona, L. et al. (2002). Calidad del aire en la Ciudad de Valencia como función de la concentración de PST. Publicación del XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Cunduacán Tabasco, México.
- Escalona, L. et al. (2008). Gestión de la Calidad del Aire: Causas, Efectos y Soluciones.Universidad Nacional Mayor de San Marcos.Perú.
- Fang, G. et al. (2006). Characteristic study of ionic species in nano, ultrafine, fine and coarse particle size mode at a traffic sampling site. Toxicology andIndustrial Health,22, 2-37.
- Fernández, N. (2017). Caracterización de material particulado y Plomo en el Distrito de San Juan de Sigvas – Arequipa. (Tesis de pregrado) Universidad nacional de San Agustín de Arequipa. Arequipa, Perú.

- Fernández, R. (2012). Origen y características de las partículas finas y ultrafinas en el aire ambiente de Huelva. (Tesis doctoral) Universidad de Huelva, España.
- Figuerelo y Dávila (2004). Química Física del Ambiente y los Procesos Ambientales. España. 1, 35-36.
- Gallegos, E. (2010). Inventario de Emisiones de Partículas y Modelado de su Transporte a partir de Fuentes de Área de una Industria Minera. (Tesis de maestría) Universidad Autónoma de San Luis de Potosí, México.
- Galvis, B. y Rojas, N. (2006). Relación entre PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub> en la ciudad de Bogotá. Acta Nova: 3(2), 336-353.
- García, F. (2002). Determinación de la Concentración de Fondo y Distribución Espacial de PST en Santa Marta, Colombia. Revista Facultad Nacional de Salud Pública, 24, 2.
- Herrera, J. (2011). Inventario de emisiones de contaminantes criterio de Costa Rica en 2011. Revista de Ciencias Ambientales (Trop J Environ Sci), 48(2), 5-19.
- Linares, J. y Diaz, O. (2016). Concentración y distribución de tamaño de partículas PM<sub>10</sub> en Norte y Sur de la Ciudad de Chihuahua. (Tesis de pregrado) Universidad Autónoma de Chihuahua, México.
- Manzanares, L. et al. (2011). Guía metodológica para la estimación de emisiones de PM<sub>2.5</sub>. Ciudad de México, México.
- Martos, W. (2013). Análisis de Material Particulado en el aire de Cajamarca. (Tesis pregrado) Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca, Perú

- Medina, C. y Manzanilla, S. (2014). Evaluación de Partículas Menores a 10 um en dos Poblados cercanos al Ingenio Azucarero San Rafael de Pucre. (Tesis de maestría) Universidad de Quintana Roo.Mexico.
- Mejía, M. y Oviedo, I. (2006). Estimación de las funciones de costo marginal de abatimiento del material particulado para fuentes fijas en el Valle de Aburrá. Ensayos de economía 2, 12 pp-pp.
- Mezaros. (1999). Los efectos de la urbanización en el clima de Zaragoza (España): La isla de calor y sus efectos condicionantes. Boletín de la A.G.E, 4(40), 311-327.
- MINAM (2014). Informe Nacional de Calidad del aire. Recuperado de <https://sinia.minam.gob.pe/>.
- Ministerio de Agricultura y Pesca de España (2013). Niveles, Composición y Fuentes de PM10 y PM2.5 en España: Aragón, Asturias, Castilla La Mancha, y Madrid. Recuperado de <https://www.miteco.gob.es/>.
- Moldanova, J. et al. (2009). Characterisation of particulate matter and gaseous emissions from a large ship diesel engine. Atmospheric Environment, 43(16), 2632-2641
- Molina, E. et al. (2011). Comportamiento de las fracciones fina y gruesa de PM10 en la estación de monitoreo de calidad del aire en Centro Habana. Campaña 2006-2007 (Tesis de posgrado) Universidad de la Habana, Cuba.
- Moreano, D. et al. (2012). Nivel de afectación de la contaminación atmosférica y sus efectos en la infraestructura del campus universitario debido a la emisión de partículas PM10 y CO. (Tesis pregrado) Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.

- Moreano, B. et al. (2012). Nivel de afectación de la contaminación atmosférica y sus efectos en la infraestructura del campus universitario debido a la emisión de partículas PM10 y CO. (Tesis Doctoral). Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Navarro, L. (2010). La Naturaleza, las Matemáticas, la Ingeniería y el Caos, *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 18 (1), 5-7.
- OMS, Organización Mundial de la Salud. (2006). Guías de Calidad del Aire de la OMS relativas al Material Particulado, el Ozono, el Dióxido de Nitrógeno, y el Dióxido de Azufre.
- Osorio, G. y Flórez, H. (2007). Contaminación del aire y enfermedad respiratoria en menores de 5 años de Bogotá. *Revista salud pública*. 15 (4): 503-516.
- Ostro, B. (1998). Como estimar los efectos de la contaminación atmosférica de la salud. *Revista Estudios Públicos*, 69, 25-1.
- Oyarzún, G. (2010). Contaminación aérea y sus efectos en la salud. *Rev. chil. enferm. respir.* v.26 n.1. Recuperado de: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-73482010000100004](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-73482010000100004).
- Palacios, F. (2010). Medidas de Inmisión para Partículas Totales Suspendidas y Metales Pesados en Muestras de Aire av. Mariscal sucre, sector el tejlar, Distrito Metropolitano de Quito, Ecuador: Universidad Internacional SEK
- Pope. (2009). CA III. Fine-Particulate Air Pollution and Life Expectancy in the United States

- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente – PNUMA. (2010).  
Perspectivas del Medio Ambiente: América Latina y el Caribe Geo ALC 3.  
Disponibile en: <https://wedocs.unep.org/rest/bitstreams/13194/retrieve>.
- Querol, X. (2008). Calidad del aire, partículas en suspensión y metales. Revista Española de Salud Pública: 82(5),447-453.
- Quijano, A. y Orozco, J. (2005). Monitoreo de material particulado fracción-respirable (PM<sub>2.5</sub>) en Pamplona (Colombia). Revista de la Facultad de Ciencias Básicas, 3(2), 1-11.
- Quispe, A. (2013). Grado de exposición a contaminantes ambientales y frecuencia a consultas por IRAs en menores de 5 años, distrito de Ate Vitarte, Lima Perú. Universidad Peruana Unión. Lima, Perú.
- Rivera, M. (2012). Modelo de Identificación de Factores Contaminantes Atmosféricos Críticos en Lima – Callao. (Tesis de Maestría) Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima-Perú.
- Rodríguez, S. y De la Rosa, J. (2011). Origen y Características de las Partículas Finas y Ultrafinas en el Aire Ambiente de Huelva (Tesis de doctorado) Universidad de Huelva-España.
- Rojano, R. et al. (2013). Niveles de Partículas Suspendidas Totales (PST), PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> y su Relación en Lugares Públicos de la Ciudad Riohacha, Caribe Colombiano. Inf. tecnol. 24(2), 37-46.
- Rojano R. et al. (2011). Análisis comparativo de las mediciones de material particulado PM<sub>10</sub>. Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de. Antioquia 58, 27-35.

- Rojas, L. y Garibay, V. (2003). Las Partículas Suspendidas, Aeropartículas o Aerosoles: ¿Hacen daño a la salud?, ¿Podemos hacer algo? *Gaceta Ecológica* ,1, 23-34.
- Rusber, F. (2013). Determinación del Grado de Partículas Atmosféricas Sedimentables, Mediante el Método de Muestreo Pasivo, Zona Urbana – Ciudad de Moyobamba, 2012. (Tesis de Pregrado) Universidad Nacional de San Martín, Moyobamba, Perú.
- Salini, G. (2009). Desarrollo de un Modelo para Pronosticar Concentraciones Extremas de PM2.5 en Santiago. (Tesis de doctorado) Universidad de Santiago de Chile. Santiago
- Seoáñez, M. (2002). Tratado de la contaminación atmosférica. España: Mundi-Prensa.
- Sun, Q. et al. (2010). Cardiovascular effects of ambient particulate air pollution exposure, *Contemporary Reviews in Cardiovascular Medicine*, 121, 2755-2765.
- Tapia, V. et al. (2018). Reordenamiento vehicular y contaminación ambiental por material particulado (2.5 y 10. dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno en Lima metropolitana, Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*.35(2), 1726-4634.
- Toro, M. et al. (2001). Cálculo de la emisión vehicular de contaminantes atmosféricos en la ciudad de Medellín mediante factores de emisión corinair. Grupo de Investigaciones Ambientales – GIA. Universidad Pontificia Bolivariana. *Revista Acodal*,191, 42-49.

