

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
ESCUELA PROFESIONAL DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA



DETERMINACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO MENOR A $10\ \mu\text{m}$ Y $2.5\ \mu\text{m}$, NITRATOS Y SULFATOS, Y SU RELACIÓN CON LA DISMINUCIÓN DE LA FUNCIÓN PULMONAR EN VENDEDORES AMBULANTES EXPUESTOS EN EL CENTRO HISTÓRICO DEL CUSCO.

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE QUÍMICO FARMACÉUTICO

PRESENTADO POR:

Br. Katherine Doris Cruz Ramos
Br. Roxana Salcedo Ccallohuanca

ASESORA: Mgt. Anahí Karina Cardona Rivero
CO ASESOR: Mgt. Julio Lucas Warthon Ascarza

Cusco-Perú

2019

DEDICATORIA

A Dios

Con todo amor, cariño, admiración y respeto a mis padres, Silvia y Pablo, por todos los momentos en los que estuvieron presentes, sabiendo que jamás será suficiente para agradecer una vida de lucha, sacrificio y esfuerzo constantes, este logro mío en realidad es un logro suyo.

A mis hermanos Juan Pablo y Mirian Marisol por hacer del camino de la vida más llevadero.

A mis amigos, con los cuales en este lapso del tiempo permitió que nuestros caminos se cruzaran para poder brindarnos el apoyo necesario.

A Roxana, porque solo tú sabes realmente el esfuerzo puesto.

Katherine Doris

DEDICATORIA

A Dios por mantener unida a mi familia a pesar de las adversidades, por permitirme cumplir mis sueños y ser mi guía cada día.

Con amor y cariño a mi familia:

A mis padres Oliva y Apolinar que con su esfuerzo y sacrificio fueron pilares fundamentales en mi formación profesional, y por sus sabios consejos para ser de mí una mejor persona.

A mis hermanos Yesica y Mishael por su confianza y compañía, nacimos del mismo árbol y aunque nuestras ramas crezcan en diferente dirección siempre nos unirán nuestras raíces.

A mis amigos por compartir sus conocimientos y experiencias de vida que fueron un ejemplo a seguir.

Roxana

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco por facilitarnos sus laboratorios y así poder finalizar con nuestra investigación y a la Escuela Profesional de Farmacia y Bioquímica por recibirnos en sus aulas. A los Docentes de la Escuela Profesional de Farmacia y Bioquímica por brindarnos sus conocimientos, que el día de hoy forman parte de nuestro desarrollo personal y profesional.

A nuestra asesora Mgt. Anahí Karina Cardona Rivero por brindarnos su ayuda, aliento y apoyo en todo momento durante la realización de nuestra tesis.

A nuestro Co-asesor Mgt. Julio Lucas Warthon Ascarza, por su apoyo en el monitoreo ambiental de la calidad del aire y brindarnos la confianza para el manejo de los equipos de laboratorio durante este proceso.

A la Dra. Natalie Verónica Rondinel Mendoza, por su apoyo en el procesamiento estadístico de los datos y su aliento para la culminación de la tesis.

A la Dra. Melvin R. Castro y Lic. Maritza del área de neumología del Hospital Regional del Cusco, al Dr. Donny Pari y Tec. Jefferson Diaz del servicio de neumología del Hospital de solidaridad sede Cusco por su apoyo y por brindarnos un espacio idóneo para organizarnos, sin ellos no hubiera sido posible la realización de la espirometría.

A las personas que se realizaron la espirometría por su confianza, tiempo. A los profesionales de diferentes municipalidades, Ing. Nuria Reynaga de la Municipalidad de San Sebastián por sus valiosos consejos académicos, Ing. Humberto Viveros y a todo el personal de la gerencia de Medio Ambiente de la Municipalidad del Cusco. A nuestros amigos de las diferentes Carreras profesionales de nuestra UNSAAC Ing. Edwin Usca, Prof. Rubén Ingles, Quim. Rosa Cahuatico, Mgt. Esther Alvarez, Hilda Espinoza, Roberto Tello, Juan Durán, Brayan Sotomoyo, Oliver Farfán, Milhuay Abarca y Juan Pablo Cruz por su tiempo, consejos y motivación constante.

Doris y Roxana

ÍNDICE

DEDICATORIA	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ABREVIATURAS	xii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 Planteamiento del Problema	2
1.2 Formulación del Problema	4
1.3 Objetivos	5
1.4 Limitaciones de la Investigación	6
1.5 Justificación e Importancia	6
1.6 Hipótesis	7
1.7 Aspectos Éticos	7

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1 Visión histórica	8
2.2 Antecedentes del Estudio	9
2.2.1 Antecedentes Internacionales.....	9
2.2.2 Antecedentes nacionales	18
2.2.3 Antecedentes locales	24
2.3 Bases teórico científicas.....	26
2.3.1 Concepto de toxicidad.....	26
2.3.2 Intoxicación.....	27
2.3.5 Contaminación Atmosférica	32
2.3.6 Contaminación del aire por partículas MP10 y MP2.5	33
2.3.7 Fuentes y Composición de las Partículas Gruesas (MP10).....	36
2.3.8 Fuentes y composición de las partículas finas (MP2.5)	37
2.3.9 Neutralización de ácidos en el aire	39
2.3.10 Composición de material particulado.....	42
2.3.11 Radicales libres	43
2.3.12 Estrés oxidativo y daño a estructuras celulares	44

2.3.13 Generación de ROS catalizada por metales de transición y peroxidación lipídica como daño celular	44
2.3.14 Anatomía de los Pulmones	45
2.3.15 Barreras de la mucosa respiratoria	48
2.3.16 Consecuencias del aire contaminado por partículas sobre la salud	51
2.3.17 Mecanismo de defensa de los pulmones frente a MP	55
2.3.18 Respuesta frente a material particulado	58
2.3.19 Mecanismos de daño tóxico producido por MP	62
2.3.20 Efectos específicos del material particulado en la función respiratoria	64
2.3.21 Medición de efectos en la función respiratoria de los contaminantes atmosféricos.....	65
2.3.22 Descripción geográfica del Centro Histórico del Cusco	65
2.3.23 Contaminación atmosférica en la ciudad del Cusco	68
2.3.24 Estándar de la calidad de aire (ECAS) en Perú	71
2.3.25 Directrices de la OMS sobre la Calidad del Aire	72
2.3.26 Parámetros meteorológicos e influencia en la contaminación atmosférica	73
2.3.27 Muestreadores activos de material particulado en suspensión	74
2.3.28 HIVOL	75
2.3.29 Selección del filtro para muestreo MP10 y MP2.5	77
2.3.30 Recomendaciones para realizar el monitoreo de material particulado	77
2.3.31 Espectrofotometría UV-visible	78
2.3.32 Espirometría.....	80
2.3.33 Valores normales, esperados o predichos de la función pulmonar	84
2.3.35 Función Pulmonar en la altura	87
2.3.35 Definición de Términos.....	88

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales	90
3.1.1 Materiales de laboratorio.....	90
3.1.2 Aparatos y equipo de laboratorio	90
3.1.3 Material de consultorio Médico	91
3.1.4 Reactivos.....	91
3.1.5 Materiales de campo	92
3.1.6 Materiales de escritorio	92
3.1.7 Software para el trabajo	92
3.2 Diseño metodológico	92
3.2.1 Ubicación y tiempo	92

A. Ubicación.....	92
B. Tiempo	93
3.2.2 Nivel y tipo de estudio	93
3.2.3 Población	94
3.2.4 Muestra	94
3.2.5 Tamaño muestral	94
3.2.6 Tipo de muestreo	95
3.3 Criterios de selección	95
3.4 Identificación y Operacionalización de variables	96
3.4.1 Variables intervinientes	96
3.4.1.1 Nivel de MP10 acumulado en filtros de cuarzo.....	96
3.4.1.2 Nivel de MP 2.5 acumulado en filtros de cuarzo.....	97
3.4.1.3 Concentración de nitratos presentes en MP10 y MP2.5 acumulados en filtros de cuarzo	97
3.4.1.4 Concentración de sulfatos presentes en MP10 y MP2.5 acumulados en filtros de cuarzo	98
3.4.1.5 Función pulmonar en vendedores ambulantes expuestos.....	98
3.4.1.6 Patrones espirométricos en la función pulmonar	99
3.4.1.7 Tiempo de permanencia diaria de los vendedores ambulantes	100
3.4.1.8 Tiempo de trabajo de los vendedores ambulantes	100
3.4.1.9 Zona de trabajo de los vendedores ambulantes	100
3.4.1.10 Edad	101
3.4.1.11 Consumo de cigarros	101
3.4.1.12 Uso de leña	102
3.4.1.13 Afección pulmonar.....	102
3.4.2 Variables no intervinientes	102
3.4.2.1 Género.....	102
3.4.2.2 Grado de instrucción	103
3.4.2.3 Discapacidad.....	103
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	109
3.5.1 Técnicas de recolección de datos.....	109
3.5.2 Instrumentos de recolección de datos	109
3.6 Técnica de procesamiento y análisis estadístico de datos	109
3.7 Procedimientos.....	110
3.7.1 Ubicación de los puntos de muestreo en el Centro Histórico del Cusco	110
3.7.2 Procedimiento para el análisis de filtros de MP2.5 y MP10.	111
3.7.3 Procedimiento para la medición de función pulmonar por espirometría.....	116

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Características de la población en estudio	120
4.2 Niveles de MP10 y MP2.5 en el Centro Histórico del Cusco	135
CONCLUSIONES.....	150
SUGERENCIAS.....	152
BIBLIOGRAFÍA.....	153

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 01	Principales fuentes de emisión de las partículas finas gruesas	39
Tabla N° 02	Componentes mayoritarios y minoritarios en material particulado.	43
Tabla N° 03	Niveles de emisiones para la cuenca atmosférica del Cusco (Ton/año).....	68
Tabla N° 04	Estándares nacionales de calidad ambiental del aire	72
Tabla N° 05	Valores fijados en las directrices para MP10 y MP2.5 por la OMS.	73
Tabla N° 06	Porcentaje de predicho al que corresponde el límite inferior de normalidad en varias ecuaciones de referencia.....	84
Tabla N° 07	Distribución de población y muestra de sujetos en estudio del Centro Histórico del Cusco. 2018.....	95
Tabla N° 08	Operacionalización de variables.....	104
Tabla N° 09	Coordenadas de los puntos de muestreo en el Centro Histórico del Cusco.....	110
Tabla N° 10	Características generales de los vendedores ambulantes participantes en el estudio del Centro Histórico del Cusco 2018.....	120
Tabla N° 11	Factores agravantes de la función pulmonar en vendedores ambulantes participantes en el estudio del Centro Histórico del Cusco.....	121
Tabla N° 12	Distribución de vendedores ambulantes expuestos según grupo etario y sector. 2018.....	122
Tabla N° 13	Distribución de vendedores ambulantes expuestos según horas de trabajo y sector 2018	122
Tabla N° 14	Distribución de vendedores ambulantes expuestos según años de trabajo y sector. 2018.....	123

Tabla N° 15	Valores espirométricos de vendedores ambulantes expuestos en el Centro Histórico del Cusco. 2018.....	124
Tabla N° 16	Valores espirométricos de vendedores ambulantes expuestos en el Centro Histórico del Cusco según género. 2018.....	126
Tabla N° 17	Valores espirométricos de vendedores ambulantes expuestos en el Centro Histórico del Cusco según sector. 2018.....	127
Tabla N° 18	Valores espirométricos de vendedores ambulantes expuestos en el Centro Histórico del Cusco según horas de trabajo. 2018.....	128
Tabla N° 19	Valores espirométricos de vendedores ambulantes expuestos en el Centro Histórico del Cusco según años de trabajo. 2018.....	129
Tabla N° 20	Valores espirométricos de vendedores ambulantes expuestos en el Centro Histórico del Cusco según grupo etario. 2018.....	130
Tabla N° 21	Distribución de patrones espirométricos de vendedores ambulantes expuestos en el Centro Histórico del Cusco por años de trabajo y sector. 2018.....	130
Tabla N° 22	Patrones espirométricos de vendedores ambulantes expuestos en el Centro Histórico del Cusco según grupo etario. 2018.....	131
Tabla N° 23	Distribución de patrones espirométricos de vendedores ambulantes expuestos en el Centro Histórico del Cusco por sectores. 2018.....	133
Tabla N° 24	Datos MP10 y MP2.5 por sectores del Centro Histórico del Cusco. 2018.....	135
Tabla N° 25	Relación lineal entre las variables en estudio, parámetros estimados y coeficientes de determinación.....	145
Tabla N° 26	Relación entre función pulmonar, nivel de material particulado y tiempo de trabajo en vendedores ambulantes expuestos en el Centro Histórico del Cusco.2018.....	149

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico N° 01	Tamaño de las partículas atmosféricas finas y gruesas.....	35
Gráfico N° 02	Emisión de contaminantes por el parque automotor en Cusco con emisiones fugitivas (Ton/año y %)......	70
Gráfico N° 03	Parque automotor en circulación en la ciudad del Cusco, 2004-2016.....	71
Gráfico N° 04	Espirometría simple.....	81
Gráfico N° 05	Espirometría forzada Flujo vs Volumen.....	83
Gráfico N° 06	Espirometría forzada Volumen vs Tiempo.....	84
Gráfico N° 07	%FEV1/FVC comparado con LIN de vendedores ambulantes expuestos en el Centro Histórico del Cusco por género. 2018.....	134
Gráfico N° 08	Nivel de MP10 y MP2.5 en distintos sectores de monitoreo y promedios generales comparado con ECA establecido por MINAM en Perú. 2018.....	138
Gráfico N° 09	Nivel de MP10 y MP25 por sectores de monitoreo y promedio general comparado con ECA establecido por la OMS. 2018.....	140
Gráfico N° 10	Concentración de nitratos y sulfatos en MP10 y MP2.5 por sectores de monitoreo del Centro Histórico del Cusco. 2018.....	142
Gráfico N° 11	Promedio general de concentraciones de nitratos y sulfatos en MP10 y MP2.5 en el Centro Histórico del Cusco. 2018.....	143
Gráfico N° 12	Relación entre FVC (%) versus nivel de MP10 y MP 2.5.....	146
Gráfico N° 13	Relación entre FEV1 (%) versus nivel de MP10 y MP 2.5.....	147

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 01	Rutas que sigue un tóxico en el organismo.....	32
Figura N° 02	Fuentes de Material Particulado.....	36
Figura N° 03	Neutralización de ácidos en el aire.....	41
Figura N° 04	Esquema de dicotomización de la vía aérea desde la tráquea hasta los sacos alveolares.....	45
Figura N° 05	Ilustración del sistema respiratorio.....	46
Figura N° 06	Estructuras de las vías aéreas.....	46
Figura N° 07	Estructura microscópica de la pared alveolar.....	47
Figura N° 08	Estructura de células M y producción de IgA en sitios inductores...	50
Figura N° 09	Componentes de la mucosa respiratoria.....	51

Figura N° 10	Diferencia entre adsorción y absorción de moléculas sobre una partícula atmosférica y dentro de ella.....	53
Figura N° 11	Representación de las diversas regiones del aparato respiratorio humano.....	58
Figura N° 12	Respuesta inflamatoria pulmonar por MP10.....	60
Figura N° 13	Factores asociados al balance (+/-) entre el estrés oxidativo, respuesta inmune del organismo y los procesos inflamatorios del sistema respiratorio.....	63
Figura N° 14	Ubicación de los puntos de muestreo en el Centro Histórico del Cusco.....	67
Figura N° 15	Corte transversal del muestreador de alto volumen (HiVol).....	76
Figura N° 16	Camino de flujo de aire por el muestreador de alto volumen.....	76
Figura N° 17	Transiciones electrónicas.....	79
Figura N° 18	Paso de la luz a través de una solución.....	79

LISTA DE FLUJOGRAMAS

Flujograma N° 01	Patrones espirométricos	86
Flujograma N° 02	Esquema general del procedimiento de análisis.....	111
Flujograma N° 03	Resumen de procedimiento para el análisis de material particulado de filtros de MP2.5 y MP10	113
Flujograma N° 04	Resumen de método para la determinación de nitratos.....	115
Flujograma N° 05	Resumen de método para la determinación de sulfatos.....	116
Flujograma N° 06	Resumen de prueba de espirometría para medición de la función.....	119

LISTA DE ANEXOS

Anexo N° 01	Ficha de recolección de datos de vendedores ambulantes.....	163
Anexo N° 02	Hoja de datos de espirometría.....	164
Anexo N° 03	Hoja de registro de datos y cálculos de material particulado.....	166
Anexo N° 04	Validaciones.....	167
Anexo N° 05	Resultados de factores de la función pulmonar, valores y patrones espirométricos.....	170
Anexo N° 06	Resultados de análisis de nitratos y sulfatos en MP2.5 y MP10 en las cinco zonas de muestreo.....	171
Anexo N° 07	Resultados de concentración de sulfatos y nitratos en MP10 y MP2.5.....	176
Anexo N° 08	Datos meteorológicos para CLAS Wanchaq.....	176
Anexo N° 09	Datos meteorológicos en Plaza San Francisco.....	177
Anexo N° 10	Datos meteorológicos en Plaza Limacpampa	177
Anexo N° 11	Datos meteorológicos en Plaza Pumaqchupan.....	178
Anexo N° 12	Datos meteorológicos en Calle Ayacucho-Calle Matara	178
Anexo N° 13	Regresiones lineales entre las variables medidas	179
Anexo N° 14	Matriz de correlación de Pearson entre las variables	184
Anexo N° 15	Entrega de resultados de monitoreo de MP10 y MP2.5 a la Municipalidad de Wanchaq.....	185
Anexo N° 16	Características generales y factores agravantes de los vendedores participantes en el estudio del Centro Histórico del Cusco	186
Anexo N° 17	Archivo fotográfico	187