Viana, M. (2003). Niveles, composición y origen del material particulado atmosférico en los sectores Norte y Este de la Península Ibérica y Canarias. (Tesis Doctoral), Universidad de Barcelona, España.

Villatoro, M. et al. (2008). Comparación de los Interpoladores IDW y KRIGING en la variación espacial de pH, CA, CICE y P del suelo. *Agronomía Costarricense*, 32(1), 95-105.

Warneck, P. (1988). *Chemistry of the natural atmosphere*. International Geophysics Series, 41(1), 757 pp-pp.

## **ANEXOS**

**AMBIENTE**

**Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias**

**DECRETO SUPREMO  
N° 003-2017-MINAM**

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en adelante

la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la citada Ley;

Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley, establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas y es un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;

Que, de acuerdo con lo señalado en el numeral 33.1 del artículo 33 de la Ley, la Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y Límites Máximos Permisibles (LMP) y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga las propuestas de ECA y LMP, los que serán remitidos a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante Decreto Supremo;

Que, en virtud a lo dispuesto por el numeral 33.4 del artículo 33 de la Ley, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, de conformidad con lo establecido en el literal d) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización, y Funciones del Ministerio del Ambiente, este ministerio tiene como función específica elaborar los ECA y LMP, los cuales deberán contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Decreto Supremo N° 074-2001-PCM se aprueba el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire, el cual tiene por objetivo establecer los ECA para Aire y los lineamientos de estrategia para alcanzarlos progresivamente;

Que, a través del Decreto Supremo N° 069-2003-PCM, se adiciona el valor anual de concentración de Plomo a los ECA para Aire establecidos en el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire, aprobado por Decreto Supremo N° 074-2001-PCM;

Que, mediante Decreto Supremo N° 003-2008-MINAM, se aprueban nuevos parámetros y valores en los ECA para Aire y se modifica, entre otros, el valor del Dióxido de Azufre;

Que, mediante Decreto Supremo N° 006-2013-MINAM, se aprueban las disposiciones complementarias para la aplicación del ECA de Aire para el Dióxido de Azufre;

Que, a través de la Resolución Ministerial N° 205-2013-MINAM se establecen las cuencas atmosféricas a las cuales les será aplicable los numerales 2.2 y 2.3 del artículo 2 del Decreto Supremo N° 006-2013-MINAM;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 331-2016-MINAM se crea el Grupo de Trabajo encargado de establecer medidas para optimizar la calidad ambiental, estableciendo como una de sus funciones específicas, el analizar y proponer medidas para mejorar la calidad ambiental en el país;

Que, en mérito del análisis técnico realizado por el citado Grupo de Trabajo se ha identificado la necesidad de actualizar y unificar la normatividad vigente que regula los ECA para Aire;

Que, por otro lado, mediante Resolución Suprema N° 768-98-PCM, modificada por Resolución Suprema N° 588-99-PCM y Resolución Suprema N° 007-2004-VIVIENDA, se creó el Comité de Gestión de la Iniciativa del Aire Limpio para Lima y Callao, con la finalidad de proponer mecanismos de coordinación interinstitucional y los cambios normativos orientados a la mejora de la calidad del aire de Lima y Callao;

Que, resulta necesario que el referido Comité se enmarque dentro de lo dispuesto en el numeral 3 del artículo 36 de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo, que establece que las Comisiones Multisectoriales de

naturaleza permanente son creadas con fines específicos para cumplir funciones de seguimiento, fiscalización, o emisión de informes técnicos. Se crean formalmente mediante decreto supremo refrendado por el Presidente del Consejo de Ministros y los titulares de los Sectores involucrados. Cuentan con Reglamento Interno aprobado por Resolución Ministerial del Sector al cual están adscritas;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 094-2017-MINAM, el Ministerio del Ambiente dispuso la prepublicación del proyecto de Decreto Supremo que aprueba los ECA para aire y establece disposiciones complementarias, en cumplimiento del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, y el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la publicidad, publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS; en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios al mismo;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118 de la Constitución Política del Perú, así como el numeral 3 del artículo 11 de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

#### **Artículo 1.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Aire**

Apruébase los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire, que como Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo.

#### **Artículo 2.- Los Estándares de Calidad Ambiental para Aire como referente obligatorio**

2.1 Los ECA para Aire son un referente obligatorio para el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, a cargo de los titulares de actividades productivas, extractivas y de servicios.

2.2 Los ECA para Aire, como referente obligatorio, son aplicables para aquellos parámetros que caracterizan las emisiones de las actividades productivas, extractivas y de servicios.

#### **Artículo 3.- Financiamiento**

El financiamiento para la aplicación de lo dispuesto en la presente norma, se realizará con cargo al presupuesto institucional de los pliegos involucrados, sin demandar recursos adicionales al Tesoro Público.

#### **Artículo 4.- Refrendo**

El presente Decreto Supremo es refrendado por la Ministra del Ambiente, la Ministra de Salud, el Ministro de Transportes y Comunicaciones, el Ministro de Energía y Minas, el Ministro de la Producción y el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

#### **DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES**

##### **Primera.- Aplicación de los ECA para Aire en los instrumentos de gestión ambiental aprobados**

La aplicación de los ECA para Aire en los instrumentos de gestión ambiental aprobados, que sean de carácter preventivo, se realiza en la actualización o modificación de los mismos, en el marco de la normativa vigente del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA). En el caso de instrumentos correctivos, la aplicación de los ECA para Aire se realiza conforme a la normativa ambiental sectorial.

##### **Segunda.- Monitoreo de la calidad del aire**

Mediante Decreto Supremo, a propuesta del Ministerio del Ambiente, en coordinación con las autoridades competentes, se aprobará el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire, en un plazo máximo de ciento ochenta (180) días calendario, contados desde la entrada en vigencia del presente dispositivo.

En tanto se apruebe el citado Protocolo Nacional, el monitoreo de la calidad del aire se realizará conforme a la normativa vigente.

### Tercera.- Grupos de Estudio Técnico Ambiental de Calidad del Aire

El Ministerio del Ambiente, mediante resolución ministerial, en el plazo máximo de noventa (90) días calendario, contados desde la entrada en vigencia del presente Decreto Supremo, aprobará los lineamientos para fortalecer e incorporar a los Grupos de Estudio Técnico Ambiental de la Calidad del Aire en las Comisiones Ambientales Municipales (CAM) Provinciales, en el marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental.

En tanto se apruebe los citados lineamientos, los Grupos de Estudio Técnico Ambiental de la Calidad del Aire continuarán ejerciendo las siguientes funciones: a) Supervisar los diagnósticos de línea base; b) Formular los planes de acción para el mejoramiento de la calidad del aire; y c) Proponer las medidas inmediatas que deban realizarse en los estados de alerta nacionales de contaminantes del aire.

### Cuarta.- Zonas de Atención Prioritaria

Las Zonas de Atención Prioritaria son aquellos centros poblados que cuenten con actividades económicas que planteen real o potencial afectación en la calidad del aire, que posean actividad vehicular ambientalmente relevante, o que cuenten con una dinámica urbana que implique un potencial incremento de emisiones atmosféricas.

El Ministerio del Ambiente, mediante resolución ministerial, desarrollará los lineamientos para la determinación de las Zonas de Atención Prioritaria en un plazo máximo de ciento veinte (120) días calendario, contados desde la entrada en vigencia del presente decreto supremo. Asimismo, el Ministerio del Ambiente, mediante resolución ministerial, establecerá las Zonas de Atención Prioritaria, en coordinación con las autoridades competentes, Las Zonas de Atención Prioritaria creadas con anterioridad mantienen su vigencia.

### Quinta.- Planes de Acción para el Mejoramiento de la Calidad del Aire

Los Planes de Acción para el Mejoramiento de la Calidad del Aire de las provincias conurbadas de Lima y el Callao, son formulados por la Comisión Multisectorial de Gestión de la Iniciativa de Aire Limpio para Lima y Callao, y aprobados por el Ministerio del Ambiente.

Los Planes de Acción para el Mejoramiento de la Calidad del Aire de las demás provincias serán aprobados mediante Ordenanza Municipal del Gobierno Local competente. En tanto se aprueben los lineamientos a los que se hacen referencia en la tercera disposición complementaria final, los Planes de Acción aprobados con anterioridad, deberán continuar con su implementación.

La Dirección General de Calidad Ambiental del Ministerio del Ambiente realizará el seguimiento de la implementación de los Planes de Acción.

### Sexta.- Estados de Alerta Nacionales para contaminantes del aire

El Ministerio de Salud es la autoridad competente para declarar los Estados de Alerta Nacionales para contaminantes del aire que tengan por objeto activar, en forma inmediata, un conjunto de medidas destinadas a prevenir el riesgo a la salud y evitar la exposición excesiva de la población a los contaminantes del aire, durante episodios de contaminación aguda.

El Ministerio de Salud, en coordinación con el Ministerio del Ambiente, establece los niveles de Estados de Alerta.

### Séptima.- Estándar de Calidad Ambiental para Aire de Mercurio Gaseoso Total

El ECA para Aire del parámetro Mercurio Gaseoso Total, aprobado mediante el presente Decreto Supremo, entrará en vigencia al día siguiente de la publicación del Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire.

### DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA TRANSITORIA

#### Única.- Instrumento de gestión ambiental en trámite ante la Autoridad Competente

Los titulares que antes de la fecha de entrada en vigencia de la norma, hayan iniciado un procedimiento

administrativo para aprobación del instrumento de gestión ambiental ante la autoridad competente, tomarán en consideración los ECA para Aire vigentes a la fecha de inicio del procedimiento.

Luego de aprobado el instrumento de gestión ambiental por la autoridad competente, los titulares deberán considerar lo establecido en la Primera Disposición Complementaria Final, a efectos de aplicar los ECA para Aire aprobados mediante el presente Decreto Supremo.

### DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS MODIFICATORIAS

#### Primera.- Adecuación del Comité de Gestión de la Iniciativa del Aire Limpio para Lima y Callao a Comisión Multisectorial de naturaleza permanente

Modifícase el artículo 1 de la Resolución Suprema N° 768-98-PCM, modificada por las Resoluciones Supremas N° 588-99-PCM y N° 007-2004-VIVIENDA, así como los artículos 2, 3 y 4 de la Resolución Suprema N° 007-2004-VIVIENDA, e incorpórase el artículo 5 en la Resolución Suprema N° 007-2004-VIVIENDA, los mismos que quedan redactados conforme al siguiente texto:

**"Artículo 1.-** Constituir la Comisión Multisectorial para la Gestión de la Iniciativa del Aire Limpio para Lima y Callao, la cual está adscrita al Ministerio del Ambiente e integrado por:

- El/la Viceministro (a) de Gestión Ambiental del Ministerio del Ambiente, quien lo presidirá.
- El/la Directora(a) General de Asuntos Ambientales de Industria del Ministerio de la Producción.
- El/la Director(a) General de Asuntos Ambientales Pesqueros y Acuícolas del Ministerio de la Producción.
- El/la Director(a) General de Asuntos Ambientales Energéticos del Ministerio de Energía y Minas.
- El/la Director(a) General de la Dirección General de Calidad Ambiental del Ministerio del Ambiente.
- El/la Director(a) General de la Dirección General de Asuntos Ambientales del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- El/la Director(a) General de la Dirección General de Transporte Terrestre del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- El/la Director(a) General de la Dirección General de Asuntos Socio-Ambientales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- El/la Director(a) General de la Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad Alimentaria del Ministerio de Salud.
- El/la Presidente(a) Ejecutivo(a) del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI.
- Dos representantes de la Municipalidad Metropolitana de Lima.
- Dos representantes de la Municipalidad Provincial del Callao.
- Dos representantes de la Confederación Nacional de Instituciones Empresariales Privadas - CONFIEP.
- Un representante de la Asociación Peruana de Consumidores y Usuarios - ASPEC.

Los representantes podrán acreditar ante la Secretaría Técnica a sus representantes alternos.

La Comisión podrá convocar, a personas naturales o jurídicas de derecho privado o público, a participar en sus reuniones, de acuerdo a la materia a ser tratada".

#### "Artículo 2.- Creación de la Secretaría Técnica

Créase la Secretaría Técnica de la Comisión Multisectorial para la Gestión de la Iniciativa del Aire Limpio para Lima y Callao, la cual dependerá del Viceministerio de Gestión Ambiental."

#### "Artículo 3.- Reglamento Interno

La Comisión Multisectorial para la Gestión de la Iniciativa del Aire Limpio para Lima y Callao, formulará su Reglamento Interno, el cual será aprobado mediante

Resolución Ministerial expedida por el Ministerio del Ambiente.”

**“Artículo 4.- Finalidad**

La Comisión Multisectorial para la Gestión de la Iniciativa del Aire Limpio para Lima y Callao emitirá los informes técnicos que contengan las propuestas de mecanismos de coordinación interinstitucional y las modificaciones normativas orientadas a mejorar la calidad del aire de Lima y Callao.”

**“Artículo 5.- Financiamiento**

El cumplimiento de las funciones de la Comisión Multisectorial para la Gestión de la Iniciativa del Aire Limpio para Lima y Callao se financia con cargo al presupuesto institucional del Ministerio del Ambiente, sin demandar recursos adicionales al Tesoro Público. Asimismo, los gastos que pueda involucrar la participación de los representantes de la citada Comisión Multisectorial se financian con cargo al presupuesto de las entidades a las cuales pertenecen”.

**Segunda.- Modificación del Reglamento Interno de la Comisión Multisectorial para la Gestión de la Iniciativa del Aire Limpio para Lima y Callao**

Mediante Resolución Ministerial emitida por el Ministerio del Ambiente, en el plazo máximo de treinta (30) días hábiles contados desde la entrada en vigencia del presente Decreto Supremo, la Comisión Multisectorial para la Gestión de la Iniciativa del Aire Limpio para Lima y Callao modificará su Reglamento Interno, aprobado por Resolución Ministerial N° 229-2013-VIVIENDA.

**DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA  
DEROGATORIA**

**Única.- Derogación de normas referidas al ECA para Aire**

Derógase el Decreto Supremo N° 074-2001-PCM, el Decreto Supremo N° 069-2003-PCM, el Decreto Supremo N° 003-2008-MINAM y el Decreto Supremo N° 006-2013-MINAM.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los seis días del mes de junio del año dos mil diecisiete.

PEDRO PABLO KUCZYNSKI GODARD  
Presidente de la República

ELSA GALARZA CONTRERAS  
Ministra del Ambiente

GONZALO TAMAYO FLORES  
Ministro de Energía y Minas

PEDRO OLAECHEA ÁLVAREZ CALDERÓN  
Ministro de la Producción

PATRICIA J. GARCÍA FUNEGRA  
Ministra de Salud

BRUNO GIUFFRA MONTEVERDE  
Ministro de Transportes y Comunicaciones

EDMER TRUJILLO MORI  
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

Anexo 2. Certificado de Calibración de contador de partículas (HANDHELD 3016AQ).