ABREVIATURAS

ACs	: Anticuerpos
CE	: Carbono Elemental
CO	: Carbono Orgánico
COV	: Compuestos Orgánicos Volátiles
CONAM	: Consejo Nacional del Ambiente
BALT	: Tejido linfoide asociado al árbol bronquial en inglés <i>Broncus Associated Lymphoid Tissues</i>
CAT	: Catalasa
DCs	: Células dendríticas
DIGESA	: Dirección General de Salud
ECA	: Estándar Nacional de Calidad del Aire
EPA	: Agencia de Protección Ambiental de E.E. U.U. en inglés <i>Environmental Protection Agency</i> o USEPA
EPOC	: Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica
FNT α	: Factor de necrosis tumoral alfa
FVC	: Capacidad Vital Forzada en inglés <i>Forced Vital Capacity</i>
FEV1	: Volumen Espiratorio Máximo en el primer segundo en inglés <i>Forced Expiratory Volume1</i>
GPX	: Glutación peroxidasa
Grd	: Glutación reductasa
GSH	: Glutación reducido
HPA	: Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
IL	: Interleucina
INE- SEMARNAT	: Instituto Nacional de Ecología – Secretaría de medio ambiente y recursos naturales de México
LIN	: Límite Inferior Normal
Ls	: Linfocitos
MALT	: Tejido linfoide asociado a la mucosa en inglés <i>Mucosa Associated Lymphoid Tissue</i>
MINAM	: Ministerio del Ambiente
MPS	: Material Particulado Suspendido

MP	: Material Particulado
MP2.5	: Material Particulado Menor a 2.5 μm
MP10	: Material Particulado Menor a 10 μm
NHANES	: Encuesta nacional de examen de salud y nutrición en inglés <i>National Health and Nutrition Examination Survey</i>
OMS	: Organización Mundial de Salud
PEDs	: Partículas de escape diésel
PRAL	: Programa Regional Aire Limpio
PST	: Partículas Suspendidas Totales
PEF	: Pico Flujo Espiratorio
RNS	: Especies reactivas de nitrógeno en inglés <i>reactive nitrogen species</i>
ROS	: Especies reactivas de oxígeno en inglés <i>reactive oxygen species</i>
SOD	: Superóxido dismutasa
UTM	: Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator, en inglés <i>Universal Transverse Mercator</i>

RESUMEN

El objetivo fue determinar el material particulado menor a 10 μm (MP10), 2.5 μm (MP2.5), nitratos, sulfatos presentes y relacionar con la disminución de la función pulmonar de los vendedores ambulantes expuestos en el Centro Histórico del Cusco.

Para lo cual se realizó un estudio de tipo descriptivo, correlacional de corte transversal de Enero a Junio del 2018. Se recolectó MP10 y MP2.5 en cinco puntos del Centro Histórico de Cusco, fueron analizados en el laboratorio por método gravimétrico, para nitratos y sulfatos por método espectrofotométrico. Seguidamente se evaluó la función pulmonar por espirometría en vendedores ambulantes expuestos a través de la medición de Capacidad Vital Forzada (FVC en litros), volumen espiratorio forzado en el primer segundo (FEV1 en litros), porcentaje de la Capacidad Vital Forzada (%FVC), porcentaje del volumen espiratorio forzado en el primer segundo (%FEV1) y cociente entre ambos (%FEV1/FVC). Finalmente se relacionó los niveles de MP10 y MP2.5, concentración de nitratos y sulfatos presentes en los mismos, con la función pulmonar por medio de modelos de regresión lineal.

Como resultado se obtuvo que el promedio de MP10 fue 35.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y de MP2.5 fue 47.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La concentración de nitratos en MP10 y MP2.5 fue 0.26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 0.35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; y de sulfatos fue 1.80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 1.32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. El promedio de MP10 no supera el Estándar de Calidad Ambiental de la OMS y MINAM, mientras que el promedio de MP2.5 supera el Estándar de Calidad Ambiental de la OMS más no del MINAM.

La media de la Capacidad Vital Forzada (FVC) fue de 3.01L \pm 0.85, volumen espiratorio forzado en el primer segundo (FEV1) fue de 2.48L \pm 0.71 y el cociente entre ambos (FEV1/FVC) fue 82.53% \pm 6.26. Los promedios de los porcentajes de la capacidad vital forzada (%FVC) y volumen espiratorio forzado en el primer segundo (%FEV1) fueron 105.10% y 106.55% respectivamente. Se obtuvo 20% con patrón obstructivo y 80% con patrón normal.

En conclusión no hubo relación significativa entre el nivel de MP10, MP2.5, nitratos y sulfatos presentes con FVC (%) y FEV1 (%).

Palabras claves: Función pulmonar, FVC, FEV1, FEV1/FVC, nitratos, sulfatos, material particulado menor a 10 μm , material particulado menor a 2.5 μm , vendedor ambulante.

ABSTRACT

The objective was to determine the particulate material less than 10 μm (PM10), 2.5 μm (PM2.5), nitrates, sulfates present and the relationship with the decrease in lung function of street vendors in the historic center of Cusco.

For which a descriptive, correlational, cross-sectional, prospective study was conducted from January to June 2018. PM10 and PM2.5 were collected in five points of the historical center of Cusco, analyzed in the laboratory by gravimetric method, for nitrates and sulfates by spectrophotometric method. Then lung function was assessed by spirometry in street vendors through the forced vital capacity, forced expiratory volume in the first second (FEV1 in liters), percentage of forced vital capacity (% FVC), percentage of forced expiratory volume in the first second (% FEV1) and quotient between both (% FEV1/FVC). Finally, the levels of PM10 and PM2.5, the concentration of nitrates and sulfates present in them were related with lung function through linear regression models.

As a result, the PM10 average was 35.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and PM2.5 was 47.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. The concentration of nitrates in PM10 and PM2.5 was 0.26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 0.35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; and of sulfates was 1.80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 1.32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectively. The PM10 average does not exceed the WHO and MINAM Environmental Quality Standard while the PM2.5 average exceeds the WHO-EQS no more the EQS-MINAM.

The mean of forced vital capacity (FVC) was 3.01L \pm 0.85, forced expiratory volume in the first second (FEV1) was 2.48L \pm 0.71 and the quotient between both (FEV1/FVC) was 82.53% \pm 6.26. The averages of the percentages of the forced vital capacity (% FVC) and the forced expiratory volume in the first second (% FEV1) were 105.10% and 106.55% respectively. We obtained 20% with an obstructive pattern and 80% with a normal pattern.

In the conclusion there was not significant relationship between the level of PM10, PM2.5, nitrates and sulfates present with FVC (%) and FEV1 (%).

Key words: Pulmonary function, FVC, FEV1, FEV1/FVC, nitrates, sulphates, particulate material less than 10 μm , particulate material less than 2.5 μm , street vendor.

INTRODUCCIÓN

El mayor crecimiento poblacional, migración y aumento de la capacidad adquisitiva de autos incrementa el parque automotor en la ciudad del Cusco, lo que conlleva al aumento de la cantidad de gases contaminantes producidos por la quema de combustibles, los cuales son un riesgo para la salud humana y el medio ambiente.

Esto genera enfermedades cardiovasculares, broncorespiratorias (bronquitis, neumonías, asma bronquial) procesos alérgicos severos, irritaciones nasofaríngeas y oculares, generalmente a mediano plazo y en la mayoría de casos no provocan la muerte (1).

El ambiente cambia constantemente junto con el progreso industrial, chimeneas, fábricas, incendios forestales, sustancias irritantes como disolventes, pinturas y resinas que aumentan la concentración de partículas y gases tóxicos, como el dióxido de nitrógeno (NO_2), monóxido de carbono (CO); el crecimiento del parque automotor, el uso indiscriminado de aerosoles y el mal manejo de desechos afectan directamente las vías respiratorias, especialmente en procesos crónicos, asmáticos y en enfermos cardiovasculares (2). El pulmón es un blanco para las enfermedades ambientales y una vía de penetración para los contaminantes atmosféricos, que pueden ser responsables de patología extrarrespiratoria, el 70% del aire inspirado llega hasta los alvéolos (2).

El Artículo 2° inciso 22 de la Constitución Política del Perú establece, que es deber primordial del Estado garantizar el derecho de toda persona a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida. Así mismo, el Artículo 67° señala que el Estado determina la política nacional del ambiente y promueve el uso sostenible de los recursos naturales (3). La Ley N° 26821, establece la responsabilidad del estado de promover el aprovechamiento sostenible de la atmósfera y su manejo racional, teniendo en cuenta su capacidad de renovación (3).

El material particulado proveniente de la contaminación atmosférica, según estudios realizados, es el causante de enfermedades pulmonares y respiratorias; y que ésta se debe a la composición química variada y a su vez tóxica para nuestro organismo en especial los pulmones. Este es el motivo por el cual se realizó el presente trabajo de investigación en la que se determinó material particulado menor a $10\ \mu\text{m}$ y $2,5\ \mu\text{m}$, nitratos y sulfatos presentes en los mismos, y se relacionó con la disminución de la función pulmonar en vendedores ambulantes expuestos en el Centro Histórico del Cusco.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 Planteamiento del Problema

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 presentes en suspensión en la atmósfera, que se originan a partir de una gran variedad de fuentes naturales o antropogénicas (4).

De forma cualitativa las partículas individuales se clasifican en gruesas o finas según si sus diámetros son mayores o menores de $2.5\mu\text{m}$, respectivamente (5).

En el rango de partículas finas se encuentran los aerosoles primarios del carbón, y aerosoles secundarios resultado de transformaciones químicas seguidas por procesos de condensación. Las partículas gruesas (MP10) son predominantemente de origen natural o geológico. Pueden ser por ejemplo esporas, polen, suelos, partículas de hojas, polvos generados por el tráfico o producto del desgaste de las plantas y partículas de emisiones industriales. En la superficie de estas partículas pueden adsorberse otras especies contaminantes, por lo tanto la composición química del material particulado es muy complejo y variado los cuales son perjudiciales para la salud pública (5).

Los nitratos y sulfatos son unos de los iones inorgánicos mayoritarios que se forman a partir de SO_2 y NO_2 , se encuentran usualmente como sulfato de amonio, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, y nitrato de amonio, NH_4NO_3 (6). La probabilidad general de la formación de nitratos de arilalquilo es baja en comparación con los nitratos de alquilo. Sin embargo, cantidades medibles de nitratos de arilalquilo se encuentran en el aire influenciado por el parque automotor. El nitrato de bencilo es el compuesto dominante en este grupo y se encuentra en niveles de $10\text{-}300\text{ ng/m}^3$ en el aire urbano (7).

El abanico de los efectos del material particulado en la salud pública es amplio, tanto en poblaciones urbanas, en los países desarrollados como en desarrollo; se producen en particular en los sistemas respiratorio y cardiovascular, pero la susceptibilidad a la contaminación puede variar con la

salud o la edad. Se ha demostrado que el riesgo de diversos efectos aumenta con la exposición y hay pocas pruebas que indiquen un umbral por debajo del cual no se puede prever efectos adversos en la salud. Las pruebas epidemiológicas ponen de manifiesto efectos adversos del material particulado (MP) tras exposiciones tanto breves como prolongadas (8).

En otra evaluación, la OMS indica que son 2 millones las muertes prematuras que se pueden atribuir cada año a los efectos de la contaminación del aire en espacios abiertos urbanos y cerrados (8), sin embargo en los últimos años la OMS estima que un 72% de las defunciones prematuras relacionadas con la contaminación del aire exterior en 2012 se debieron a cardiopatía isquémica y accidente cerebrovascular, mientras que un 14% se debieron a neumopatía obstructiva crónica o infección aguda de las vías respiratorias inferiores, y un 14% a cáncer de pulmón (9).

En China la existencia de MP2.5 afecta drásticamente la calidad del aire y la visibilidad, aunque representa una parte bastante pequeña de la atmósfera. En comparación con MP10, MP2.5 se caracteriza por un diámetro más pequeño, área más grande, actividad más fuerte, portador más fácil de sustancias nocivas como metales pesados y microbios, más tiempo de suspensión en la atmósfera y mayor distancia a entregar, por lo tanto, MP 2.5 tiene un efecto más significativo en la salud humana y la calidad de la atmósfera (10).

En Londres evidenciaron que MP10 y MP2.5 estaba asociado a la mortalidad diaria y admisiones hospitalarias particularmente cardiovasculares, mientras que nitratos y sulfatos estaban relacionados con admisiones hospitalarias respiratorias (11). En las ciudades de Wuhan-Zhuhai el nivel de contaminantes promedio de las exposiciones a NO₂, MP10, O₃ y MP2.5 se asoció significativamente con las reducciones de FVC y FEV1 (12).

A nivel nacional en Tarapoto se encontró influencia de la concentración de MP10 sobre las enfermedades respiratorias (13).

El Informe Nacional del Estado del Ambiente 2009-2011 indica que la contaminación del aire es uno de los principales problemas ambientales del Perú y señala que el parque automotor es la mayor fuente de contaminación

del aire en el país, además se ha evidenciado una relación directa entre el incremento del número de vehículos y la contaminación del aire (14) debido al uso de combustible de mala calidad, antigüedad de los vehículos e industrias (ladrilleras en Cusco) (15).

Las partículas MP 2.5 anuales en el periodo 2001–2011 en Lima, han tenido un promedio de aproximadamente $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (16); el cual está por encima del Estándar de Calidad Ambiental recomendado por la OMS ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y Perú ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Según el Informe Nacional de Calidad de Aire del 2012-2014 resultó que una de las ciudades que presentó mayores valores de MP10 y MP2.5 fue Cusco (14). Actualmente DIRESA Cusco no cuenta con resultados del monitoreo de calidad de aire de MP2.5 (partículas más perjudiciales), sin embargo la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco en 2016 como parte de una investigación obtuvieron niveles elevados de MP2.5 y MP10 en varios puntos de la ciudad del Cusco (17) , estos antecedentes indican que nuestra ciudad estaría en alto riesgo de padecer enfermedades respiratorias.

Se considera que el aire limpio es un requisito básico de la salud y el bienestar humano, sin embargo su contaminación sigue representando una amenaza importante para la salud en todo el mundo.

Los vendedores ambulantes son una población de riesgo debido a su exposición permanente al material particulado proveniente de la contaminación atmosférica, ya que ésta se debe principalmente a la quema de combustibles de mala calidad, antigüedad de los vehículos y que viene empeorando con el crecimiento del parque automotor en los últimos años. Por tal motivo el objetivo del presente estudio fue determinar el material particulado menor a $10 \mu\text{m}$ y $2.5 \mu\text{m}$, nitratos y sulfatos presentes en el mismo y relacionar con la disminución de la función pulmonar en vendedores ambulantes expuestos en el Centro Histórico del Cusco.

1.2 Formulación del Problema

¿Estarán relacionados el material particulado menor a $10 \mu\text{m}$ y $2.5 \mu\text{m}$, nitratos y sulfatos presentes con la disminución de la función pulmonar en vendedores ambulantes expuestos en el Centro Histórico del Cusco?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Determinar el material particulado menor a 10 μm y 2.5 μm , nitratos y sulfatos presentes, y relacionar con la disminución de la función pulmonar en vendedores ambulantes expuestos en el Centro Histórico del Cusco.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Identificar el tiempo de permanencia diaria, zona de trabajo, tiempo de trabajo, edad, género, hábito a fumar y afecciones pulmonares en vendedores ambulantes expuestos en el Centro Histórico del Cusco.
2. Evaluar la función pulmonar por espirometría a través de la medición de los valores espirométricos FVC (L), FEV1 (L), FVC (%) del predicho, FEV1 (%) del predicho, FEV1/FVC (%) e identificar los patrones espirométricos en vendedores ambulantes expuestos en el Centro Histórico del Cusco.
3. Determinar los niveles de material particulado menor a 10 μm y 2.5 μm en el aire acumulados en filtros de cuarzo en el Centro Histórico del Cusco y comparar con los estándares nacionales e internacionales.
4. Determinar la concentración de nitratos presentes en material particulado menor de 10 μm y 2.5 μm del aire acumulados en filtros de cuarzo por el método de espectrofotometría UV.
5. Determinar la concentración de sulfatos presentes en material particulado menor de 10 μm y 2.5 μm del aire acumulados en filtros de cuarzo por el método de espectrofotometría UV.
6. Relacionar los niveles de material particulado menor a 10 μm y 2.5 μm en el aire, concentración de nitratos y sulfatos presentes en el material particulado, con la función pulmonar de los vendedores ambulantes expuestos en el Centro Histórico del Cusco.

7. Relacionar los niveles de material particulado menor a 10 μm , menor a 2.5 μm y años de trabajo con la función pulmonar de los vendedores ambulantes expuestos en el Centro Histórico del Cusco.

1.4 Limitaciones de la Investigación

- Falta de disponibilidad de tiempo de los vendedores ambulantes para la realización de la prueba de espirometría, por lo que se tuvo que adaptarse al horario de trabajo de los mismos ocasionando prolongación del estudio.

1.5 Justificación e Importancia

De conocimiento: Permite conocer cuál es la relación entre MP10, MP 2.5, nitratos, sulfatos presentes en material particulado provenientes de la contaminación del aire con la función pulmonar en vendedores ambulantes del Centro Histórico del Cusco, quienes realizan sus actividades en inmediaciones del parque automotor. La importancia también se debe a la falta de estudios científicos toxicológicos de este tipo en nuestra región que estén sustentados debidamente por Químicos Farmacéuticos quienes tienen la función de realizar análisis toxicológicos, en este caso toxicología ambiental.