		<b>LIGHTHOUSE</b> WORLDWIDE SOLUTIONS <i>Technology That Counts</i>	<b>REPORT OF CALIBRATION</b>	<b>Manufacturer's Calibration Certificate</b>	
Model:	H3016 IAQ	LWS Location: 1221 Disk Drive, Medford OR 97501			
Serial Number:	130144015				
Sensor ID:	130102-045				
TRH Probe:	126257				
<p>This certifies the above named instrument conforms to the original specifications in effect at date of manufacture and test.</p>					
<p>Calibration has been accomplished by comparison with standards maintained by LIGHTHOUSE WORLDWIDE SOLUTIONS and the size calibration is accomplished in accordance with the ISO 21501-4 standard. The accuracy and stability of standards maintained by LIGHTHOUSE WORLDWIDE SOLUTIONS are traceable to the National Institute of Standards and Technology, or have been derived from acceptable values of natural physical constants. A record of all work performed is maintained by LIGHTHOUSE WORLDWIDE SOLUTIONS, INC.</p>					
<p>The combined standard uncertainty of the size calibration for the above instrument is: <b>2.5%</b> The combined standard uncertainty of the size calibration is calculated using Root Sum Square method (RSS).</p>					
<b>Test Equipment:</b>					
Flow Meter	119494	Calibration Due: June 14, 2013			
DMM	22520443	Calibration Due: December 5, 2013			
MCA	2207	Calibration Due: October 11, 2013			
TRH STD 2	0573	Calibration Due: October 13, 2013			
GOLD	111244010	Calibration Due: January 28, 2014			
<p>Calibration was performed under the following controlled conditions:</p>					
Temperature:	73.4 °F	Relative Humidity:	35.0 %	Flow Rate:	<b>0.100 CFM</b>
UUT:	73.3 °F	UUT:	35.1 %		
Final Test Date:	January 31, 2013				
<b>Threshold Voltage Settings:</b>					
Particle Size:	0.30 µm	Lot # 39644	Channel 1 Threshold Voltage:	45 mV	
Particle Size:	0.50 µm	Lot # 40270	Channel 2 Threshold Voltage:	340 mV	
Particle Size:	1.00 µm	Lot # 40060	Channel 3 Threshold Voltage:	896 mV	
Particle Size:	2.50 µm	Lot # 39697	Channel 4 Threshold Voltage:	1490 mV	
Particle Size:	5.00 µm	Lot # 40421	Channel 5 Threshold Voltage:	3188 mV	
Particle Size:	10.00 µm	Lot # 40284	Channel 6 Threshold Voltage:	3788 mV	
Signature:			Certification Date: January 31, 2013		
Quality Assurance					
<b>Next calibration on this instrument is due: <u>January 31, 2014</u></b>					
<hr/>					
<b>LIGHTHOUSE WORLDWIDE SOLUTIONS</b>					
422348905-1 RB16      47300 Kato Road, Fremont, CA 94538 (510) 438-0500 / (510) 438-3840 fax					

**Tabla 11.** *Datos meteorológicos SENAMHI- Estación Chota Cajamarca.*

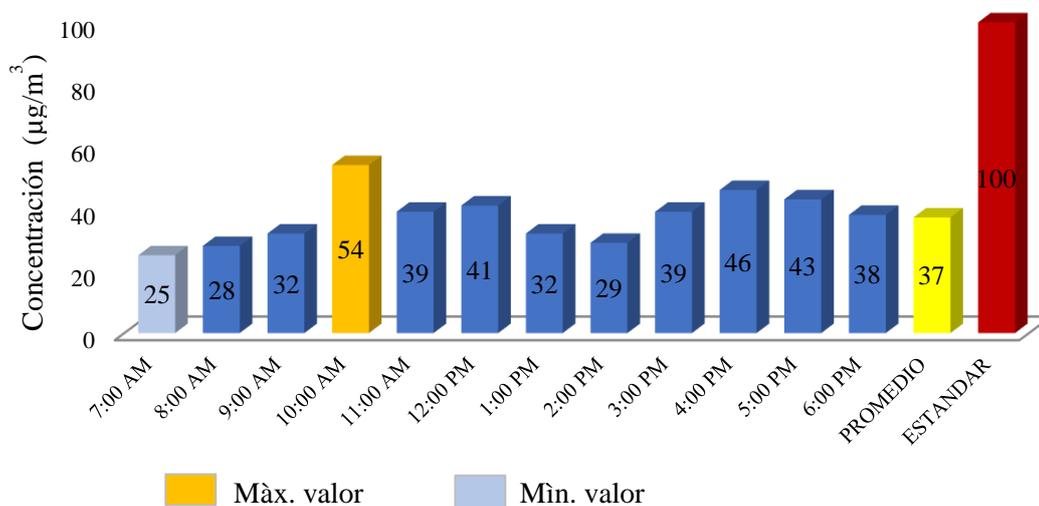
Punto de monitoreo	Fecha	Temperatura		Precipitación (mm)		Dirección del Viento 13h	Velocidad de Viento 13h (m/s)
		Max (°c)	Mín (°c)	07	19		
Chancadora Doñana	29-04-2012	21	8.2	0	0	NE	2
	15-12-2012	23	6.8	0	0	NE	2
	04-04-2013	20	11	0	0	C	Sin reg.
	30-09-2013	20.2	11.6	0	3.7	SE	2
	03-12-2013	22	10.6	0	2.9	NE	4
Plaza de Armas de Lajas	30-04-2012	21.8	8.8	0	0	NE	2
	21-12-2012	21.8	10.8	0	2.4	NE	2
	05-04-2013	20.8	10.6	0	2.7	C	Sin reg.
	01-10-2013	24.4	11	0.7	0	C	Sin reg.
	08-12-2013	18	11	6.1	8.5	C	Sin reg.
Chancadora Ajipampa	01-05-2012	17	10.8	0.9	15.2	C	Sin reg.
	16-12-2012	24	5.4	0	0	SE	4
	03-04-2013	19.6	11.6	11.5	0	C	Sin reg.
	05-10-2013	21	12	1.4	0.9	C	Sin reg.
	07-12-2013	22.8	12	0	4.8	C	Sin reg.
Cantera El Molino	31-04-2012	21.6	11	0	0	NE	2
	16-12-2012	24	5.4	0	0	SE	4
	06-04-2013	22.4	9.6	0	0	SE	2
	04-10-2013	23.2	12	0.9	0	NE	4
	10-12-2013	17.4	11.2	12.7	0.5	NE	2
Plaza de Armas Cochabamba	01-05-2012	17	10.8	0.9	15.2	C	Sin reg.
	17-12-2012	22.6	7.2	0	0	NE	2
	05-04-2013	20.8	10.6	0	2.7	C	Sin reg.
	03-10-2013	22.4	11.6	0	0.2	NE	4
	09-12-2013	20.2	11.6	6.9	1.4	C	Sin reg.

*Fuente: SENAMI*

**Apéndice A.** Resultados de PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub> de los 5 puntos de monitoreo en el año 2012-2013.

**Tabla 12.** Concentraciones de PM 10 en Chancadora Doñana - Diciembre 2012.

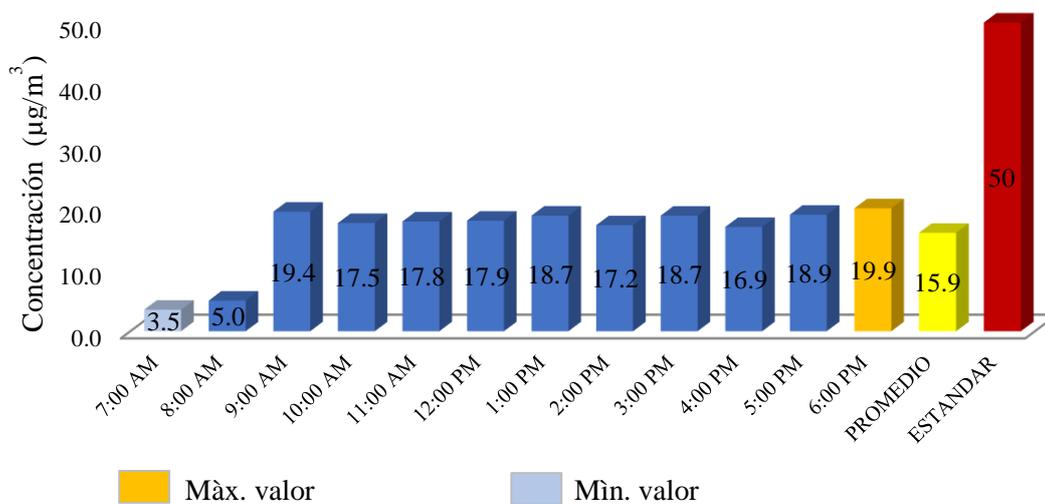
Hora de Control	Ubicación	Coordenadas		Altitud m.s.n.m	Fecha de monitoreo	Concentraciones de PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
		Norte	Este			
07: 00 a.m	Chancadora Doñana	9276850	755446	2228	15/12/12	25
08: 00 a.m	Chancadora Doñana	9276850	755446	2228	15/12/12	28
09: 00 a.m	Chancadora Doñana	9276850	755446	2228	15/12/12	32
10: 00 a.m	Chancadora Doñana	9276850	755446	2228	15/12/12	54
11: 00 a.m	Chancadora Doñana	9276850	755446	2228	15/12/12	39
12: 00 p.m	Chancadora Doñana	9276850	755446	2228	15/12/12	41
01:00 p.m	Chancadora Doñana	9276850	755446	2228	15/12/12	32
02:00 p.m	Chancadora Doñana	9276850	755446	2228	15/12/12	29
03:00 p.m	Chancadora Doñana	9276850	755446	2228	15/12/12	39
04:00 p.m	Chancadora Doñana	9276850	755446	2228	15/12/12	46
05:00 p.m	Chancadora Doñana	9276850	755446	2228	15/12/12	43
06:00 p.m	Chancadora Doñana	9276850	755446	2228	15/12/12	38
<b>PROMEDIO</b>						<b>37</b>



*Figura 13.* Comparación de Concentraciones de Partículas en Suspensión PM<sub>10</sub>-12h en Chancadora Doñana - diciembre 2012.

**Tabla 13.** Concentraciones de  $PM_{2.5}$  en Chancadora Doñana - abril 2013.

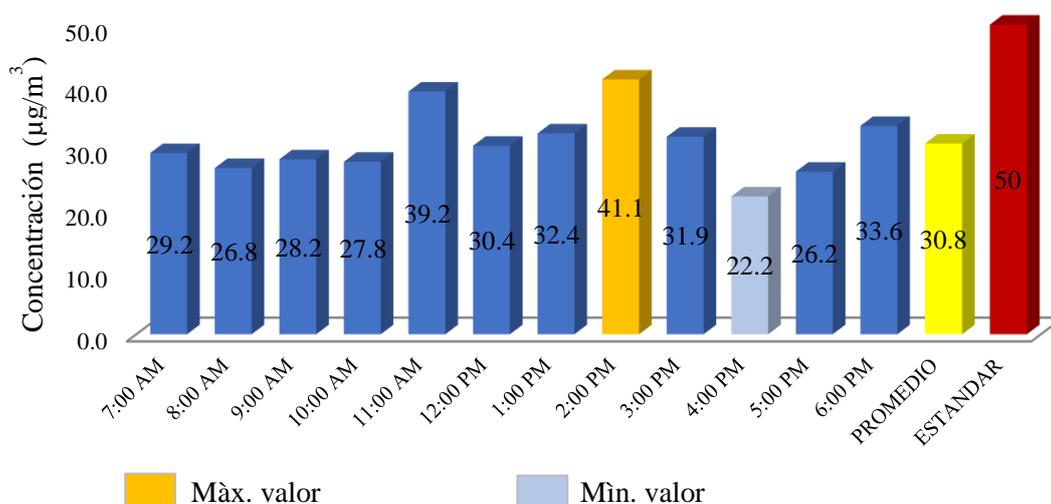
Hora de Control	Ubicación	Coordenadas		Altitud m.s.n.m	Fecha de monitoreo	Concentraciones de $PM_{2.5}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
		Norte	Este			
07: 00 a.m	Chancadora Doñana	9276850	755446	2228	04/04/2013	<b>3.48</b>
08: 00 a.m	Chancadora Doñana	9276850	755446	2228	04/04/2013	4.96
09: 00 a.m	Chancadora Doñana	9276850	755446	2228	04/04/2013	19.35
10: 00 a.m	Chancadora Doñana	9276850	755446	2228	04/04/2013	17.51
11: 00 a.m	Chancadora Doñana	9276850	755446	2228	04/04/2013	17.76
12: 00 p.m	Chancadora Doñana	9276850	755446	2228	04/04/2013	17.89
01:00 p.m	Chancadora Doñana	9276850	755446	2228	04/04/2013	18.71
02:00 p.m	Chancadora Doñana	9276850	755446	2228	04/04/2013	17.15
03:00 p.m	Chancadora Doñana	9276850	755446	2228	04/04/2013	18.70
04:00 p.m	Chancadora Doñana	9276850	755446	2228	04/04/2013	16.87
05:00 p.m	Chancadora Doñana	9276850	755446	2228	04/04/2013	18.85
06:00 p.m	Chancadora Doñana	9276850	755446	2228	04/04/2013	<b>19.89</b>
<b>PROMEDIO</b>						<b>15.93</b>



**Figura 14.** Comparación de Concentraciones de Partículas en Suspensión  $PM_{2.5}$  -12h en Chancadora Doñana - abril 2013.

**Tabla 14 .** Concentraciones de  $PM_{2.5}$  en Plaza de armas Lajas – abril 2013.

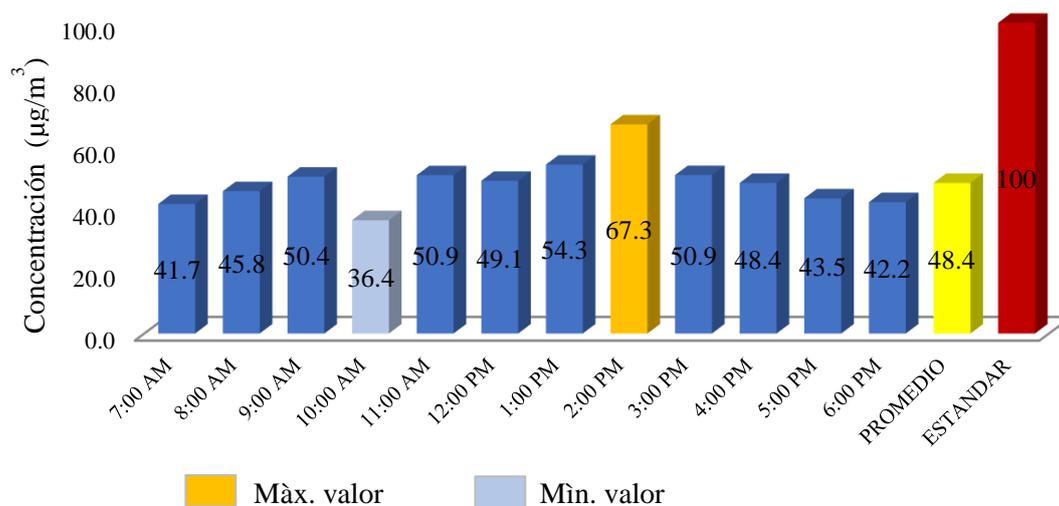
Hora de Control	Ubicación	Coordenadas		Altitud m.s.n.m	Fecha de monitoreo	Concentraciones de $PM_{2.5}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
		Norte	Este			
07: 00 a.m	Plaza de Armas Lajas	9283896	733856	1683	05/04/2013	29.24
08: 00 a.m	Plaza de Armas Lajas	9283896	733856	1683	05/04/2013	26.82
09: 00 a.m	Plaza de Armas Lajas	9283896	733856	1683	05/04/2013	28.23
10: 00 a.m	Plaza de Armas Lajas	9283896	733856	1683	05/04/2013	27.83
11: 00 a.m	Plaza de Armas Lajas	9283896	733856	1683	05/04/2013	39.18
12: 00 p.m	Plaza de Armas Lajas	9283896	733856	1683	05/04/2013	30.41
01:00 p.m	Plaza de Armas Lajas	9283896	733856	1683	05/04/2013	32.42
02:00 p.m	Plaza de Armas Lajas	9283896	733856	1683	05/04/2013	<b>41.14</b>
03:00 p.m	Plaza de Armas Lajas	9283896	733856	1683	05/04/2013	31.88
04:00 p.m	Plaza de Armas Lajas	9283896	733856	1683	05/04/2013	<b>22.23</b>
05:00 p.m	Plaza de Armas Lajas	9283896	733856	1683	05/04/2013	26.23
06:00 p.m	Plaza de Armas Lajas	9283896	733856	1683	05/04/2013	33.63
<b>PROMEDIO</b>						<b>30.80</b>



**Figura 15.** Comparación de Concentraciones de Partículas en Suspensión  $PM_{2.5-12h}$  en Plaza de armas de Lajas – abril 2013.