De aplicabilidad: Conociendo la real dimensión de la exposición a MP10, MP 2.5, nitratos, sulfatos presentes en material particulado, emanados por el tráfico vehicular y su relación con la función pulmonar de los vendedores ambulantes, se pueden implementar programas en salud pública para disminuir el impacto que tiene la contaminación del aire, promocionar tecnologías limpias y disminuir la contaminación del aire para que este problema de salud pública se pueda solucionar con el transcurso del tiempo.

De prioridad: El motivo para realizar la investigación es demostrar técnicamente que MP10 y MP 2.5 acumulados en los filtros de cuarzo; nitratos y sulfatos obtenidos en los mismos filtros son uno de los factores que afectan la función pulmonar de los vendedores ambulantes. Así también la preocupación por el impacto del material particulado sobre la

salud de la población y su exposición a largo plazo debido al constante crecimiento del parque automotor.

Otro motivo importante es resaltar el rol que tiene el Químico Farmacéutico en la toxicología ambiental, ya que por **Ley N° 28173** tiene la función de realizar análisis toxicológicos, incluso uno de los campos de actuación es la salud ocupacional y ambiental, en donde participa mediante la promoción y protección de la salud de los trabajadores y de la población expuesta a los daños en los centros de trabajo y el ambiente externo (18).

Existen numerosos grupos de investigación dentro de las distintas ciencias de la salud que desarrollan estudios del tipo epidemiológicos y/o toxicólogos asociados al particulado atmosférico y sus componentes principales (5).

1.6 Hipótesis

El material particulado menor a 10 μm y 2,5 μm , nitratos y sulfatos presentes, tienen relación con la disminución de la función pulmonar en vendedores ambulantes expuestos en el Centro Histórico del Cusco.

1.7 Aspectos Éticos

Un principio ético clave es el del consentimiento informado y la autodeterminación, es decir la libertad de elegir si desea o no participar. Por lo tanto, los participantes en la presente investigación recibieron la información adecuada, según los objetivos de la misma, los posibles riesgos asociados y los usos a los que serán destinados los datos recogidos. La participación fue totalmente voluntaria y aceptada con el pleno conocimiento de los beneficios y los costes en casos en que los investigadores podrían tener una influencia inadecuada en los participantes en la investigación (19).

Según la guía nacional para la constitución y funcionamiento de los comités de ética en investigación en el Perú, documento técnico Lima 2012, se considera los siguientes principios: autonomía, beneficencia, no maleficencia, justicia y vulnerabilidad (20).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1 Visión histórica

Al parecer el primer registro sobre regulaciones en relación a la contaminación del aire fue un decreto real en Inglaterra del siglo XIV para reducir el uso del carbón. Fueron observadas altas correlaciones entre el humo negro provenientes de las chimeneas, la reducción de la visibilidad, las deposiciones negras sobre edificios, vestimenta y malestar respiratorio. El atacamiento de normas reguladoras sobre la contaminación del aire se basó durante mucho tiempo en observaciones visuales y aún hoy la opacidad es utilizada para medir emisiones de motores diésel o industriales en general (21).

En la década de 1970, ya se había establecido un vínculo entre las enfermedades respiratorias y la contaminación atmosférica de partículas y/o de óxido de azufre, pero seguía existiendo desacuerdo en cuanto al nivel de contaminación que afectaría significativamente la salud humana. Al revisar las investigaciones publicadas entre 1968 y 1977, científicos de Holanda y otros llegaron a la conclusión de que las partículas y la contaminación atmosférica vinculada a niveles elevados plantean riesgos para la salud humana, pero que los efectos de la contaminación por partículas en concentraciones más bajas no podrían estar "desligada" de los efectos sobre la salud (22).

En 1970, en el Acta del Aire Limpio para proteger la salud pública en los Estados Unidos fueron autorizados los Estándares Nacionales de Calidad de Aire (NAAQS, por sus siglas en inglés). Estos estándares están establecidos para el monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, ozono, contenido de plomo en el material particulado de suspensión y cantidad neta del polvo en suspensión. Cada uno de los estándares relaciona un compuesto químico específico excepto el de las partículas suspendidas que se refiere a fracción menor a 10 micrómetros y menor a 2.5 micrómetros respectivamente (21).

2.2 Antecedentes del Estudio

2.2.1 Antecedentes Internacionales

- **Richard W. Atkinson et al. 2010, “Métrica de Partículas Ambientales Urbanas y Salud”, Londres. Objetivo:** Investigar las asociaciones de una variedad de métricas de partículas con muertes diarias y admisiones hospitalarias en Londres. **Métodos:** Concentraciones diarias de masa de partículas (MP10, MP2.5 y MP10-2.5) fueron medidas usando muestreadores gravimétricos y se obtuvieron de una estación de monitoreo de fondo en el centro de Londres entre 2000 y 2005. La composición de partículas (carbono, sulfato, nitrato y cloruro) se analizaron por cromatografía iónica. Recolectaron todas las causas y las muertes específicas por causas y los ingresos de emergencia al hospital de Londres durante el mismo período. En el análisis se utilizó un modelo de regresión temporal de Poisson. **Resultados:** Los resultados no fueron consistentes en los diversos resultados y rezagos. Encontraron un promedio de MP10 de 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y MP2.5 de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La concentración del número de partículas se asoció con la mortalidad diaria y las admisiones, particularmente para enfermedades cardiovasculares en un día; los aumentos en la concentración del número de partículas (10.166 n/cm^3) se asociaron con un aumento del 2.2% (intervalo de confianza del 95%, 0.6% a 3.8%) y del 0.6% (0.4% a 1.7%) en el riesgo cardiovascular muertes y admisiones, respectivamente. Los contaminantes secundarios, especialmente la MP2.5 no primarios, el nitrato y el sulfato, fueron más importantes para los resultados respiratorios. La evidencia más fuerte se observó para las relaciones de nitrato y sulfato con ingresos respiratorios en el grupo de mayores a 65 años de edad. **Conclusiones:** Se proporcionó cierta evidencia de que los componentes específicos de la mezcla de partículas para los contaminantes del aire pueden ser relevantes para enfermedades específicas. Sin embargo, la interpretación debe ser cautelosa, en particular porque las exposiciones se basaron en datos de un único sitio de monitoreo ubicado en el centro (11).

- **Estevez-García J., 2010 “Exposición Laboral a Contaminación Atmosférica: Material Particulado y Efectos Respiratorios en la Salud de Policías de Tránsito de Bogotá, Colombia”.** **Objetivo:** Determinar la prevalencia de efectos respiratorios en policías de tránsito de Bogotá expuestos ocupacionalmente al MP10 durante el periodo de estudio. **Método:** Se hizo el estudio con 574 policías, 477 con funciones operativas (grupo expuesto) y 97 con funciones administrativas (grupo no expuesto) que laboran en el área metropolitana a quienes se les presento un cuestionario síntomas respiratorios, examen clínico toxicológico, espirometría y monitoreo personal al MP10. **Resultados:** Los niveles promedio de MP10 fueron mayores en el grupo operativo (139.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) respecto al administrativo (86.03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Los valores promedio de MP10 en los grupos de estudio, no excedieron los límites permisibles para ambientes laborales (3 mg/m^3 de partículas respirables < 10 μm) para población ocupacionalmente expuesta).

Los valores de los parámetros de la función pulmonar para el personal operativo fue: Capacidad vital forzada CVF (litros) 4.83 ± 0.82 ; Volumen espiratorio forzado 1er segundo VEF (litros) 3.99 ± 0.67 ; capacidad vital CV (litros) 4.79 ± 0.82 . En el personal administrativo fueron capacidad vital forzada CVF (litros) 4.62 ± 0.84 ; volumen espiratorio forzado 1er segundo VEF (litros) 4.82 ± 0.66 ; capacidad vital CV (litros) 3.89 ± 0.69 .

El patrón obstructivo fue el más prevalente con 5.9%, 1.7% patrón mixto y 0.8% patrón de restricción en el grupo operativo. En el grupo administrativo 3.1% tubo patrón de obstrucción, 1.0% patrón mixto y 2.1% patrón restrictivo. El diagnóstico de alteración respiratoria baja y alta fueron más prevalentes en el grupo operativo. El reporte de síntomas respiratorios mostró mayor prevalencia de tos expectoración y rinosinusitis en el grupo operativo; en el reporte de signos el grupo operativo presentó mayor prevalencia de irritación nasal respecto a los administrativos. **Conclusión:** Los policías de tránsito son una población vulnerable al daño del MP10, siendo necesarias estrategias de protección laboral y seguimiento ocupacional (23).

- **Quiroz C., 2011 “Prevalencia de alteraciones en la función pulmonar de la población residente vecina a dos fábricas, Corregimiento La**

Sierra, Municipio de Puerto Nare (Antioquia, Colombia)”. Objetivo: Determinar la función pulmonar y las condiciones de exposición a material particulado producido por dos fábricas en 264 residentes en el Corregimiento La Sierra del municipio de Puerto Nare, departamento de Antioquia, en el 2008. **Métodos:** Se realizó espirometría y se aplicó un cuestionario de síntomas respiratorios. Se midieron MP10, la temperatura, humedad, dirección del viento y precipitación en 6 meses. **Resultados:** 7.2% de las personas presentó el porcentaje del volumen espiratorio forzado (VEF) menor de 70%, 27.7% y 28% presentaron el volumen espiratorio forzado del primer segundo (VEF1) y la capacidad vital forzada (CVF) menor de 80% respectivamente. El mayor número de personas evaluadas con %VEF < 70% vive en los cuatro barrios vecinos a las empresas. Se encontró asociación estadística entre un índice de masa corporal mayor de 25 y CVF < de 80% ($p < 0.0009$), tiempo de residencia y CVF < de 80%. La concentración promedio de MP10 durante el periodo de los seis meses fue de $42.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. **Conclusión:** Un importante porcentaje de la población tiene alteraciones en la función respiratoria, principalmente, quienes viven cerca de las empresas en presencia de concentraciones de MP10, consideradas de riesgo (24).

- **Chit-Pun V. et al. 2014 “Asociaciones a corto plazo de causas específicas de hospitalizaciones de emergencia y componentes químicos en partículas en Hong Kong”.** **Objetivo:** Asociar los componentes químicos específicos de la materia particulada con las hospitalizaciones cardiovasculares y respiratorias. **Métodos:** Estimaron las asociaciones entre las exposiciones a 18 componentes químicos de material particulado con diámetro aerodinámico menor de $10 \mu\text{m}$ (MP10) y hospitalizaciones cardiorrespiratorias de emergencia diarias en Hong Kong, China, entre 2001 y 2007. **Resultados:** Las partículas de carbonatos, sulfato, nitrato y amonio representaron dos tercios de la masa MP10. Encontraron una media MP10 $55.9 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 22.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, entre los componentes, los nitratos estuvo en una concentración de $3.7 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 3.3$ y sulfatos $11.5 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 7.5$. Un incremento de $3.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la media móvil de 2 días de las concentraciones de nitratos el mismo día y el día anterior se asoció con el mayor aumento de 1.32% (intervalo de confianza

del 95%: 0.73, 1.92) en hospitalizaciones cardiovasculares; la elevación en el nivel de manganeso ($0.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se relacionó con un aumento del 0.91% (intervalo de confianza del 95%: 0.19, 1.64) en las hospitalizaciones respiratorias. Tras un ajuste adicional de los copollutantes gaseosos, el nitrato, el ion sodio, el ion cloruro, el magnesio y el níquel se asociaron significativamente con las hospitalizaciones cardiovasculares, mientras que los componentes de iones sodio, aluminio y magnesio encontrados abundantemente en MP10 más gruesa se asociaron con hospitalizaciones respiratorias. Los sulfatos se asociaron con hospitalizaciones respiratorias. **Conclusion:** La mayoría de las asociaciones positivas se vieron durante la temporada de frío. Estos hallazgos apoyan el creciente cuerpo de literatura sobre las asociaciones de salud de la composición de materia particulada y brindan información importante sobre los riesgos de salud diferenciales de los componentes encontrados en los modos fino y grueso de MP10 (25).

- **Tellez I. M. et al. 2015 “Alteraciones Espirométricas por Exposición a Material Particulado, Colombia”.** **Objetivo:** El propósito de este estudio fue identificar las alteraciones espirométricas en trabajadores expuestos a material particulado inorgánico en una empresa de construcción durante el 2013. **Métodos:** Estudio observacional, descriptivo de corte transversal, realizado en 199 registros de trabajadores. Se recolectaron datos mediante encuesta de caracterización socio-demográfica y cuestionario epidemiológico. Las variables numéricas se describieron con base en medidas de tendencia central y variabilidad, con base en porcentajes y distribuciones porcentuales. Para examinar asociaciones se utilizaron pruebas de significancia estadística con el coeficiente de Pearson (valor $P= 0.05$) **Resultados:** Se encontraron alteraciones espirométricas de diferente índole en un 23% de la población donde el 1% tuvo patrón obstructivo, 20 % patrón restrictivo y 2% patrón mixto; el resto (77%) tuvo patrón normal. El 99.5% tuvieron %VEF1/CVF mayor a 70% y el 84.4% tuvieron %FVC mayor a 80%. **Conclusión:** La espirometría es un buen instrumento para los exámenes periódicos ocupacionales para detectar alteraciones del sistema respiratorio en trabajadores expuestos a material particulado inorgánico, sin embargo la espirometría por sí sola no

proporciona suficiente valor para diagnosticar la enfermedad respiratoria ocupacional teniendo en cuenta que variables sociodemográficas como la edad entre otras influyen en la capacidad pulmonar (26).

- **Astudillo Alemán AL, et al. 2015 “Caracterización química del material particulado MP10 de la zona urbana de Cuenca- Ecuador e investigación de su Genotoxicidad e inducción de estrés oxidativo en células epiteliales alveolares A549”.** **Objetivo:** Determinar las características químicas de la fracción hidrosoluble de Material Particulado MP10, recolectado en tres sitios de monitoreo de la ciudad de Cuenca-Ecuador, y evaluar su actividad genotóxica e inducción de especies reactivas de oxígeno (ROS) en la línea celular epitelial alveolar humana A-549. **Métodos:** Se seleccionaron 3 puntos de monitoreo, en cada uno se realizaron 2 etapas de monitoreo. Las muestras de MP10 fueron recolectadas empleando un equipo de bajo volumen y las concentraciones del mismo fueron determinadas por análisis gravimétrico. En la caracterización de la solución acuosa de los filtros de MP10 se determinó la presencia de aniones (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) y metales pesados (Cr, Fe, Ni, Zn, Cu, Mn), mediante técnicas de cromatografía iónica y espectroscopía de absorción atómica respectivamente. Las células A-549 fueron expuestas a diferentes concentraciones (0.82, 1.25 y 1.63 m^3/mL) de la fracción hidrosoluble de MP10, con la finalidad de observar el posible efecto genotóxico mediante el ensayo del cometa y la inducción de especies reactivas de oxígeno mediante fluorimetría. **Resultados:** Las concentraciones de material particulado superaron en los tres puntos de estudio los 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, límite estipulado en la Legislación Ecuatoriana. Los aniones SO_4^{2-} y NO_3^- , en ese orden, se encuentran en mayores concentraciones en los tres puntos de monitoreo y en las dos etapas. El promedio de SO_4^{2-} en la primera y segunda etapa fue 530.20 ng/m^3 y 1120.90 ng/m^3 respectivamente. El promedio de nitratos en la primera etapa fue 467.75 ng/m^3 , en la segunda etapa 712.23 ng/m^3 . En la primera etapa, la concentración de sulfatos máxima fue de 781.95 ng/m^3 en el punto P3 y un mínimo 28.66 ng/m^3 en P1; y en la segunda etapa el máximo fue 1323.3 ng/m^3 en P1 y el mínimo 1008.8 ng/m^3 en P3. Los nitratos en la primera etapa el máximo fue 710.8 ng/m^3 en P3 y mínimo 19.94 ng/m^3 en

P1; en la segunda etapa el máximo fue 944.8ng/m³ en P1 y mínimo 405.8ng/m³ en P2. El Fe en la primera etapa el máximo fue de 3180,6ng/m³ en P3 y en la segunda etapa fue 4777.8ng/m³ en el punto P2. **Conclusión:** Los SO₄⁻² y Fe presentaron las mayores concentraciones en los tres puntos de estudio en las 2 etapas de monitoreo. Los extractos acuosolubles de MP10 inducen daño celular bajo (tipo I), e incrementan la producción de ROS en células A-549, lo que pudiera constituir un riesgo en la salud de la población expuesta (27).