**Tabla 15.** Concentraciones de PM<sub>10</sub> en Plaza de armas Lajas – diciembre 2013.

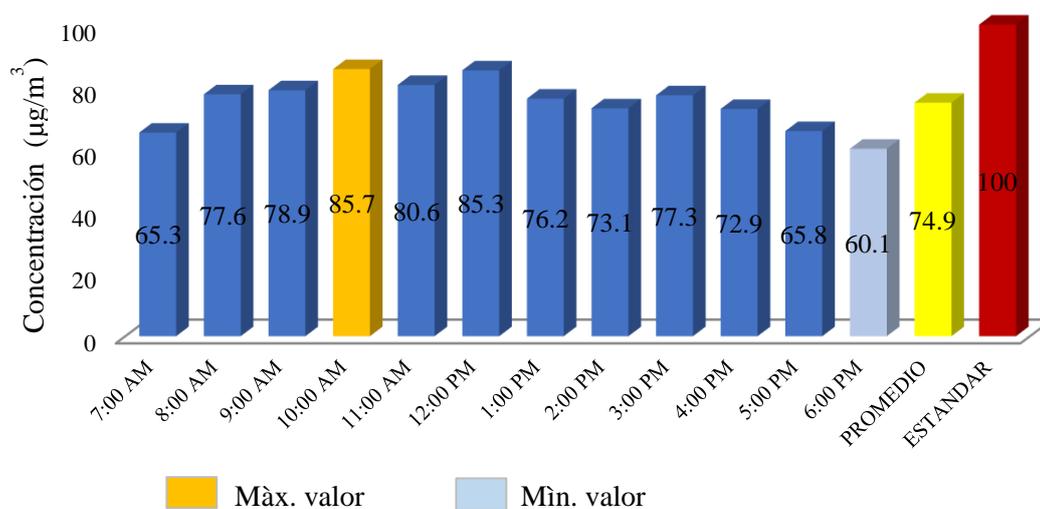
Hora de Control	Ubicación	Coordenadas		Altitud m.s.n.m	Fecha de monitoreo	Concentraciones de PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
		Norte	Este			
07: 00 a.m	Plaza de Armas Lajas	9283896	733856	1683	08/12/2013	41.65
08: 00 a.m	Plaza de Armas Lajas	9283896	733856	1683	08/12/2013	45.75
09: 00 a.m	Plaza de Armas Lajas	9283896	733856	1683	08/12/2013	50.43
10: 00 a.m	Plaza de Armas Lajas	9283896	733856	1683	08/12/2013	36.42
11: 00 a.m	Plaza de Armas Lajas	9283896	733856	1683	08/12/2013	50.89
12: 00 p.m	Plaza de Armas Lajas	9283896	733856	1683	08/12/2013	49.09
01:00 p.m	Plaza de Armas Lajas	9283896	733856	1683	08/12/2013	54.30
02:00 p.m	Plaza de Armas Lajas	9283896	733856	1683	08/12/2013	67.27
03:00 p.m	Plaza de Armas Lajas	9283896	733856	1683	08/12/2013	50.93
04:00 p.m	Plaza de Armas Lajas	9283896	733856	1683	08/12/2013	48.41
05:00 p.m	Plaza de Armas Lajas	9283896	733856	1683	08/12/2013	43.45
06:00 p.m	Plaza de Armas Lajas	9283896	733856	1683	08/12/2013	42.24
<b>PROMEDIO</b>						<b>48.40</b>



**Figura 16.** Comparación de Concentraciones de Partículas en Suspensión PM<sub>10</sub>-12h en Plaza de armas de Lajas – diciembre 2013.

**Tabla 16 . Concentraciones de PM<sub>10</sub> en Chancadora Ajipampa – diciembre 2012.**

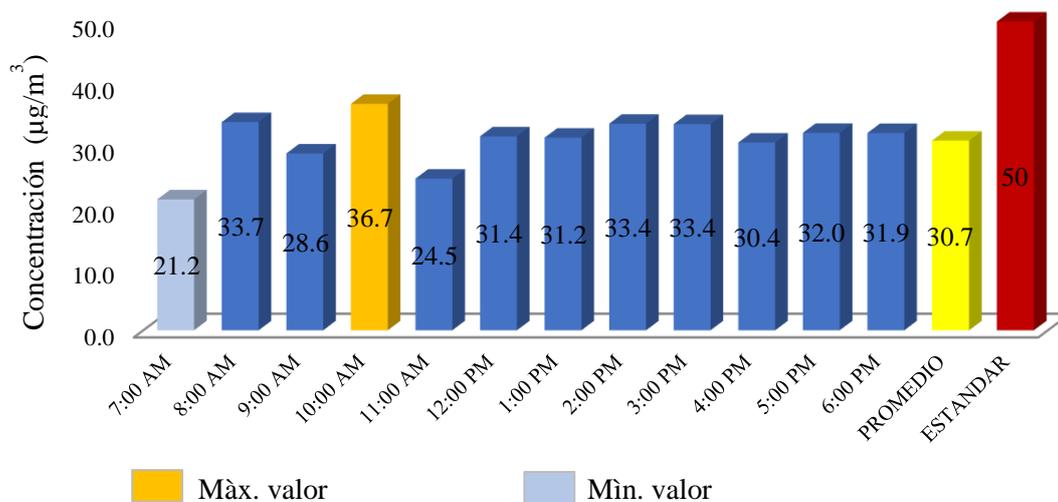
Hora de Control	Ubicación	Coordenadas		Altitud m.s.n.m	Fecha de monitoreo	Concentraciones de PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
		Norte	Este			
07: 00 a.m	Chancadora Ajipampa	9285099	733250	2109	16/12/12	65.3
08: 00 a.m	Chancadora Ajipampa	9285099	733250	2109	16/12/12	77.6
09: 00 a.m	Chancadora Ajipampa	9285099	733250	2109	16/12/12	78.9
10: 00 a.m	Chancadora Ajipampa	9285099	733250	2109	16/12/12	85.7
11: 00 a.m	Chancadora Ajipampa	9285099	733250	2109	16/12/12	80.6
12: 00 p.m	Chancadora Ajipampa	9285099	733250	2109	16/12/12	85.3
01:00 p.m	Chancadora Ajipampa	9285099	733250	2109	16/12/12	76.2
02:00 p.m	Chancadora Ajipampa	9285099	733250	2109	16/12/12	73.1
03:00 p.m	Chancadora Ajipampa	9285099	733250	2109	16/12/12	77.3
04:00 p.m	Chancadora Ajipampa	9285099	733250	2109	16/12/12	72.9
05:00 p.m	Chancadora Ajipampa	9285099	733250	2109	16/12/12	65.8
06:00 p.m	Chancadora Ajipampa	9285099	733250	2109	16/12/12	60.1
<b>PROMEDIO</b>						<b>74.90</b>



*Figura 17. Comparación de Concentraciones de Partículas en Suspensión PM<sub>10</sub> -12h en Chancadora Ajipampa – diciembre 2012.*