- **Cervantes B., Evelyn, 2016, tesis que para obtener el título de licenciada en Ciencias Ambientales y Salud, “Evaluación de la Salud Respiratoria en Mujeres Beneficiadas con el Programa de Estufas Ecológicas en la zona Huasteca del Estado de San Luis Potosí”**

Objetivos: Comparar la salud respiratoria de mujeres beneficiadas con estufas ecológicas con las no beneficiadas para determinar si el uso de estas estufas previene la generación de enfermedades crónicas respiratorias en las usuarias. **Métodos:** Se seleccionaron 6 municipios de la zona de Huasteca en donde vivieran mujeres que hubieran sido beneficiadas con las estufas ecológicas durante el periodo 2009-2013; pero además que habitaran también mujeres no beneficiadas. Para la prueba de espirometría participaron 362 mujeres de las cuales solo 239 mujeres tuvieron espirometría de buena calidad (125 de mujeres beneficiadas y 114 de no beneficiadas). Por otro lado la medición de MP2.5 se realizó a través de un muestreo gravimétrico utilizando el MiniVol Air Sampler por un periodo de 24 horas dentro y fuera de las viviendas. **Resultados:** Para los valores espirométricos de mujeres beneficiadas (n=125) encontraron que el 16% obtuvo un FVC por debajo del valor de referencia de NHANES III. En el caso del FEV1, se observó que 48% de las mujeres beneficiadas obtuvo un valor por debajo de la referencia, para la relación FEV1/FVC 20.8% de la población beneficiada se encontró por debajo del valor de referencia. En el caso de los valores espirométricos de mujeres no beneficiadas (n=114) encontramos que el 7.8% obtuvo un FVC por debajo del valor de referencia, en el caso del FEV1, se observó que 39% obtuvieron un valor por debajo de la referencia. Para la relación FEV1/FVC 16.6% de la población no

beneficiada se encontró por debajo del valor de referencia. De las mujeres beneficiadas obtuvieron que de acuerdo a los predichos de NHANES III, 73% tuvieron patrón normal, 3% restrictivo, 12% obstructivo y 12% mixto. De las mujeres no beneficiadas 79% obtuvieron patrón normal, 3% restrictivo, 14% obstructivo y 4% mixto. Se encontró un mayor número de partículas MP2.5 con $118\mu\text{g}/\text{m}^3$ rebasando la Norma Oficial Mexicana que establece un límite permisible de $45\mu\text{g}/\text{m}^3$. Se vio que a mayor concentración de MP2.5 en la vivienda, menor capacidad vital forzada (%FVC) y menor volumen espiratorio forzado en el primer segundo (%FEV1). En cuanto a la relación entre MP2.5 y el cociente entre el volumen espiratorio forzado en el primer segundo y la capacidad vital forzada (%FEV1/FVC) no hubo una correlación significativa. **Conclusión:** Se encontró que las mujeres no beneficiadas poseen una mejor salud respiratoria, sin embargo son futuras candidatas a padecer alguna enfermedad crónica respiratoria. Por otra parte, se observó que las estufas ecológicas si favorecen la prevención de enfermedades respiratorias crónicas en mujeres que las utilizan, siempre y cuando estén instaladas adecuadamente, no hayan sufrido modificaciones y reciban mantenimiento constante (28).

- **Yun Zhou et al. 2016 "Efectos a corto plazo de la contaminación del aire exterior en la función pulmonar entre mujeres no fumadoras en China" Objetivo:** (1) Investigar los efectos a corto plazo (hasta 7 días) de los contaminantes atmosféricos (NO_2 , MP10, O_3 y MP2.5) en la función pulmonar entre las mujeres no fumadoras de por vida de la cohorte Wuhan-Zhuhai. (2) Examinar la asociación en las dos ciudades de estudio con diferentes niveles de calidad del aire por separado para cuantificar los efectos de la exposición a diferentes niveles de contaminantes en la función pulmonar. **Método:** Cuantificaron los efectos de la exposición a la contaminación del aire exterior (NO_2 , MP10, O_3 y MP2.5) en la función pulmonar entre 1.694 mujeres no fumadoras de la cohorte Wuhan-Zhuhai en China mediante el uso de un modelo mixto lineal. Además investigaron las asociaciones en las dos ciudades con diferentes niveles de calidad del aire por separado para cuantificar los efectos de la exposición a diferentes niveles de contaminantes en la función pulmonar. **Resultados:** En

general la concentración promedio de MP10 fue $112.32 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 78.06$ siendo la máxima $400.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y la mínima $12.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La ciudad con mayor nivel de MP10 ($149.76 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 85.19$), MP2.5 (83.57 ± 42.19), NO₂ (60.36 ± 29.04) y O₃ (108.05 ± 40.31) fue Wuhan. En Zhuhai tuvo un MP10 ($67.17 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 32.04$), MP2.5 (33.14 ± 15.03), NO₂ (39.13 ± 23.08) y O₃ (75.30 ± 27.91). En general obtuvieron FVC $2369.9 \text{ mL} \pm 530.5$, FEV1 $2006.1 \text{ mL} \pm 462.1$, %FEV1/FVC $84.8\% \pm 8.6$. En Wuhan los valores espirométricos fueron FVC $2436.2 \text{ mL} \pm 545.2$, FEV1 $2026.1 \text{ mL} \pm 471.3$, %FEV1/FVC $83.3\% \pm 8.6$ y en Zhuhai el FVC $2219.0 \text{ mL} \pm 461.4$, FEV1 $1960.7 \text{ mL} \pm 437.5$ y %FEV1/FVC $88.2\% \pm 7.5$.

En la ciudad con alto nivel de contaminantes el promedio móvil de las exposiciones a NO₂, MP10, O₃ y MP2.5 se asoció significativamente con las reducciones de FVC y FEV1. En la ciudad de bajo nivel de contaminación del aire, las concentraciones de MP10, MP2.5 y O₃ se asociaron significativamente con la FVC y FEV1 reducida. Las asociaciones fueron más fuertes con FVC cuando se consideran más días de medición y débil con FEV1. **Conclusión:** (1) La contaminación del aire exterior se asoció con efectos adversos a corto plazo en la función pulmonar entre mujeres no fumadoras. Los efectos adversos pueden persistir durante más tiempo dentro de los 7 días a niveles de contaminantes atmosférico más alto (2). Se observó que las asociaciones de exposiciones a contaminantes atmosféricos con alteraciones de la función pulmonar eran diferentes entre dos ciudades a diferentes niveles de contaminantes (12).

- **Int-Panis L. et al. 2017 “Exposición a corto plazo a la contaminación del aire disminuye la función pulmonar: Un estudio de mediciones repetitivas en adultos sanos”** **Objetivo:** Evaluar la asociación entre cambios diarios en la contaminación del aire y la función pulmonar en adultos sanos. **Métodos:** Los datos de mediciones anuales de la función pulmonar se obtuvieron de un Programa de **Vigilancia de Salud Médica del Belgian Centro de Investigación nuclear (SCK•CEN)** en Mol (Belgium). Todos los empleados de las organizaciones de SCK•CEN, VITO, BELGOPROCESS, BELGONUCLEAIRE y el colegio Europeo pasan un chequeo anual en el SCK•CEN. La capacidad vital

forzada(FVC), volumen expiratorio forzado en el primer segundo (FEV1), FEV1/FVC y pico de flujo espiratorio (PEF) de 2449 empleados se asociaron con las mediciones diarias de MP10, NO₂ y O₃ en una estación de monitoreo cercano en el norte de Belgium. Mediciones repetitivas estaban disponibles para el periodo 2011-2015. **Resultados:** Se obtuvo los valores de FVC (4.71L ± 1.03); FEV1 (3.79L ± 0.83), FEV1/FVC (80.9 % ± 7.5) y PEF (8.78 L/s ± 2.20). La concentración media de MP10 el día de la visita a la clínica para la función pulmonar fue de 24.9 ±15.5 µg/m³ siendo la concentración máxima de 105 µg/m³ y mínima 5 µg/m³. Los cambios se observaron para FVC, FEV1 y PEF en asociación con la exposición a MP10 uno y dos días antes de la visita a la clínica. Un aumento de 10 µg/m³ de MP10 el día del examen clínico para la función pulmonar se asoció con una reducción de 18.9 mL de FVC (IC del 95%: -27,5 a -10,3, p <0.0001), 12.8 mL de FEV1 (-19,1 a -6,5; p <0.0001), y 51.4 mL/s de PEF (-75.0 a -27.0; p <0.0001). La relación FEV1/FVC no mostró asociaciones. Un aumento de 10 µg /m³ NO₂ se asoció con una reducción de PEF en -66.1 ml/s (-106.6 a -25.6; p <0.001)) el día del examen. **Conclusiones:** Encontraron asociaciones negativas entre las variaciones diarias en la contaminación del aire y FVC, FEV1 y PEF en adultos sanos (29).

- **Souza, Davi Z. et al., 2014 “Composición de MP2.5 y MP10 colectados en sitios urbanos en Brazil”** **Objetivo:** Caracterizar la composición química del material particulado MP2.5 y MP10, en dos estaciones primavera e invierno, ver los ratios en MP2.5 a MP10 y correlación entre los componentes químicos. **Métodos:** Las muestras de material particulado atmosférico (MP2.5 y MP10) fueron colectados en sitios urbanos (São Paulo, SPA; Piracicaba, PRB) en el estado de São Paulo S, Brazil. Se analizaron muchos componentes químicos de las muestras, los iones solubles (Cl⁻, NO₃⁻, SO₄⁻², oxalato, Na⁺, K⁺, NH₄⁺, Ca²⁺, Mg²⁺) y compuestos orgánicos solubles (acetato, fomato, glioxilato, etc.) se analizaron por cromatografía iónica, las fracciones carbonáceas (CO y CE) por método de transmisión óptica térmica y los anhídridos monosacáridos fueron medidos por cromatografía de intercambio iónico. **Resultados:** En SPA la concentración de MP2.5 en temporada seca y fría

tuvieron un rango de 17 a 83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (promedio 47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) siendo la más alta en Agosto cuando la humedad era baja y la temperatura elevada. La concentración de MP10 tuvo un rango de 13 a 39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (promedio 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). En PRB la concentración de MP 2.5 tuvo un rango de 6 a 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (promedio 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y MP10 de 9 a 29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (promedio 19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). El alcance transportado de material particulado mientras la caña de azúcar está siendo quemado contribuyó al incremento de las concentraciones en MP2.5 y MP10 en São Paulo, SPA. Las especies inorgánicas para MP2.5 en SPA (invierno) fueron $\text{SO}^{2-}_4 = 3348 \text{ ng}/\text{m}^3$; $\text{NO}^{-3} = 2079 \text{ ng}/\text{m}^3$, $\text{NH}^{+4} = 1508 \text{ ng}/\text{m}^3$ y en PRB (primavera) fueron $\text{SO}^{2-}_4 = 1782 \text{ ng}/\text{m}^3$, $\text{NO}^{-3} = 497 \text{ ng}/\text{m}^3$, $\text{NH}^{+4} = 648 \text{ ng}/\text{m}^3$ y para MP10 en SPA (invierno) fueron $\text{SO}^{2-}_4 = 1384 \text{ ng}/\text{m}^3$; $\text{NO}^{-3} = 2076 \text{ ng}/\text{m}^3$, $\text{NH}^{+4} = 817 \text{ ng}/\text{m}^3$ y en PRB (primavera) fueron $\text{SO}^{2-}_4 = 564 \text{ ng}/\text{m}^3$; $\text{NO}^{-3} = 247 \text{ ng}/\text{m}^3$, $\text{NH}^{+4} = 670 \text{ ng}/\text{m}^3$. En PRB, en MP2.5 se encontró 29% de POM, similar a los resultados encontrados para la temporada de invierno en SPA. Se obtuvo una buena correlación estadística entre sulfato y nitrato en MP2.5 y MP10 en PBR y SPA ($R \geq 0.7$). El ratio $\text{SO}^{2-}_4 / \text{NO}^{-3}$ era alto en periodos calientes y húmedos (primavera) que en periodos fríos y secos (invierno). **Conclusión:** Los SO^{2-}_4 , NO^{-3} y NH^{+4} fueron las especies inorgánicas más dominantes en MP2.5 y MP10 en ambas temporadas. La correlación entre sulfato y nitrato en MP2.5 y MP10 fue buena (30).

2.2.2 Antecedentes nacionales

- **Rivera-Rocky B. W. 2011, Tesis para optar el título profesional de Médico Cirujano, “Valores Espirométricos para adultos Naturales en la Altura (Huancayo 3259 msnm)”** **Objetivo:** Obtener valores referenciales espirométricos para adultos naturales en altura. **Método:** Se realizó un estudio prospectivo, descriptivo y transversal. La evaluación espirométrica se realizó en el Hospital IV Essalud en pacientes ambulatorios (consultorio externo del servicio de neumología, donantes de sangre y chequeo médico general). Se realizó primero un análisis de los promedios de las variables, como sexo, peso, talla e IMC, obteniéndose la mediana, moda, desviación standard,. De igual forma se tomó los valores de la CV, CVF, VEF1, VEF3 y FEF25-75% y VEF1/CVF.

Resultados: En varones mayores de 40 años se obtuvo como media un CVT 4.33L (DS 0.83), CVF 4.32L (DS 0.69), VEF1 3.40L (DS 0.63) y VEF1/CVF 92.26% (DS 11.02). En mujeres mayores de 40 años se obtuvo como media un CVT 3.39L (DS 0.76), CVF 3.38L (DS 0.71), VEF1 2.65L (DS 0.58) y VEF1/CVF 94.94% (DS 15.68). Los porcentajes predichos para varones fueron CVF 102%, VEF1 105% y VEF1/CVF 120%, para mujeres CVF 116%, VEF1 117% y VEF1/CVF 122%. Al comparar la Capacidad Vital Forzada (CVF), el Volumen Espiratorio Forzado al Primer segundo (VEF1) y la relación VEF1/CVF se obtuvo que en mujeres la CVF aumentó en 0.47 L y en los varones en 0.11 L, con lo esperado a nivel del mar ($p = 0.001$). Los valores medios del VEF1 en varones y mujeres de la altura comparados con los de a nivel del mar se incrementaron en 0,19 L y 0.39 L respectivamente ($p=0.001$). El valor de la relación VEF1/CVF en varones y mujeres de la altura comparados con los de a nivel del mar, incrementaron en 15.96% y 17.44 % respectivamente ($p=0.001$)

Conclusiones La CVF en habitantes adultos naturales en altura es significativamente mayor, del mismo modo el (VEF1) y la relación VEF1/CVF en adultos naturales en altura es significativamente mayor con respecto al nivel del mar (31).

- **Ministerio del Ambiente, “Informe Nacional de la Calidad del Aire 2013-2014”, Perú. Objetivo:** Presentar la información de las 31 Zonas de Atención Prioritaria (ZAP) para los parámetros: Material particulado (MP10 y MP2.5), SO₂ y NO₂. **Método:** Realizaron un inventario de emisiones de contaminantes y monitoreo de los mismos en 31 ciudades mediante el uso de estaciones de monitoreo por parte de DIGESA o SENAMHI, para el cual se tomó en cuenta los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de Aire para material particulado que para ese entonces en MP10 fue 150 µg/m³ en 24 horas; mientras que para OMS continua con 50 µg/m³, que fue el mismo valor promedio anual del ECA nacional. Para el material particulado MP2.5, el valor es 25 µg/m³, que coincide con la OMS. El valor de ECA nacional para SO₂ es de 20 µg/m³ (24 horas) coincidente con el valor de la OMS. **Resultados:** Los muestreos puntuales realizados en el 2012 indican que las ciudades que presentan los mayores valores de SO₂, son, La Oroya e Ilo; en tanto que para el

MP10 son las ciudades de Chiclayo, Pisco, Cusco, Pasco y Lima. En los muestreos puntuales realizados entre el año 2013 y 2014 en las 21 ciudades, se observan que 11 ciudades presentan una calidad del aire moderada y el resto buena, para el MP10, siendo las ciudades de Chiclayo, Cusco, Pisco y Chachapoyas las que presentan los mayores valores.

Para el MP2.5 se observa tres clases de ciudades, las que presentan niveles bajos con una concentración menor a $12.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pertenecen a la categoría buena (5 ciudades: Ayacucho, Abancay, Huaraz, Huánuco y Huancavelica); mientras que 10 ciudades presentan niveles de contaminación moderada y 6 ciudades pertenecen a la categoría mala, excediendo el valor ECA, estas son Chachapoyas, Cajamarca, Tacna y Juliaca, Moquegua y Cusco.

Para el SO₂ la ciudad de La Oroya aparece en el primer lugar del ranking excediendo el ECA anual ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Para el NO₂, los resultados en general muestran valores bastante bajos, perteneciendo todas las ciudades a la categoría buena. **Conclusión:** Como parte de los diagnósticos necesarios para la elaboración de propuestas de medidas para prevenir mayores riesgos a la población producto de la presencia de contaminantes en el aire (14).

- **Briones Silva, Esther y Malaver Cárdenas, Catalina, 2015, Tesis para optar el título Profesional de Ingeniero Ambiental, “Concentración de Material Particulado MP10 y MP2.5 en la Cuenca Atmosférica de Cajamarca durante los años 2014 y 2015”** **Objetivos:** Determinar la concentración del material particulado MP10 y MP2.5 en relación a los ECAs del Aire, en la Cuenca Atmosférica de Cajamarca, en los años 2014 y 2015. **Método:** Fue un estudio Descriptivo-Correlacional, se eligió como población la Cuenca Atmosférica de Cajamarca y las muestras se escogieron de manera no probabilística, las cuales se obtuvieron en una estación de monitoreo fija mediante la utilización de un filtro de cuarzo por día (24h); posteriormente fueron procesadas mediante análisis de laboratorio por una técnica conocida como Gravimetría. **Resultados:** En el año 2014 la concentración promedio de MP10 fue $43.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con mínimo $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y máximo $76 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el promedio de MP2.5 fue $31.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$

con mínimo $26\mu\text{g}/\text{m}^3$ y máximo $43\mu\text{g}/\text{m}^3$. En el año 2015 la concentración promedio de MP10 fue $46.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ con mínimo $30\mu\text{g}/\text{m}^3$ y máximo $79\mu\text{g}/\text{m}^3$, el promedio de MP2.5 fue $37.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ con mínimo $23\mu\text{g}/\text{m}^3$ y máximo $70.0\mu\text{g}/\text{m}^3$. MP10 fueron inferiores a los preestablecidos en los Estándares de Calidad Ambiental del Aire, a diferencia de los resultados de MP 2.5, las cuales han sido elevados durante todos los meses del año 2014 y casi todos los del 2015; especialmente en enero, lo cual se asocia a la contaminación producida por las festividades de año nuevo; y los meses de febrero, agosto, setiembre y octubre el cual se relaciona con el aumento del parque automotor, 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 que contribuyen al exceso de partículas en suspensión como MP 2.5 en la atmósfera. **Conclusión:** Las concentraciones de MP 2.5 son altas y que sobrepasan los Estándares de Calidad Ambiental del Aire, siendo estas las más nocivas para la salud de la población y el ambiente (32).

- **Cipriano Arellano, Jesús S., 2015, Tesis para Optar el grado académico de Magíster en Salud Ocupacional y Ambiental, “Capacidad ventilatoria forzada en trabajadores de una empresa Metalúrgica en la Región Central del Perú 2012”.** **Objetivo:** Determinar la capacidad ventilatoria de los trabajadores de una empresa metalúrgica que laboran en zona de altura en la región central del Perú; según los indicadores espirométricos siguientes: Capacidad Vital Forzada (CVF), Volumen Espiratorio Forzado en el primer segundo (VEF1), relación entre Volumen Espiratorio Forzado en el primer segundo sobre la Capacidad Vital Forzada (VEF1/CVF), y el Flujo Espiratorio Pico de las siglas en inglés (PEF). La investigación servirá de aproximación a los valores de referencia, para trabajadores en zona de altura en el Perú. **Métodos:** El estudio se realizó en la ciudad de La Oroya, capital de la Provincia de Yauli, en el Departamento de Junín a 3730 m.s.n.m., en las instalaciones del Centro Médico de Chulec perteneciente a la Empresa Doe Run Perú S.R.L. en trabajadores de la fundición del Complejo Metalúrgico, quienes participaron en forma voluntaria. Se realizó un estudio observacional, descriptivo y transversal en 385 trabajadores

nativos o con un tiempo de residencia igual o mayor a 5 años, cuyas edades fueron entre 20 a 60 años, y a quienes se les practicó la prueba de espirometría forzada para determinar la capacidad funcional respiratoria, en base a los criterios de la Sociedad Americana de Tórax (ATS). **Resultados:** Los valores fueron los siguientes: Capacidad Vital Forzada: 4.83 L/s, el Volumen Espiratorio Forzado al primer segundo fue de: 4.02 L/s, la relación FEV1/FVC fue de 83.45%, y el Flujo Espiratorio Pico fue de 9.46 L/s. **Conclusión:** El 94.6% de los trabajadores evaluados, la Capacidad Vital Forzada estaba dentro de rangos normales. Un 5.2% de la población estudiada es portadora de procesos obstructivos leves, y el 0.2% es portadora de probable proceso restrictivo (33).

- **Suárez Salas Luis et al. 2017 “Caracterización Química del Material Particulado Atmosférico del Centro Urbano de Huancayo, Perú”.**

Objetivo: Caracterizar la composición química del MP atmosférico colectados en una estación ubicada en el centro urbano de Huancayo.

Método: Se colectó MP en Agosto del 2007, y Enero, Abril y Mayo del 2008 con un equipo de bajo volumen (PARTISOL FRM 2000) y filtros de 47 mm. Se determinó la concentración de partículas de tamaño hasta 10 μm (MP10), partículas menores a 2.5 μm (MP2.5) y se analizó la composición química de hasta 38 elementos, mediante la técnica de fluorescencia de rayos X (XRF). Y en el caso del MP2.5 se analizó los iones: nitrato (NO_3^-) y sulfato (SO_4^{2-}) y especies carbonáceas: carbono orgánico (CO) y carbono elemental (CE). **Resultados:** El valor máximo registrado de MP10 fue 143 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, promedio 64.54 ± 30.87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y en MP2.5 el máximo fue 67.79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, promedio 34.47 ± 14.75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ningún valor diario de MP10 superó el ECA de 24 horas peruano (150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Sólo un valor diario de MP2.5 (67.79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) registrado el 25 de agosto del 2007 superó el ECA para 24 horas (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Ambos MP10 y MP2.5 superaron la normativa anual de calidad del aire peruano, siendo el MP2.5 el que representa mayor abundancia en comparación a otras ciudades importantes. También se evidencia una mayor concentración de MP10 y MP2.5 en periodo seco. La determinación de la composición química indicó que los elementos geológicos (8%), metales (12%) y metaloides (7%) fueron los componentes más abundantes en el MP10 y los no

metales (4%), iones (11%) y especies carbonáceas (44%) en el MP2.5. Dentro de los iones encontraron en promedio $1.03 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 0.52$ de nitratos y $2.45 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 1.77$ de sulfatos en MP2.5. **Conclusión:** Este estudio confirma la problemática del MP en la ciudad de Huancayo, pero evidencia el mayor riesgo del MP2.5 a la salud de su población, siendo el sector transporte una de las fuentes de emisión más importantes (34).

- **Arenas Pacheco, Jonathan. 2017, Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental, “Determinación del Material Particulado MP10 y MP 2.5, Dióxido de Azufre y Dióxido de Nitrógeno en el Distrito Yura – Arequipa”.** **Objetivo:** Determinar la concentración del material particulado MP10 y MP2.5, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno en el distrito de Yura. **Método:** Los monitoreos de calidad de aire se realizaron en 3 estaciones de monitoreo de calidad de aire analizando los parámetros de material particulado (MP10), material particulado (MP2.5), Dióxido de Azufre (SO_2) y Dióxido de Nitrógeno (NO_2). Para la toma de muestra del material particulado (MP10) se utilizó un equipo HI-VOL, para el material particulado (MP2.5) se utilizó un equipo LOW-VOL, en ambos casos el periodo de muestreo fue de 24 horas y posteriormente las muestras son llevadas al laboratorio. Otro equipo utilizado es el tren muestreo de gases para cuantificar en un laboratorio la concentración de los gases, en este caso del dióxido de azufre (SO_2) y dióxido de nitrógeno (NO_2); también se utilizó una estación meteorológica portátil, que nos brinda los parámetros como temperatura, presión atmosférica, humedad relativa, dirección y velocidad de viento. Se han instalados tres puntos de monitoreo, el primer punto de monitoreo se instaló en techo del I.E. 40102 Nuestra Señora Carmen Patrona de Yura, el segundo punto en el techo del Puesto de Salud Yura Juan Pablo II y el tercer punto se instaló en techo en Cruce Calera. **Resultados:** La máxima concentración de MP10 fue en el primer punto de monitoreo en el mes de Noviembre 2016 con $131.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y la mínima concentración fue $39.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el segundo punto en el mes de Agosto. En el caso de MP2.5 la concentración máxima fue de $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el mes de Mayo 2017 en el segundo punto de monitoreo y la concentración mínima fue $10.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el mes de Mayo 2017 en el primer punto. Para los meses de Noviembre,

Febrero y Mayo están por debajo según indican en los Estándares de Calidad Ambiental de Aire D.S. 003-2001-MINAM y los valores obtenidos para el mes de Agosto están por debajo según indican en los Estándares de Calidad Ambiental de Aire D.S. 003-2017-MINAM. **Conclusión:** La medición de la concentración del Material Particulado de MP10 y MP2.5, dióxido de azufre, y dióxido de nitrógeno no sobrepasan los Estándares de Calidad Ambiental de Aire establecidos en los D.S. N°074-2001-PCM y D.S. N°003-2017-MINAM (35).

2.2.3 Antecedentes locales

- **Tello Yarin, Jonny 2017, tesis para obtener el grado académico de Magister en ciencias mención física, “Nivel de contaminación del aire por material particulado (MP10) en la ciudad del Cusco”. Objetivo:** Determinar el nivel de contaminación del aire por material particulado MP10 en la ciudad del Cusco. **Método:** Se tomó los datos de concentración de material particulado MP10 de cinco estaciones de monitoreo desde el año 2013 al 2015 colocados por la Dirección Regional de Salud de la ciudad del Cusco. Para el límite permisible de concentración de material particulado MP10 se tomó referencia el decreto supremo N° 074-2001-PCM presente en el reglamento de estándares nacionales de calidad ambiental del aire (ECA ANUAL de $50 \mu\text{m}^3$). **Resultados:** El nivel de concentración de MP10 en la ciudad del cusco fue intermedio, mostrando valores promedio de $43.52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el año 2013, $38.37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el año 2014 y para el año 2015 de $48.67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que no superan el ECA anual. Las zonas con mayor concentración de MP10 fueron los distritos de San Jerónimo que presenta un valor promedio de los tres años de estudio $62.11 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y el distrito de Wanchaq que presenta un valor promedio de $46.83 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Los resultados obtenidos del año 2015, 2014 y 2013 ningún valor de MP10 supera el ECA del aire en 24 horas ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) según DS.074-2001-PCM. En el año más reciente 2015, el promedio fue $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tomando en cuenta las cinco estaciones de monitoreo, el cual sobrepasa el ECA anual. El valor máximo fue $97 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en San Jerónimo en Octubre, seguido de

Wanchaq con $86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Diciembre. El mínimo fue $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en frontis de DIRESA.

En la zona de muestreo JER (San Jerónimo) hay diferencia significativa del límite permisible de contaminación de aire por material particulado MP10 registrándose por encima de este con valores en un intervalo de $[55.70-68.51] \mu\text{g}/\text{m}^3$. En la zona de muestreo WAN (Wanchaq) no hay diferencia significativa de los valores muestreados y del límite permisible de contaminación de aire por material particulado registrándose en un intervalo de $[41.95-51.72] \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sin embargo en las zonas de muestreo DES (DIRESA), BEL (Belempampa), TTIO hay diferencia significativa del límite permisible de contaminación de aire por material particulado registrándose con valores debajo de este, en un intervalo de $[30.63-37.65] \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[34.63-41.21] \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $[32.33-40.83] \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.

Conclusión: El nivel de concentración de MP10 en la ciudad del cusco fue intermedio, las zonas con mayor concentración de MP10 fueron los distritos de San Jerónimo y el distrito de Wanchaq (36).

- **Municipalidad Provincial del Cusco a través de la Sub Gerencia de Ordenamiento Territorial y la Dirección Regional de Salud, 2013, “Calidad del aire en la cuenca atmosférica del valle del Cusco”**

Objetivos: Levantamiento de la línea base de la calidad de aire (Material Particulado menor a 10 micras y metales pesados) entre Junio del 2012 a Junio del 2013. **Método:** Estuvo a cargo de la Dirección Regional de Salud Cusco- DIRESA. Se tomaron 35 puntos de muestreo en la provincia del Cusco, 8 puntos en Quispicanchis y 1 punto en Anta, posteriormente se compararon con los Estándares de calidad Ambiental del aire establecido en el D.S N°074-2001-PCM. **Resultados:** El nivel de MP10 en el Distrito de Cusco exactamente en la Plazoleta Limacpampa fue $361 \mu\text{g}/\text{m}^3$ siendo el máximo nivel de este Distrito, en Calle Ayacucho fue $59 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En el Distrito de Santiago el máximo fue de $149 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el botadero de Haqaira. En el Distrito de Wanchaq el máximo fue $219 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en CC.HH. Hilario Mendivil, en Municipalidad Distrital de Wanchaq fue $147 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y Av. Huayruropata $102 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En el distrito de San Jerónimo el máximo nivel fue $213 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Petro Perú seguido del sector ladrillero con 193

$\mu\text{g}/\text{m}^3$. En San Sebastián el máximo fue en la comisaria PNP con $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Los 7 puntos considerados como críticos de la cuenca atmosférica del Cusco y zonas contiguas, cuyos niveles de MP10 superan el Estándar de Calidad Ambiental del Aire respecto al ECA de MP10 ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) por 24 horas fueron: Plazoleta de Limacpampa- Cusco, CC-HH. Hilario Mendevil-Wanchaq, Petro Perú - San Jerónimo, Comisaria PNP – Oropesa con $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Parque Pukllaycancha – Wanchaq con $201 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Sector Ladrillero - San Jerónimo con $193 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y Red de Servicios de Salud Cusco Sur - San Jerónimo con $185 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Así mismo, se ha encontrado 09 puntos críticos que están próximos al ECA ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) por 24 horas, por encima del 50% del ECA mencionado es decir en el umbral, tales como el Botadero de Haquira- Santiago, Frontis de la Municipalidad Distrital de Wanchaq, Frontis de la municipalidad provincial de Anta, Centro de Salud Manco Capac-Santiago, Centro de Salud Ttio- Wanchaq, Red de servicios de salud Cusco Norte- Santiago, Comisaria PNP- San Sebastián, Vía de evitamiento- San Sebastián y Av. Huayrupata Iglesia Adventista-Wanchaq. Los metales pesados analizados a partir de MP10 se encuentran por debajo de los estándares de calidad ambiental establecido por Canadá. **Conclusión:** Se realizó el levantamiento de línea base donde encontraron 7 puntos críticos en la provincia del Cusco con niveles muy elevados comparado con el ECA, lo que implica tomar medidas de prevención y regulación para evitar el aumento de la concentración del material particulado (37).

2.3 Bases teórico científicas

2.3.1 Concepto de toxicidad

Toxicidad es la actividad tóxica, concreta y específica vinculada a la estructura química de una sustancia exógena al organismo (xenobiótico) por su interacción con moléculas endógenas (receptor) (38).

En la práctica se pueden señalarse tres parámetros que influyen en la toxicidad presentada por una estructura química (38).

- La concentración del xenobiótico en el sitio donde se encuentra su receptor, que depende de la biodisponibilidad determinada por sus propiedades fisicoquímica, la dosis ingerida y su metabolización (38).
- La concentración del receptor, depende de la especie animal, del tejido afectado, de la edad y sexo del organismo vivo, de su equilibrio hormonal, de su estado nutricional, etc (38).
- La afinidad del xenobiótico por el receptor, que depende de la naturaleza química del primero y de las características bioquímicas del segundo (38).

Por ello, es normal que se haga referencia a la toxicidad de una sustancia química como propiedad relativa, cuya magnitud pueda estar modulada por diferentes factores: el medio ambiente y el tiempo de exposición, las características del individuo, la vía de administración, la estructura química y la dosis (38).

La toxicidad presentada por un xenobiótico puede ser calificada de dos formas.

1. Directa: cuando el efecto nocivo es producido por la estructura primaria del xenobiótico, tal como penetra en el organismo vivo. Es el caso de muchas toxinas proteicas de sustancias alcaloides y de agentes alquilantes (38).
2. Indirecta: cuando el efecto toxico es provocado por un metabolito formado en la metabolización del xenobiótico. En estos casos se habla de la estructura primaria como protóxica. Tal es el caso de la toxicidad del hexano, debida a su conversión en el compuesto 2.5 hexano diona (38).

2.3.2 Intoxicación

En función del tiempo de aparición de los síntomas. La enfermedad que caracteriza a toda intoxicación suele ofrecer un cuadro clínico, cuyos síntomas están normalmente relacionados con el tiempo de acción del toxico. En este sentido se conceptúan cuatro tipos de intoxicación: agudas, subagudas, crónicas y recidivantes (38).

Las intoxicaciones crónicas son consecuentes a la absorción repetida del agente toxico. En muchas ocasiones, el agente toxico es absorbido en cantidades muy pequeñas, pero su acumulación en el organismo permite con el tiempo alcanzar las dosis adecuadas para provocar sus efectos patológicos. En la actualidad este tipo de intoxicación es más frecuente, aunque la más difícil de detectar, porque sus síntomas van apareciendo de poco a poco, aunque excepcionalmente pueden surgir de modo repentino cuando el toxico es movilizado de los depósitos en los que se acumula dentro del organismo. Normalmente son provocados por el mal uso de medicamentos, aditivos alimentarios y plaguicidas, o por la incidencia de una contaminación ambiental, debida sobre todo a los vertidos industriales (38).

2.3.3 Toxicocinética

La toxicocinética considera cuatro pasos: Absorción, Distribución, Metabolismo y Excreción.

2.3.3.1 Absorción

La absorción de un tóxico se define como el proceso por medio del cual éste atraviesa membranas y capas de células hasta llegar al torrente sanguíneo. Los principales mecanismos de ingreso del tóxico al organismo son los siguientes:

- **Difusión simple.** Depende de la existencia de un gradiente positivo de concentración (entre el medio contaminado y la sangre). La difusibilidad de una substancia a través de las membranas biológicas depende de sus propiedades físicoquímicas, las substancias polares de bajo peso molecular (hasta 600 daltons) pasan a través de los poros acuosos de las membranas, mientras que, las moléculas hidrófobas se difunden a través de las zonas lipídicas. En general, los lípidos penetran más fácilmente las membranas que las moléculas ionizadas
- **Transporte activo, la endocitosis o la difusión mediada por un transportador** son los mecanismos por los cuales se difunden los compuestos de peso molecular grande (sean polares o liposolubles) y los que se transportan en contra del gradiente de concentración.

La absorción de ácidos y bases débiles depende de su estado de ionización y por lo tanto del pH. Se transportan más fácilmente las formas no disociadas. La cantidad absorbida depende de la velocidad de absorción y del tiempo de residencia del agente en la superficie de transporte (39).

2.3.3.2 Inhalación

En los organismos vivos se pueden observar respuestas tóxicas como consecuencia de la absorción a través de los pulmones de xenobióticos que se encuentran en la atmósfera ambiental; en este caso se trata de una inhalación a la que sigue un proceso de difusión a través de los alveolos del tejido pulmonar. Como factor limitante hay que citar el tamaño de las partículas: solamente pueden pasar desde los pulmones a la sangre aquellas partículas cuyo tamaño sea inferior a una micra (38) y de solubilidad acuosa de la sustancia química presente en el aerosol o partícula. Las partículas solubles se pueden disolver en el moco nasal y transportar a la faringe o bien, pueden ser absorbidas a través del epitelio nasal hacia la sangre (39).