**Tabla 17.** Concentraciones de PM<sub>2.5</sub> en Chancadora Ajipampa – abril 2013.

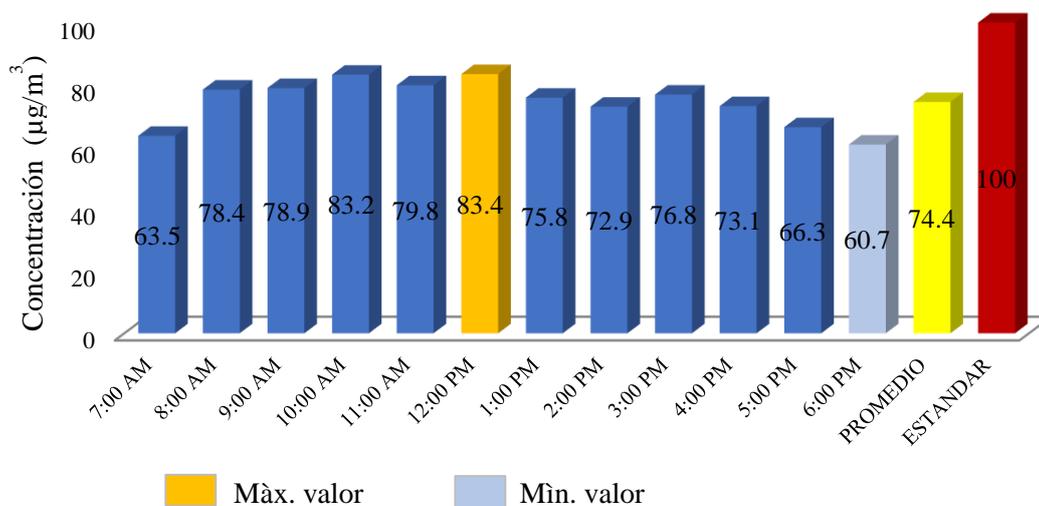
Hora de Control	Ubicación	Coordenadas		Altitud m.s.n.m	Fecha de monitoreo	Concentraciones de PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
		Norte	Este			
07: 00 a.m	Chancadora Ajipampa	9285099	733250	2109	03/04/2013	<b>21.17</b>
08: 00 a.m	Chancadora Ajipampa	9285099	733250	2109	03/04/2013	33.70
09: 00 a.m	Chancadora Ajipampa	9285099	733250	2109	03/04/2013	28.62
10: 00 a.m	Chancadora Ajipampa	9285099	733250	2109	03/04/2013	<b>36.65</b>
11: 00 a.m	Chancadora Ajipampa	9285099	733250	2109	03/04/2013	24.53
12: 00 p.m	Chancadora Ajipampa	9285099	733250	2109	03/04/2013	31.38
01:00 p.m	Chancadora Ajipampa	9285099	733250	2109	03/04/2013	31.18
02:00 p.m	Chancadora Ajipampa	9285099	733250	2109	03/04/2013	33.43
03:00 p.m	Chancadora Ajipampa	9285099	733250	2109	03/04/2013	33.37
04:00 p.m	Chancadora Ajipampa	9285099	733250	2109	03/04/2013	30.38
05:00 p.m	Chancadora Ajipampa	9285099	733250	2109	03/04/2013	31.95
06:00 p.m	Chancadora Ajipampa	9285099	733250	2109	03/04/2013	31.94
<b>PROMEDIO</b>						<b>30.70</b>



**Figura 18.** Comparación de Concentraciones de Partículas en Suspensión PM<sub>2.5</sub> -12h en Chancadora Ajipampa – abril 2013.

**Tabla 18.** Concentraciones de  $PM_{10}$  en Cantera El Molino – diciembre 2012.

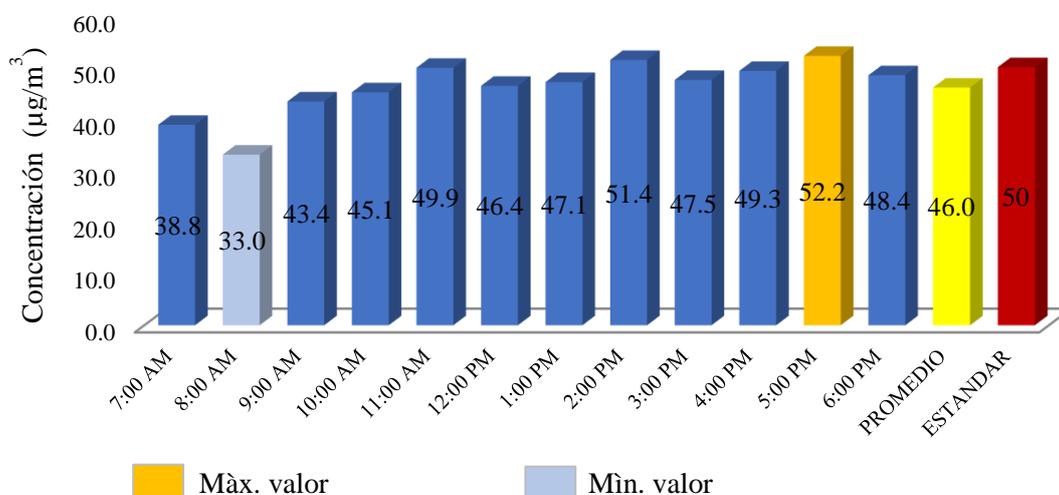
Hora de Control	Ubicación	Coordenadas		Altitud m.s.n.m	Fecha de monitoreo	Concentraciones de $PM_{10}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
		Norte	Este			
07: 00 a.m	Cantera El Molino	9283312	735623	1699	16/12/12	63.5
08: 00 a.m	Cantera El Molino	9283312	735623	1699	16/12/12	78.4
09: 00 a.m	Cantera El Molino	9283312	735623	1699	16/12/12	78.9
10: 00 a.m	Cantera El Molino	9283312	735623	1699	16/12/12	83.2
11: 00 a.m	Cantera El Molino	9283312	735623	1699	16/12/12	79.8
12: 00 p.m	Cantera El Molino	9283312	735623	1699	16/12/12	83.4
01:00 p.m	Cantera El Molino	9283312	735623	1699	16/12/12	75.8
02:00 p.m	Cantera El Molino	9283312	735623	1699	16/12/12	72.9
03:00 p.m	Cantera El Molino	9283312	735623	1699	16/12/12	76.8
04:00 p.m	Cantera El Molino	9283312	735623	1699	16/12/12	73.1
05:00 p.m	Cantera El Molino	9283312	735623	1699	16/12/12	66.3
06:00 p.m	Cantera El Molino	9283312	735623	1699	16/12/12	60.7
<b>PROMEDIO</b>						<b>74.40</b>



*Figura 19.* Comparación de Concentraciones de Partículas en Suspensión  $PM_{10}$  -12h en Cantera El Molino – diciembre 2012.