Las sustancias con estas posibilidades pueden ser de dos tipos:

- Gases y vapores: CO, NO₂, SO₂, Cl₄C, C₆H₆, etc.
- Pequeñas partículas en suspensión: líquidas (aerosoles), sólidas (nubes, polvos, humos, polen, etc.)

Tanto unos como otros pueden ser absorbidos con gran rapidez en los alveolos pulmonares, debido a que la gran superficie de estos favorece el contacto intenso con la sangre que fluye por los mismos (38).

No obstante, se pueden señalar varios factores que entran en juego para la difusión del xenobiótico hacia la sangre circulante al nivel de los alveolos pulmonares (38).

- ✓ La presión parcial de los gases.
- ✓ Las concentraciones del tóxico en los pulmones y en la sangre.
- ✓ La capacidad del tóxico para enlazar con las proteínas de la sangre.
- ✓ La solubilidad del tóxico en los lípidos sanguíneos (38).

2.3.3.3 Distribución

Una vez que el tóxico ha llegado al torrente sanguíneo, se puede transportar a distintos destinos: Sus sitios de acción, diversos órganos para su biotransformación o varios almacenes de depósito. Los **almacenes de depósitos son los sitios donde se puede acumular el compuesto y que no es su sitio de acción**. Ejemplos de almacenes de depósito son el hígado, los riñones, el tejido adiposo y el tejido óseo (39).

2.3.3.4 Unión a proteínas

Los xenobióticos se pueden ligar reversiblemente a las proteínas plasmáticas, por medio de distintos tipos de uniones: interacciones hidrófobas, puentes de hidrógeno y fuerzas de van der Waals. La molécula de proteína tiene un número limitado de sitios donde se pueden ligar, tanto los xenobióticos, como los compuestos endógenos. Así que, un agente determinado tiene que competir con los demás compuestos (xenobióticos y/o endógenos) por los sitios de unión disponibles (39).

2.3.3.5 Transporte a tejidos especiales

El hígado y los riñones cuentan con mecanismos de transporte activo, por lo que pueden captar muy diversas sustancias para almacenarlas, biotransformarlas y/o excretarlas.

- **Transporte a tejido graso:** Los lípidos pasan fácilmente las membranas y se almacenan por disolución simple en las grasas neutras, pudiendo dar lugar a grandes acumulaciones.
- **Transporte hacia tejido óseo:** Ciertos iones, como los fluoruros, el plomo y el estroncio, se intercambian en las interfaces entre los huesos y el fluido extracelular. El hueso es almacén de depósito para el plomo y es el sitio de acción del fluoruro, donde produce fluorosis ósea (39).

2.3.3.6 Metabolismo

Los lípidos se difunden más rápidamente, así que al transformar el xenobiótico en un compuesto más polar se reduce la velocidad de difusión, se aumenta su solubilidad en agua, y esto facilita la excreción en orina (39).

Al conjunto de caminos metabólicos por medio de los cuales los tejidos incrementan la polaridad de un tóxico se le denomina biotransformación que consiste fundamentalmente en convertir un xenobiótico no polar en un compuesto soluble en agua. Este es el mecanismo más común que usan los organismos para eliminar los tóxicos ambientales. En algunos casos, la biotransformación resulta en la producción de un metabolito que es más tóxico que el compuesto original, al proceso se le denomina **bioactivación**, si se produce un metabolito menos tóxico que el original se le llama destoxificación. Las reacciones de biotransformación se agrupan en dos los cuales se le denominan **Biotransformación Fase I** y **Biotransformación Fase II**. La Fase I biotransforma los xenobióticos convirtiéndolos en sustratos de las enzimas de la Fase II, al mismo tiempo que los hacen más hidrófilos. La Fase II son reacciones de conjugación en las cuales un metabolito con enlaces de alta energía sufre un grupo funcional polar al xenobiótico, o su producto de transformación por la Fase I (39).

2.3.3.7 Excreción

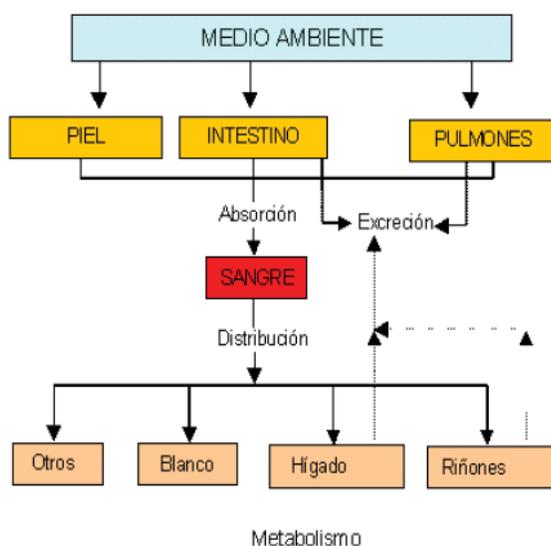
Todas las secreciones corporales pueden excretar compuestos químicos, pero las tres principales vías son la orina, las heces y el aire exhalado. La excreción de xenobióticos utiliza los mismos mecanismos que tiene el organismo para excretar los desechos metabólicos endógenos.

- **Orina:** Los riñones son los órganos más importantes en la excreción ya que directamente remueven las sustancias tóxicas de la sangre. Para que una sustancia sea eliminada por la orina es necesario que sea soluble en agua. La excreción está fuertemente influenciada por las propiedades físicoquímicas del excretando, las bases débiles pueden excretarse en la orina debido al pH de la orina, aunque los riñones también pueden excretar activamente aniones y cationes orgánicos.
- **Heces:** Las heces son otra ruta importante de excreción. Consisten de la ingesta no absorbida, secreciones biliares, secreciones intestinales y microflora.
- **Bilis:** La bilis contribuye a la excreción de los metabolitos formados en el hígado. Las sustancias con peso molecular mayor a 350 se excretan más fácilmente por esta vía. Algunos iones metálicos, ácidos orgánicos, bases

orgánicas y compuestos neutros se pueden transferir a la bilis por medio de transporte activo. Una vez formada la bilis pasa al intestino para ser excretada con las heces.

- **Aire exhalado:** Así como los compuestos pueden ser inhalados también pueden ser exhalados. Para que esto ocurra el compuesto debe de ser un gas a temperatura corporal.
- **Otros mecanismos:** Las secreciones corporales, como la leche, el sudor y la saliva constituyen vías menores de excreción de tóxicos (39).

Figura N° 01 Rutas que sigue un tóxico en el organismo



Metabolismo

Fuente: Peña Carlos et al. Toxicología Ambiental (39).

2.3.4 Contaminación ambiental

Es un término general que refiere la incorporación de sustancias nocivas al medio ambiente pudiendo ser: Contaminación de agua, suelo, aire, radiactiva, térmica (causado por alta o baja temperatura que altera la calidad del aire y el agua) y acústica (causado por ruido excesivo) (40).

2.3.5 Contaminación Atmosférica

El aire puro es una mezcla gaseosa compuesta aproximadamente de un 78% de Nitrógeno, un 21% de Oxígeno y un 1% de gases como: Dióxido de carbono, ozono, argón, xenón, radón, etc.

Se llama contaminación atmosférica a la adición de cualquier sustancia que altere las propiedades físicas y químicas del aire. Los contaminantes atmosféricos más comunes son el monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno, los óxidos de azufre, los hidrocarburos, los oxidantes fotoquímicos y el material particulado (5).

2.3.6 Contaminación del aire por partículas MP10 y MP2.5

El humo negro que emiten a la atmosfera los camiones diésel es el signo obvio de contaminación que se encuentra con más frecuencia. El humo está constituido mayoritariamente de materia particulada. La materia particulada está formada por pequeñas partículas sólidas y líquidas (que no son de agua pura), que de forma temporal están suspendidas en el aire, y que habitualmente son invisibles a simple vista. En conjunto, sin embargo, tales partículas a menudo forman neblinas que hacen disminuir la visibilidad (6).

Las partículas también son conocidas como partículas suspendidas, aeropartículas, material particulado y aerosoles (Ejemplo: Hollín, polvo, humo y neblinas) (41).

Una característica de las partículas es la heterogeneidad, presente tanto en su génesis como en su característica de tamaño, composición, solubilidad y, como consecuencia multiplicidad de efectos en la salud (42). Es importante saber que respirar aire que contenga partículas es peligroso para la salud humana (6).

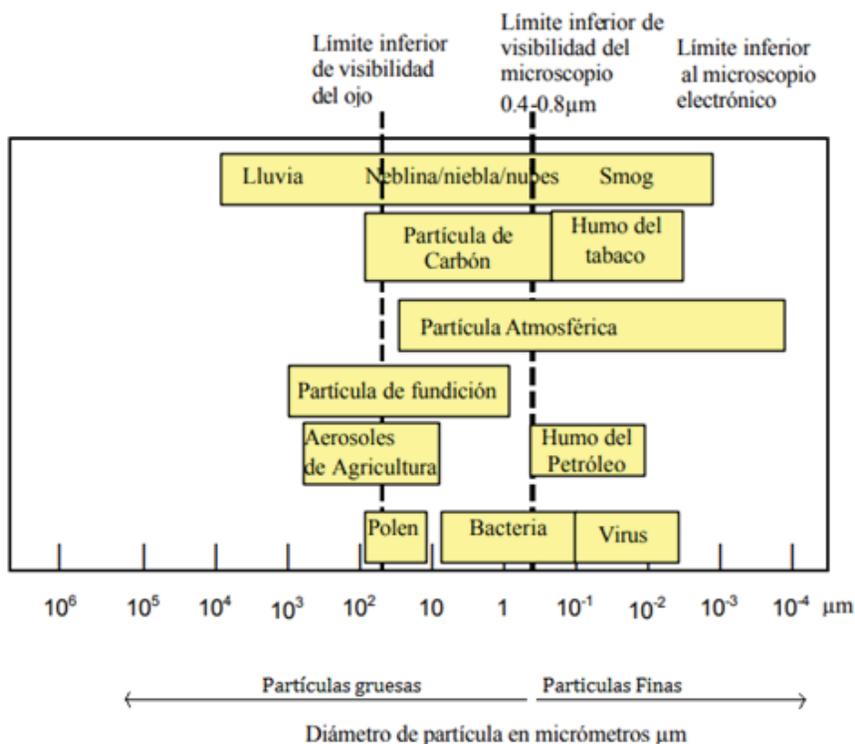
Aunque pocas de las partículas suspendidas son exactamente de forma esférica, es conveniente referirse a todas las partículas como si lo fueran, por las que se han clasificado en términos de diámetro aerodinámico. De acuerdo a su diámetro se clasifican en gruesas, finas y en ultrafinas (41).

La fracción gruesa la componen las partículas cuyo diámetro aerodinámico es mayor a 2.5 μm (6) y se encuentra entre 2.5 y 10 μm (MP2.5-10), la fracción fina comprende las partículas con diámetro aerodinámico menor o igual a 2.5 μm (MP2.5), y las ultrafinas se refieren a las partículas menores a 1 μm (MP1) (41).

En las partículas finas se encuentran los aerosoles primarios del carbón, y aerosoles secundarios resultado de transformaciones químicas seguidas por procesos de condensación. Las partículas gruesas (consideradas como MP10) resultan principalmente de procesos mecánicos como la resuspensión, abrasión o fricción, son predominantemente de origen natural o geológico. Pueden ser por ejemplo esporas, polen, suelos, partículas de hojas, polvos generados por el tráfico automotor o producto del desgaste de las plantas y partículas de emisiones industriales. En la superficie de estas partículas pueden adsorberse otras especies contaminantes (5).

Intuitivamente, se puede pensar que todas las partículas deberían precipitar por la influencia de la gravedad y depositarse con rapidez sobre la superficie terrestre, pero eso no es así para las más pequeñas, debido a las turbulencias del aire. De acuerdo a la ley de Stokes, la velocidad, es decir, la distancia por segundo a la cual las partículas precipitan, aumenta con el cuadrado de su diámetro. Dicho de otra manera, una partícula con la mitad del diámetro que otra precipita cuatro veces más despacio. Las partículas más pequeñas caen tan despacio que permanecen suspendidas en el aire indefinidamente (a no ser que adhieran a algún objeto que encuentren). Las partículas muy pequeñas se agregan para formar otras mayores, aunque a menudo continúan perteneciendo a la categoría de partículas finas. Las partículas finas usualmente permanecen suspendidas en la atmosfera durante días o semanas, mientras que las gruesas precipitan con bastante rapidez de minutos a horas. Además de por estos procesos de sedimentación, las partículas también se eliminan de la troposfera en el término de una o dos semanas de forma natural, comúnmente mediante su incorporación a las gotas de lluvia (6).

Gráfico N° 01 Tamaño de las partículas atmosféricas finas y gruesas



Fuente: Adaptado de J.G Henry y G.W. Heinke. Environmental Science and Engineering (Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1989).

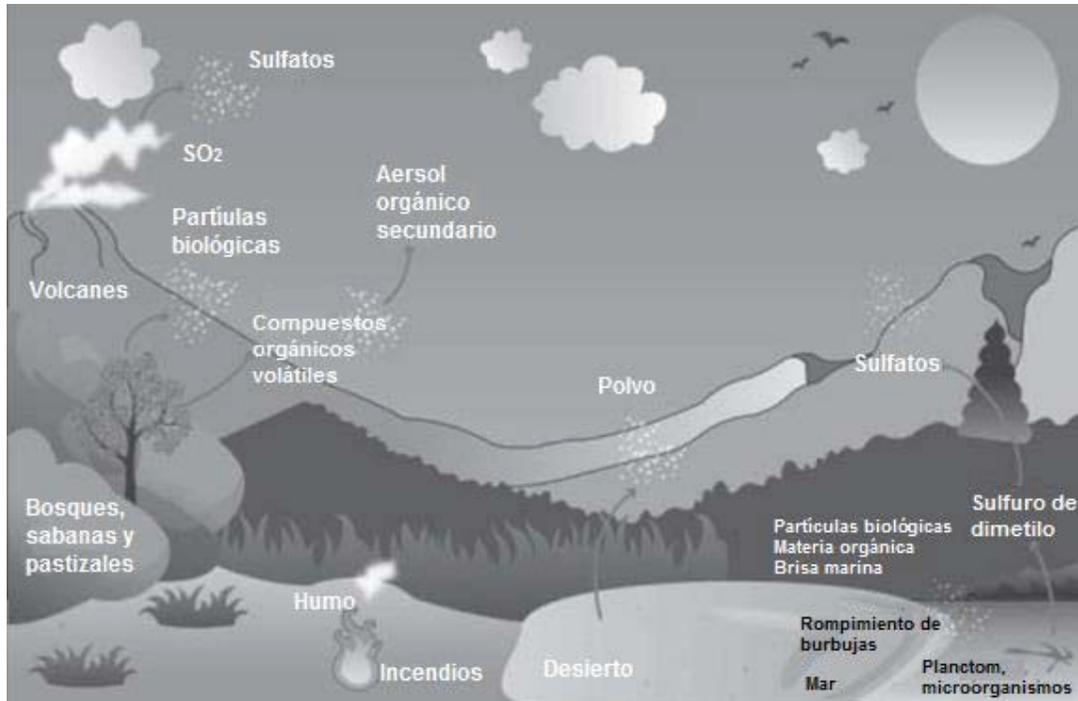
De acuerdo a su origen las partículas se clasifican, al igual que en los demás contaminantes del aire como los gases, en partículas primarias y partículas secundarias.

2.3.6.1 Partículas primarias: Son aquellas que se emiten directamente a la atmósfera por diversas fuentes (por ejemplo, el humo oscuro que se observa en los escapes de coches y camiones, el polvo de las calles).

2.3.6.2 Partículas secundarias: Son aquellas que se forman en la atmósfera como resultado de reacciones químicas a partir de la presencia de materiales gaseosos, llamados precursores. Los principales gases precursores de las partículas son el dióxido de azufre (SO_2), los óxidos de nitrógeno (NO_x), los compuestos orgánicos volátiles (COV) y el amoníaco (NH_3), los cuales forman partículas de sulfatos y nitratos principalmente, así como partículas suspendidas

secundarias orgánicas derivadas de la oxidación fotoquímica de los compuestos orgánicos (41).

Figura N° 02 Fuentes de Material Particulado



Fuente: INE-SEMARNAT (41)

2.3.7 Fuentes y Composición de las Partículas Gruesas (MP10)

La mayoría de las partículas gruesas son primarias, aunque a menudo se forman a partir de materia todavía más gruesa, principalmente por desintegración de trozos más grandes de materia. Los minerales constituyen un tipo importante de partículas gruesas en el aire. Debido a que muchas de las partículas mayores del polvo atmosférico, sobre todo en las zonas rurales, tienen su origen en el suelo o en las rocas, su composición elemental es similar a la de la corteza terrestre, a saber, Al, Ca, Si, y O en formas de silicatos de aluminio, algunos de los cuales también contienen ion calcio (6).

- El viento genera partículas gruesas por desintegración mecánicas de la hojarasca.
- El polen liberado por las plantas está formado por partículas primarias gruesas.

- Los incendios forestales y las erupciones volcánicas generan tanto partículas finas como gruesas.
- Cerca de los océanos y por encima de ellos, la concentración de NaCl es bastante alta, ya que el spray marino da lugar a partículas de cloruros de sodio en suspensión al evaporarse el agua. De hecho, este aerosol marino es, de lejos el mayor contribuyente en masa de partículas primarias en el aire, seguido del polvo edáfico y los restos de incendios naturales, esto es en zonas costeras.

Aunque la mayoría de las partículas gruesas se originan a partir de fuentes naturales, las actividades humanas, tales como la trituración de piedras en las canteras y el cultivo de la tierra, dan como resultado la formación de partículas de roca y de capa superficial del suelo, que son arrastradas por el viento. Las partículas gruesas en muchas zonas son básicas, lo que refleja la presencia de carbonato de calcio y otras sales en los suelos (6).

2.3.8 Fuentes y composición de las partículas finas (MP2.5)

Las partículas finas de origen antropogénico incluyen aquellas que se generan por el desgaste de los neumáticos y por el uso de frenos de los vehículos, así como por el polvo de las fundiciones de metales. La combustión incompleta de los carburantes fósiles como el carbón, el petróleo, la gasolina y el combustible diésel produce partículas de hollín muy finas, que básicamente son pequeños cristales de carbón. En consecuencia, uno de las principales fuentes de partículas primarias carbonosas, tanto finas como gruesas, son los gases de escape de los vehículos, sobre todo los que circulan con motores diésel. Alrededor de la mitad del contenido orgánico procedente de los camiones diésel pesados es carbono elemental (CE), este hollín se ve habitualmente como humo negro que despiden dichos vehículos. (6), también se emiten hidrocarburos pesados y sulfatos. La mayoría de las emisiones que contienen carbono de los motores alimentados por gasolina con compuestos orgánicos (6), pequeñas cantidades de carbón elemental y trazas de metales y sulfatos (41).

Debido a que la mayoría de las partículas finas en el aire urbano son de origen secundario, su número solo puede controlarse por medio de la reducción de las emisiones de los gases contaminantes primarios a partir de los cuales se forman.

En los procesos de combustión se emiten partículas de carbón, pero también materia inorgánica que proviene del contenido de mineral presente en los combustibles (6).

Mientras que las partículas gruesas son el resultado de la rotura de otras mayores, las partículas finas se forman sobre todo por medio de reacciones químicas entre gases y por coagulación (agregados de partículas de diferentes tamaños) de otras especies aun menores, incluidas moléculas en estado de vapor; mayoritariamente son partículas de naturaleza secundaria. Aunque gran parte de la masa de partículas finas atmosféricas procede de fuentes naturales, la que está sobre las aéreas urbanas con frecuencia es en su mayoría de origen antropogénico (6).

El contenido orgánico medio de las partículas finas es generalmente mayor que el de las partículas gruesas. En zonas con prevalencia de smog fotoquímico, se forman una fracción sustancial de compuestos orgánicos en la fase particulada, cuando se combinan los COV y los óxidos de nitrógeno en la reacción del smog fotoquímico, y corresponden a hidrocarburos parcialmente oxidados que han incorporado oxígeno para formar ácidos carboxílicos, etc. Y nitrógeno para formar grupos nitro, etc.

Los hidrocarburos aromáticos con al menos siete átomos de carbono (por ejemplo, el tolueno) que llegan a la atmósfera desde las ciudades como COV a partir de la evaporación de la gasolina también forman aerosoles. Los hidrocarburos con menos de siete átomos de carbono dan productos de oxidación con elevadas presiones de vapor que permanecen en fase gas.

Las otras partículas finas importantes suspendidas en la atmósfera consisten predominantemente en compuestos orgánicos de azufre y de nitrógeno.

Buena parte del azufre natural en el aire se origina a partir del sulfuro de dimetilo, $(\text{CH}_3)_2\text{S}$, que se emite desde los océanos. Un coproducto de su oxidación en el aire es el sulfuro de carbonilo, COS, que es un componente atmosférico traza de

larga vida y que también resulta de la oxidación del disulfuro de carbono, CS₂, así como las emisiones directas de los océanos y de la biomasa. Una parte del COS llega a la estratosfera, donde se oxida y da lugar al aerosol natural de sulfato que se encuentra en esas altitudes. Tanto el sulfuro de dimetilo como el sulfuro de hidrógeno se oxidan en el aire, principalmente, a SO₂ (6).

El dióxido de azufre gas también es emitido directamente en grandes cantidades por fuentes naturales como los volcanes y por fuentes antropogénico como las centrales de energía y las fundiciones. El SO₂ se oxida en el aire a ácido sulfúrico y a sulfatos en horas o días. El ácido sulfúrico viaja al aire no como gas, sino en forma de pequeñas gotas de aerosol, ya que presenta una gran afinidad por las moléculas de agua (6).

Tabla N° 01 Principales fuentes de emisión de las partículas finas y gruesas

	Tipos de Partículas	
	Finas (≤ PM2.5)	Gruesas (PM2.5-PM10)
Fuente de emisión	<ul style="list-style-type: none"> -Combustión fósil y combustible de biomasa, temperatura alta de procesos industriales fundidoras, refinerías, aceras, etc. -Oxidación atmosférica de NO₂, SO₂ y compuestos orgánicos, incluidos especies orgánicas biogénicas, por ejemplo terpenos. 	<ul style="list-style-type: none"> -Resuspensión de partículas depositadas en las calles. -Llantas, residuos de los caminos y de balatas de freno. -Suspensión de suelos (cultivos, minería, calles no pavimentadas) -Construcción y demolición. -Cenizas de combustión de carbón no controlado, petróleo y madera. -Brisa marina.

Fuente: INE-SEMARNAT (41)

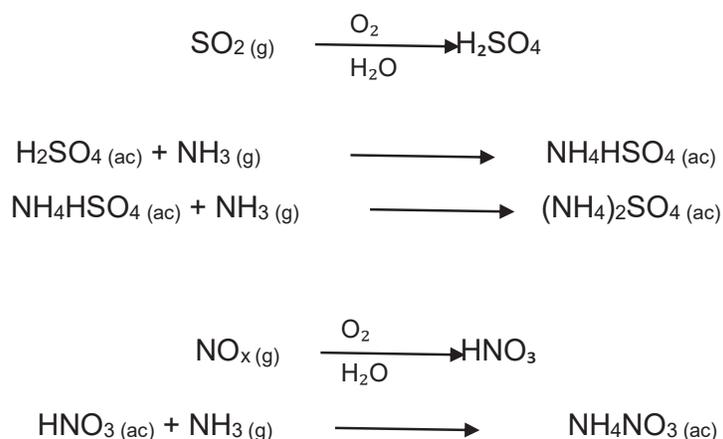
2.3.9 Neutralización de ácidos en el aire

Las partículas finas son acidas en muchas zonas debido a su contenido en ácido sulfúrico y nítrico. El ácido nítrico es el producto final de la oxidación de los gases

atmosféricos que contienen nitrógeno, tales como NH₃, NO y NO₂ mientras que el ácido sulfúrico se origina a partir de la oxidación del SO₂ (6).

Puesto que el HNO₃, tiene una presión de vapor mayor que el H₂SO₄, hay una menor condensación de ácido nítrico en las partículas preexistentes que en el caso H₂SO₄.

Los dos ácidos, nítrico y sulfúrico, encuentran a menudo en el aire troposférico el gas amoniac que se emite como consecuencia de los procesos de descomposición biológica que tienen lugar a nivel del suelo. Los ácidos atmosféricos participan en reacciones acido-base con el amoniac y se transforman en las sales solubles sulfato de amonio, (NH₄)₂SO₄, y nitrato de amonio, NH₄NO₃. Puesto que el ácido sulfúrico contiene dos iones hidrogeno, la reacción de neutralización transcurre en dos etapas, y en la primera se produce sulfato ácido de amonio, NH₄HSO₄ (6).



El amoniac que proviene de la orina animal se origina a partir de la hidrolisis de la urea.



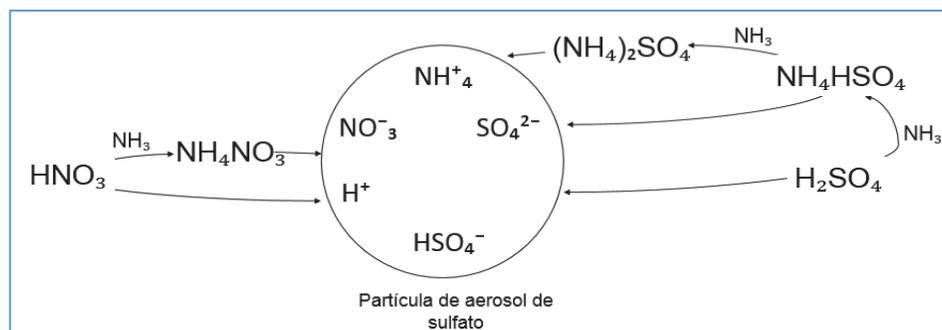
La neutralización de la acidez debida al amoniac gas, emitido del aire por el ganado, por el uso de fertilizantes y por el ion carbonato suspendido en el aire procedente del polvo que levanta a causa de la actividades agrícolas, es la causa principal de que la lluvia en la zona central de los Estados Unidos no sea acida, al igual que sucede en ciertas regiones de China. Sin embargo, se da una cierta

acidificación debida a la ionización del **ion** amonio, NH_4^+ , que es un ácido débil producido por la neutralización del amoniaco (6).



Si bien las sales de sulfuro y de nitrato se forman inicialmente a partir de los ácidos en las partículas acuosas, la evaporación del agua puede originar la producción de partículas sólidas. Los iones predominantes en las partículas finas son los aniones sulfato, SO_4^{2-} , ácido sulfato, HSO_4^- , y nitrato, NO_3^- , y los cationes amonio, NH_4^+ , y ion hidrogeno, H^+ . Los aerosoles que están constituidos por compuestos oxidados de azufre se denominan aerosoles de sulfato (6).

Figura N° 03 Neutralización de ácidos en el aire



Fuente: Química ambiental. Baird, Collin. (6)

En la costa oeste de América del Norte es el nitrato y no el sulfato el anión predominante, ya que existe una mayor contaminación por óxidos de nitrógeno que por dióxido de azufre (6). Si hay una cantidad sustancial de amoniaco gas en el aire, el ácido nítrico reacciona con aquel para formar nitrato de amonio sólido (6).

En resumen, las partículas gruesas habitualmente son de hollín o de naturaleza inorgánica (edáfica), mientras que las finas son, sobre todo, de hollín o de aerosoles de sulfato o nitrato. Las partículas finas son usualmente ácidas, debido a la presencia de ácidos no neutralizados, aunque en último término son neutralizadas por el amoniaco, mientras que las gruesas son en general básicas, debido a su contenido edáfico (6).

2.3.10 Composición de material particulado

Es así que dependiendo del tipo de partículas y de su fuente de emisión se pueden encontrar tanto compuestos mayoritarios como minoritario.

2.3.10.1 Compuestos mayoritarios

Estos compuestos generalmente conforman la mayor parte de la masa de las partículas, y sobresalen los siguientes:

- Sulfatos. Son principalmente componentes secundarios que se originan de la oxidación del SO_2 , aunque pueden estar presentes como un componente primario derivado de la sal de los mares o de la materia mineral, como el yeso.
- Nitratos. La forma más común de los nitratos en las partículas suspendidas es como NH_4NO_3 , compuesto que se deriva de la neutralización de vapores de HNO_3 por NH_3 . También los nitratos pueden estar presentes como nitrato de sodio.
- Amonio. Los compuestos más comunes de amonio presentes en las partículas son el sulfato de amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) y el nitrato de amonio (NH_4NO_3).
- Sodio y cloro. Principalmente se originan de la sal marina.
- Carbón elemental. Está constituido principalmente por carbón negro (hollín) formado durante la combustión de combustibles fósiles y biomasa.
- Carbón orgánico. Comprende los compuestos orgánicos, tanto primarios, derivados de fuentes móviles o industriales, como secundarios, resultado de la oxidación de compuestos orgánicos volátiles.
- Componentes minerales. Se originan del material de suelo y roca por procesos de la fuerza del viento, de construcción y demolición. Los suelos y las rocas son ricos en aluminio, sílice, hierro y calcio.
- Agua. Hay componentes en las partículas ambientales, especialmente las sales como $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4NO_3 y NaCl , que pueden tomar agua de la atmósfera y convertirse en gotas líquidas. Esta agua puede representar un componente significativo de la masa de las partículas (41).

2.3.10.2 Compuestos minoritarios

Estos compuestos pueden estar presentes adicionalmente a los compuestos mayoritarios en las partículas ambientales o formar parte de ellos. Los principales compuestos minoritarios son:

- Elementos traza. Ejemplos de estos son los metales, como plomo, cadmio, mercurio, níquel, cromo, zinc y manganeso, los cuales pueden ser emitidos por procesos metalúrgicos, sistemas de combustión, etc.
- Compuestos orgánicos traza. A pesar de que la masa total de los compuestos orgánicos puede conformar una parte significativa de la masa total de las partículas, hay una importante cantidad de compuestos orgánicos individuales que están presentes en muy bajas concentraciones; ejemplos de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y alifáticos, los aldehídos, los ácidos carboxílicos y las cetonas, entre otros (41).

Tabla N° 02 Componentes mayoritarios y minoritarios en material particulado

Compuestos mayoritarios	Compuestos minoritarios
<ul style="list-style-type: none">• Sulfatos (SO₄)• Nitratos (NO₃)• Amonio (NH₄)• Sodio y Cloro (Na y Cl)• Carbón elemental• Carbón orgánico o aerosol orgánico secundario (SOA)• Componentes minerales o Fe₂O₃, Ca, Si y Al.• Agua	<ul style="list-style-type: none">• Elementos traza: ejemplo metales como plomo (Pb), Cadmio (Cd), mercurio (Hg), Níquel (Ni), Cromo (Cr), Zinc (Zn) y Magnesio (Mg), etc.• Compuestos orgánicos: Hidrocarburos aromáticos policíclicos, alifáticos, aldehídos, ácidos carboxílicos y cetonas, entre otros.

Fuente: INE-SEMARNAT (41)

2.3.11 Radicales libres

Radical libre es aquella especie química que contiene uno o más electrones desapareados en su capa de valencia. La presencia de electrones desapareados hace que los radicales libres sean muy reactivos, ya que tienden a capturar un electrón de cualquier molécula disponible para alcanzar su estabilidad (43).

En la naturaleza los radicales libres son compuestos generalmente oxigenados y se denominan especies reactivas de oxígeno (ROS), aunque también existen las especies reactivas de nitrógeno (RNS). Dentro de los ROS incluyen

superóxido (O°_2), peróxido (ROO°), alcoxilo (RO°), hidroxilo ($^{\circ}OH$), además de las ROS, hay otras especies de radicales como el oxígeno (O_2), ácido hipocloroso ($HOCl$) y peróxido de hidrógeno (H_2O_2), el cual es el principal precursor de $^{\circ}OH$ y dentro de los RNS incluye a óxido nítrico (NO°) y el dióxido de nitrógeno (NO°_2) (44).

El superóxido (O°_2) se forma fundamentalmente en la oxidación mitocondrial pero también en otros procesos enzimáticos (como en las reacciones catalizadas NADPH-oxidasa, oxidasas/deshidrogenasas, flavoproteínas y metaloproteínas), por lo que es el ROS más abundante. Así mismo, se tiene a la xantina oxidasa, que genera ácido úrico y (O°_2). Además este radical es producido por los fagocitos para destruir microorganismos (43,44).

2.3.12 Estrés oxidativo y daño a estructuras celulares

Por su elevada inestabilidad, los radicales libres pueden reaccionar con moléculas de las células quitándoles un electrón, lo que las oxida y conduce a la pérdida de la función celular (44).

La protección de un organismo contra las ROS y las RNS involucra la actividad de varias enzimas antioxidantes como la catalasa (CAT), la superóxido dismutasa (SOD), la glutatión peroxidasa (GPX) y la glutatión reductasa (Grd), así como de algunas sustancias endógenas y exógenas como el glutatión reducido (GSH), el ácido úrico, los flavonoides, las vitaminas E y C, entre otros (44).

El desequilibrio entre el incremento de la producción de radicales libres y la capacidad o insuficiencia de los mecanismos de protección antioxidante para neutralizarlos, genera estrés oxidativo o nitrosativo, lo que daña estructuras vitales de la célula, ya que son responsables del daño oxidativo de macromoléculas biológicas como el ADN, lípidos, carbohidratos y proteínas, ocasionando muerte celular (44).

2.3.13 Generación de ROS catalizada por metales de transición y peroxidación lipídica como daño celular

A pesar de no ser un buen oxidante, el O°_2 tiene un papel clave en las oxidaciones mediadas por radicales libres dada por su capacidad de producción de HO° a partir de H_2O_2 catalizada por metales de transición (fundamentalmente

hierro y en menor medida el cobre). Estos iones de metales de transición, producen la ruptura homolítica de H_2O_2 , también de $ROOH$ dando como productos HO^\bullet (hidroxilo) y RO^\bullet (alcohexilo). Estos últimos son responsables de iniciar la reacción en cadena de la **peroxidación lipídica** (oxidación de lípidos) ocasionando daño a los fosfolípidos de las membranas celulares (45).

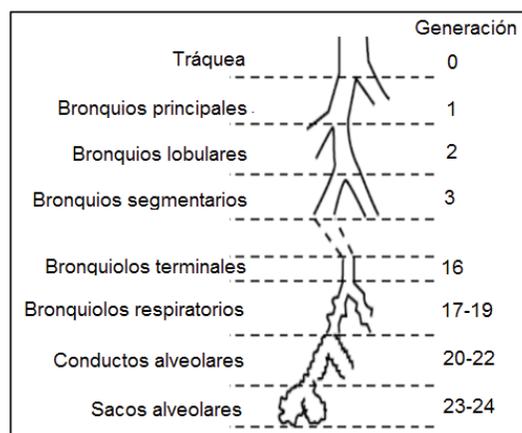
2.3.14 Anatomía de los Pulmones

Los pulmones están genialmente contruidos para cumplir funciones como el intercambio de gases entre el aire inspirado y la sangre. El pulmón derecho se divide en tres lóbulos (superior, medio e inferior) y el pulmón izquierdo en dos lóbulos (superior e inferior) (46).