**Tabla 19.** Concentraciones de PM<sub>2.5</sub> en Cantera El Molino – abril 2013.

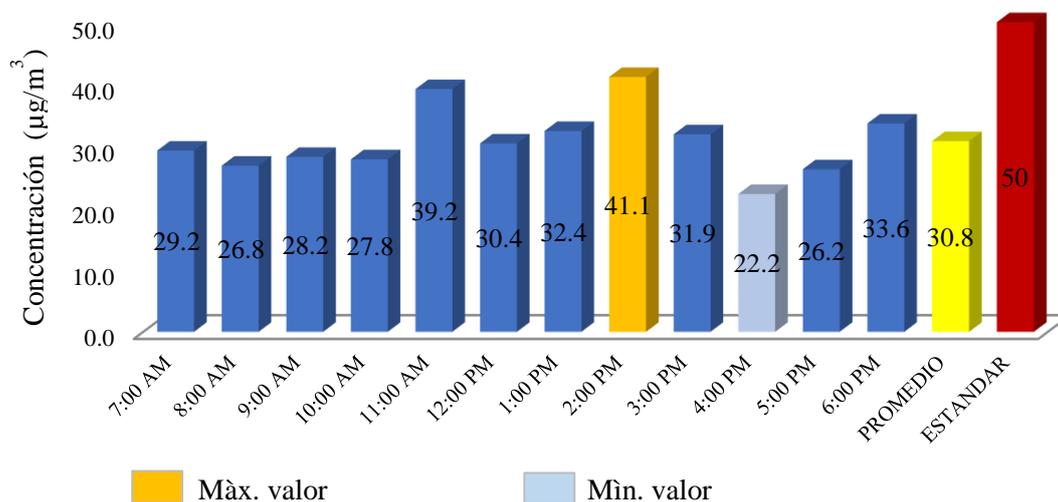
Hora de Control	Ubicación	Coordenadas		Altitud m.s.n.m	Fecha de monitoreo	Concentraciones de PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
		Norte	Este			
07: 00 a.m	Cantera El Molino	9283312	735623	1699	06/04/2013	38.81
08: 00 a.m	Cantera El Molino	9283312	735623	1699	06/04/2013	<b>33.03</b>
09: 00 a.m	Cantera El Molino	9283312	735623	1699	06/04/2013	43.35
10: 00 a.m	Cantera El Molino	9283312	735623	1699	06/04/2013	45.12
11: 00 a.m	Cantera El Molino	9283312	735623	1699	06/04/2013	49.88
12: 00 p.m	Cantera El Molino	9283312	735623	1699	06/04/2013	46.39
01:00 p.m	Cantera El Molino	9283312	735623	1699	06/04/2013	47.12
02:00 p.m	Cantera El Molino	9283312	735623	1699	06/04/2013	51.40
03:00 p.m	Cantera El Molino	9283312	735623	1699	06/04/2013	47.53
04:00 p.m	Cantera El Molino	9283312	735623	1699	06/04/2013	49.27
05:00 p.m	Cantera El Molino	9283312	735623	1699	06/04/2013	<b>52.19</b>
06:00 p.m	Cantera El Molino	9283312	735623	1699	06/04/2013	48.43
<b>PROMEDIO</b>						<b>46.00</b>



**Figura 20.** Comparación de Concentraciones de Partículas en Suspensión PM<sub>2.5</sub> -12h en Cantera El Molino – abril 2013.

**Tabla 20.** Concentraciones de  $PM_{2.5}$  en Plaza de armas Cochabamba – abril 2013.

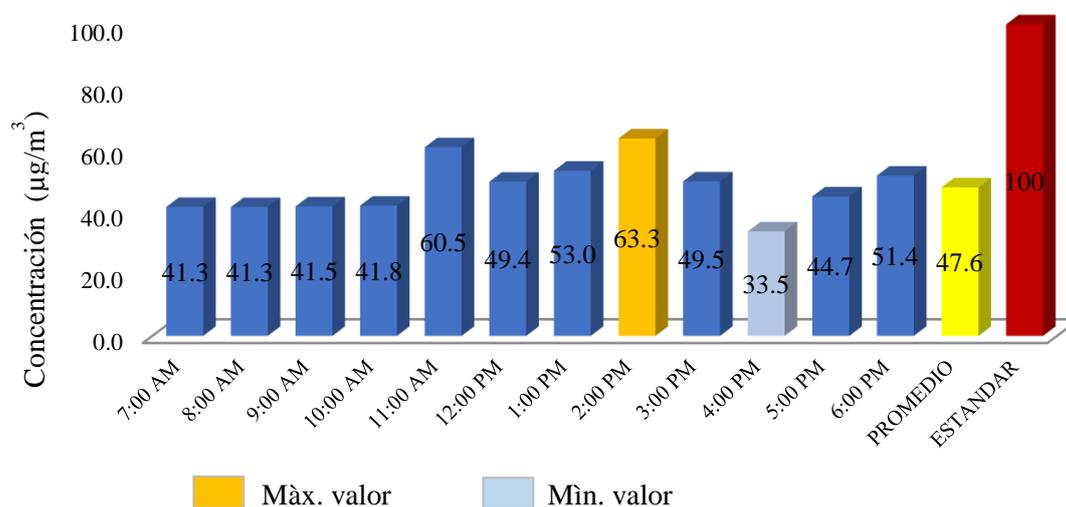
Hora de Control	Ubicación	Coordenadas		Altitud m.s.n.m	Fecha de monitoreo	Concentraciones de $PM_{2.5}$ ( $\mu g/m^3$ )
		Norte	Este			
07: 00 a.m	Plaza Armas Cochabamba	9283395	734860	1673	05/04/13	29.24
08: 00 a.m	Plaza Armas Cochabamba	9283395	734860	1673	05/04/13	26.81
09: 00 a.m	Plaza Armas Cochabamba	9283395	734860	1673	05/04/13	28.23
10: 00 a.m	Plaza Armas Cochabamba	9283395	734860	1673	05/04/13	27.83
11: 00 a.m	Plaza Armas Cochabamba	9283395	734860	1673	05/04/13	39.17
12: 00 p.m	Plaza Armas Cochabamba	9283395	734860	1673	05/04/13	30.40
01:00 p.m	Plaza Armas Cochabamba	9283395	734860	1673	05/04/13	32.41
02:00 p.m	Plaza Armas Cochabamba	9283395	734860	1673	05/04/13	<b>41.14</b>
03:00 p.m	Plaza Armas Cochabamba	9283395	734860	1673	05/04/13	31.87
04:00 p.m	Plaza Armas Cochabamba	9283395	734860	1673	05/04/13	<b>22.23</b>
05:00 p.m	Plaza Armas Cochabamba	9283395	734860	1673	05/04/13	26.23
06:00 p.m	Plaza Armas Cochabamba	9283395	734860	1673	05/04/13	33.63
<b>PROMEDIO</b>						<b>30.8</b>



**Figura 21.** Comparación de Concentraciones de Partículas en Suspensión  $PM_{2.5}$ -12h en Plaza de armas Cochabamba – abril 2013.

**Tabla 21 . Concentraciones de PM<sub>10</sub> en Plaza de armas Cochabamba – abril 2013.**

Hora de Control	Ubicación	Coordenadas		Altitud m.s.n.m	Fecha de monitoreo	Concentraciones de PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
		Norte	Este			
07: 00 a.m	Plaza Armas Cochabamba	9283395	734860	1673	05/04/13	41.34
08: 00 a.m	Plaza Armas Cochabamba	9283395	734860	1673	05/04/13	41.29
09: 00 a.m	Plaza Armas Cochabamba	9283395	734860	1673	05/04/13	41.51
10: 00 a.m	Plaza Armas Cochabamba	9283395	734860	1673	05/04/13	41.75
11: 00 a.m	Plaza Armas Cochabamba	9283395	734860	1673	05/04/13	60.50
12: 00 p.m	Plaza Armas Cochabamba	9283395	734860	1673	05/04/13	49.43
01:00 p.m	Plaza Armas Cochabamba	9283395	734860	1673	05/04/13	52.96
02:00 p.m	Plaza Armas Cochabamba	9283395	734860	1673	05/04/13	<b>63.32</b>
03:00 p.m	Plaza Armas Cochabamba	9283395	734860	1673	05/04/13	49.53
04:00 p.m	Plaza Armas Cochabamba	9283395	734860	1673	05/04/13	<b>33.50</b>
05:00 p.m	Plaza Armas Cochabamba	9283395	734860	1673	05/04/13	44.70
06:00 p.m	Plaza Armas Cochabamba	9283395	734860	1673	05/04/13	51.40
<b>PROMEDIO</b>						<b>47.6</b>



**Figura 22.** Comparación de Concentraciones de Partículas en Suspensión PM<sub>10</sub> -12h en Plaza de armas Cochabamba – abril 2013.

**Apéndice B.** Fotos de las estaciones de muestreo.



*Figura 23.* Estación de muestreo chancadora Doñana.



*Figura 24.* Estación plaza de armas de Lajas.