2.3.14.1 Vías respiratorias

Se dividen en superior e inferior, la superior compuesta por la nariz, la faringe y la laringe. La vía aérea inferior está compuesta por la tráquea, bronquios, bronquiolos, bronquiolos respiratorios, conductos alveolares y sacos alveolares. Entre la tráquea y los sacos alveolares, las vías respiratorias se dividen 23 veces. Las primeras 16 generaciones de conductos constituyen la zona de conducción de las vías respiratorias que transportan el gas desde y hacia, el exterior; están conformadas por los bronquios, bronquiolos y bronquiolos terminales. Las siete generaciones restantes conforman las zonas de transición y respiratoria, donde ocurre el intercambio respiratorio; están formadas por los bronquios respiratorios, conductos alveolares y alveolos. (47)

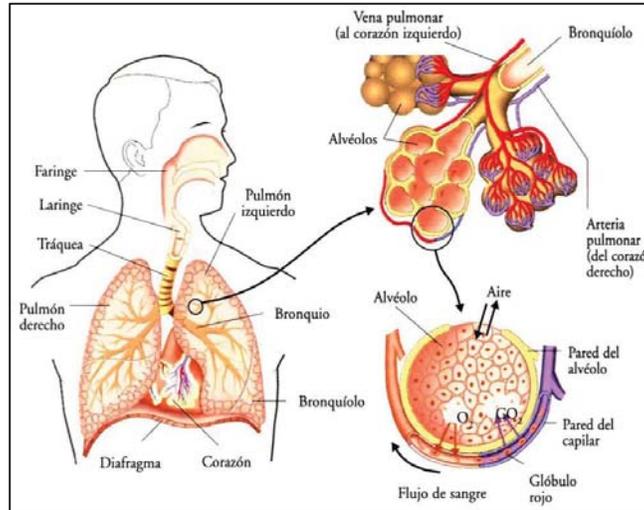
Figura N° 04 Esquema de dicotomización de la vía aérea desde la tráquea hasta los sacos alveolares



Fuente: Manual para el uso y la interpretación de la espirometría por el médico (46)

La porción de los pulmones, distal a los bronquiolos terminales se denomina acino el cual está compuesto de bronquiolos respiratorios, conductos alveolares y sacos alveolares que cuentan con una pared íntegramente constituida por alveolos, que son el punto de intercambio gaseoso (48).

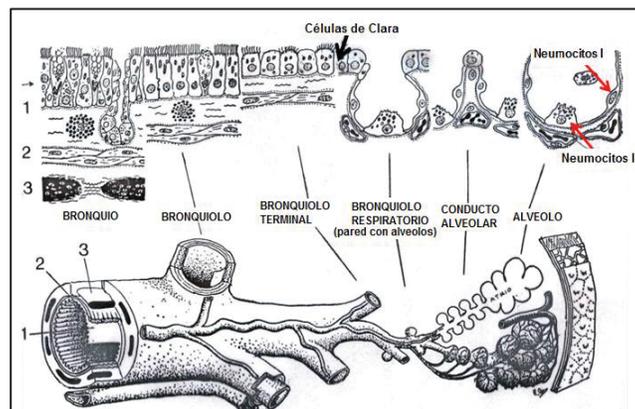
Figura N° 05 Ilustración del sistema respiratorio



Fuentes: Sistema Respiratorio. (49)

Salvo las cuerdas vocales, que están cubiertas de un epitelio pavimentoso estratificado, todo el árbol respiratorio, incluidas la laringe, la tráquea y los bronquiolos, se encuentran revestidos de células epiteliales ciliadas, cilíndricas, altas y pseudoestratificadas. Numerosas células caliciformes secretoras de moco y glándulas submucosas se hallan dispersas a lo largo de las paredes traqueales y bronquiales (pero no en los bronquiolos) (48).

Figura N° 06 Estructuras de las vías aéreas



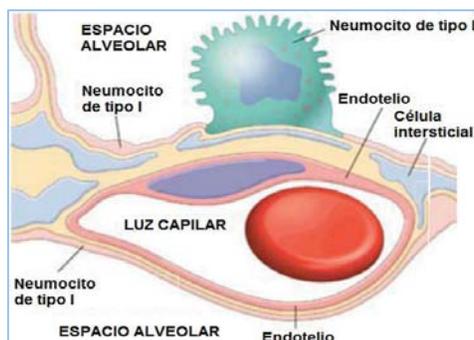
Fuente: Sistema Respiratorio (50)

2.3.14.2 Alvéolos

Están rodeados por capilares pulmonares. En las áreas alveolares, el aire y la sangre están separadas solo por el epitelio alveolar, espacio intersticial y endotelio capilar. A estos elementos se le llama como membrana alveolocapilar el cual se detalla de la siguiente manera:

- Un endotelio capilar
- Una membrana basal y tejido intersticial circundante, que separan las células endoteliales de las epiteliales que recubren el alveolo. El espacio intersticial está integrado por fibras elásticas finas, pequeños haces de colágeno, unas cuantas células intersticiales parecidas a fibroblastos, células musculares lisas, mastocitos y escasos linfocitos y monocitos (48).
- El epitelio alveolar, una capa continua configurada por células de dos tipos: los neumocitos de tipo I, planos, que cubren el 95% de la superficie alveolar, y los neumocitos de tipo II redondeados. Estos últimos sintetizan el surfactante y participan en la reparación del epitelio alveolar por su capacidad de generar neumocitos de tipo I (48).
- En el interior de los alveolos normalmente se puede encontrar células libres que participan en los mecanismos de defensa y las más predominantes son macrófagos alveolares seguidas de los linfocitos (46). Los macrófagos alveolares, fijados débilmente a las células epiteliales o libres en los espacios alveolares, derivan de los monocitos sanguíneos. Muchas veces están llenos de partículas de carbón y otras sustancias fagocitadas (48).

Figura N° 07 Estructura microscópica de la pared alveolar



Fuente: Patología estructural y funcional (48)

2.3.15 Barreras de la mucosa respiratoria

El árbol respiratorio representa una barrera mecánica similar a la de la piel, pero que carece de capa cornea. Por el pulmón pasa 10.000 litros de aire cada día, aire que lleva microorganismos que deben ser atrapados y eliminados o destruidos. Las células del epitelio están coronadas por cilios y tienen intercaladas células caliciformes, secretoras de mucus y células serosas productoras de un líquido relativamente fluido. Está cubierta serosa-mucosa representa una estructura de defensa cuyo componente más importante es la mucina, una glucoproteína de alto peso molecular. Las moléculas de mucina son asimétricas, flexibles y atrapan entre ellas gran cantidad de agua. Aunque su producción es continua, esta se incrementa por estímulos irritativos, efectos hormonales, alcohol, prostaglandinas y estímulos nerviosos parasimpáticos (51).

Las células ciliadas están presentes desde la nariz hasta la décimo séptima división bronquial y tiene cada una de ellas 200 cilios. La punta de los cilios se ancla en la capa mucosa externa y su movimiento es rápido hacia el exterior del árbol respiratorio y lento en su retroceso garantizando la expulsión de un mayor porcentaje de partículas que ingresan (51).

La mucosa del árbol respiratorio, en caso de infecciones, se hacen presentes DCs (células dendríticas) que atrapan, digieren y extraen de los microorganismos las moléculas más antigénicas para llevarlas a los Ls (linfocitos) que son activados en los ganglios linfáticos, migran al tejido bronquial en donde se ubican y quedan a la espera de la llegada de microorganismos con las cuales fueron programados. Otros inician la producción de Acs (anticuerpos) de la clase IgA que al unirse con los microorganismos evitan que estos se adhieran a la mucosa respiratoria (51).

El flujo de células del sistema inmune al tejido bronquial y alveolar, está regulado por la expresión de quimioquinas y sus receptores, y su activación está a cargo de diferentes citoquinas (51).

Una serie de factores con capacidad bactericida importante, refuerzan el poder protector de la mucosa. **La lisozima**, por ejemplo, es una enzima con capacidad de destruir la membrana celular de muchos gérmenes gram positivos, al atacar

el lazo de unión entre el ácido murámico y la acetil glucosamida, presentes en la membrana celular de estos gérmenes. El **surfactante**, sustancia tensoactiva, también participa en la defensa contra microorganismos, pues además de evitar el colapso de los alveolos estimula a los macrófagos a producir citoquinas como IL-3 y el GM-CSF (factor estimulador de la formación de colonias de granulocitos y macrófagos) (51).

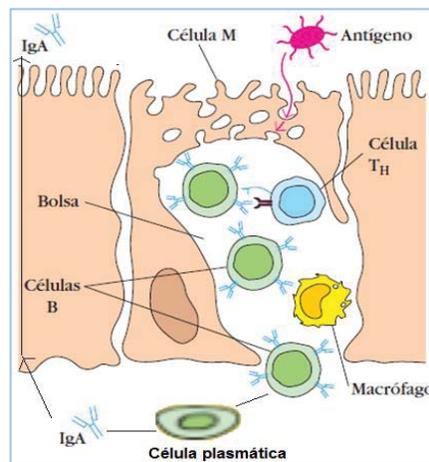
Por otra parte, un grupo de **macrófagos** especializados traspasan la pared de los alveolos y patrullan la luz de los mismos para fagocitar los gérmenes o partículas extrañas que entran por vía aérea. Si se presenta una agresión por bacterias, se inicia un proceso inflamatorio donde el macrófago ayuda al ataque inmunitario al procesar los antígenos inhalados y secretan sustancias que atraen a los granulocitos o PMN (polimorfonucleares) que las fagocitan y destruyen. Esta acción se ve reforzada por las NKs (linfocitos asesinos naturales) (47,51).

Los LsT (linfocitos T) se colocan unos en forma intercalada entre las células epiteliales, estos LsT forman acúmulos linfoides conocidos como BALT que actúan cuando hay una agresión bacteriana (51). La mucosa que recubre el aparato digestivo, respiratorio y urogenital son los principales sitios de entrada de la mayor parte de los agentes patógenos. Estas vulnerables membranas están defendidas por un grupo de tejidos linfoides organizados llamados tejido linfático asociado a la mucosa (MALT). El tejido linfoide relacionado con el epitelio respiratorio se denomina tejido linfoide asociado al árbol bronquial (**BALT**) (52), el cual es un tejido linfoide no encapsulado sin organización especial abundante en la lámina propia y en la submucosa en este caso del tracto respiratorio, similar a un ganglio linfático. Está formada por una red de células necesarias para una respuesta inmune específica siendo células B, células T (Helper) y CPA (células presentadoras de antígeno) como macrófagos y DCs (células dendríticas). Los linfocitos se encuentran en mayor porcentaje, también se hallan linfoblastos y células plasmáticas (51,52).

Los bronquios además de estar cubiertas por células epiteliales ciliadas también cuentan con un epitelio especializado formado por células M que son células epiteliales aplanadas desprovista de cilios y glándulas las cuales cubren (Ver Figura N°08). Su función es establecer contacto de los microorganismos con los acúmulos linfoides del BALT, los antígenos se desplazan por endocitosis a través

de la célula M llegando a los grupos de linfocitos y células presentadoras de antígeno (CPA), como las células T_H (Helper) y las CDs siendo éstas las más importantes. Los antígenos que las células M trasladan a través de la mucosa en última instancia provocan la activación de células B que se diferencian en células plasmáticas y secretan IgA, estas migran a lo largo de la submucosa y constituye un recurso importante para combatir infecciones en mucosas (52).

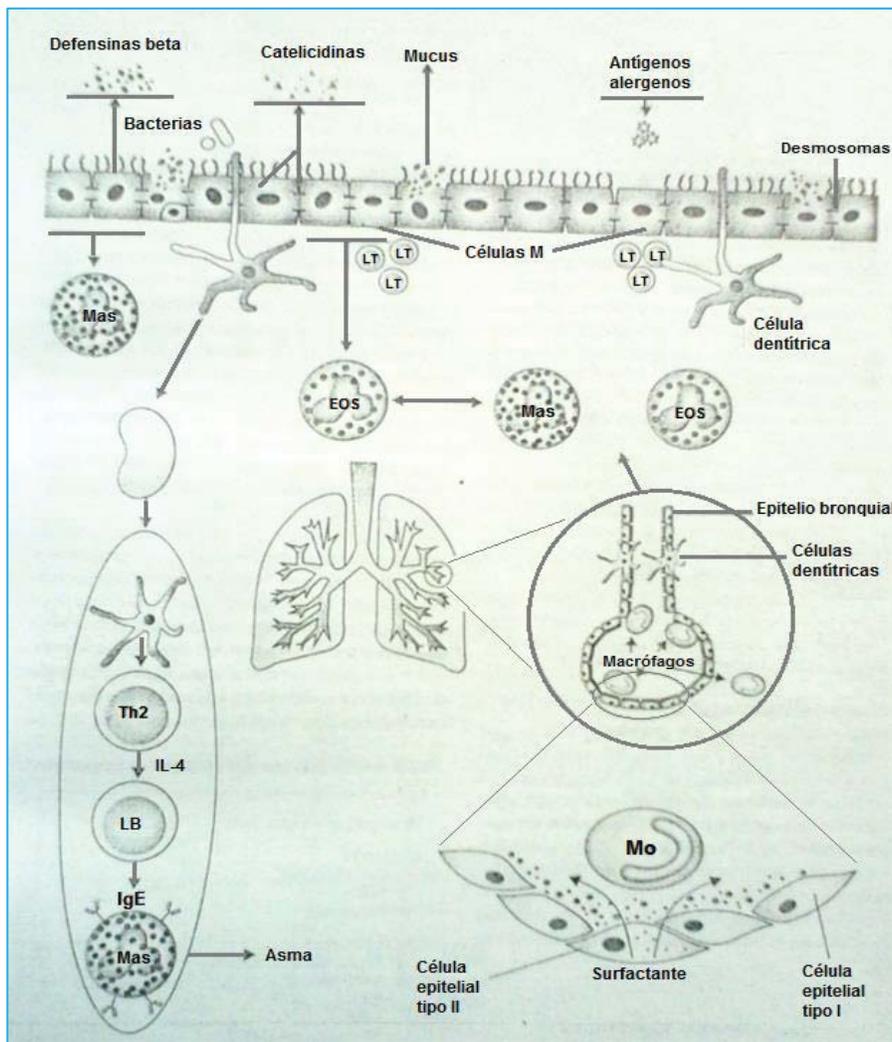
Figura N° 08 Estructura de células M y producción de IgA en sitios inductores



Fuente: Adaptado de Inmunología de Kuby (52)

En la Figura N° 09 se observa los componentes de la mucosa respiratoria, donde además de las células ciliadas y de las células productoras de mucus, hay en la mucosa respiratoria DC (células dendríticas) que se insinúan entre las epiteliales y capturan bacterias y moléculas extrañas que entran en el aire. Si se produce una infección bronquial, se generan células M que capturan igualmente microorganismos y los presentan a acúmulos linfoides (BALT) que se forman en la submucosa. Las DCs, llevan a los ganglios la información sobre los microorganismos que ingresaron en el aire, para iniciar una respuesta de tipo adquirido que refuerce la defensa. Igualmente a nivel del alveolo hay macrófagos especiales que los patrullan y capturan todo lo anormal que llegue en el aire inspirado. Los neumocitos producen surfactantes, varios de los cuales ayudan en la defensa.

Figura N° 09 Componentes de la mucosa respiratoria



LT: Linfocito T, Mas: Mastocito, EOS: Eosinófilo, Mo: Macrófago, LB: Linfocito B, Th2: Linfocito ayudador 2
 Fuente: Inmunología de Rojas (51)

2.3.16 Consecuencias del aire contaminado por partículas sobre la salud

Cuando se controla la calidad del aire, la medida más común para expresar la concentración de las partículas en suspensión es el índice MP, que corresponde a la cantidad de materia partículas presente en un volumen dado. Las unidades usuales son los microgramos de materia particulada por metro cúbico de aire ($\mu\text{g m}^{-3}$) (6).

Al MP10 se conocen como **partículas inhalables**, ya que pueden respirarse y penetrar hasta los pulmones. Al MP2.5 se las **conocen como partículas respirables**. El rango respirable incluye solo partículas que pueden penetrar

más profundamente en los pulmones, donde no hay mecanismos naturales, tales como los cilios que sí recubren las paredes de los tubos bronquiales, que puedan atrapar las partículas y expulsarlas hacia arriba y al exterior (6).

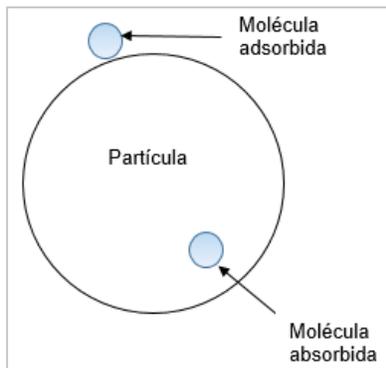
Una razón importante por la que las partículas inhaladas causan tanto daño a la salud humana es la capacidad que tienen de transportar moléculas orgánicas e iones metálicos sobre su superficie hacia los pulmones, donde se liberan. Las sustancias que se disuelven en la masa de las partículas se dice que están absorbidas; aquellas que simplemente se adhieren a la superficie de la partícula se dice que están adsorbidas (véase Figura N° 10). Un ejemplo importante lo representa la adsorción de grandes moléculas orgánicas en la superficie de las partículas de carbono (hollín). Muchas partículas atmosféricas insolubles están rodeadas por una película de agua, que puede disolver otras sustancias (6).

Las partículas mayores (las gruesas) preocupan menos con relación a la salud humana que las pequeñas (finas) que tienen un mayor efecto nocivo, por diversas razones:

- La exposición humana a las partículas gruesas es reducida, ya que estas precipitan rápidamente.
- Cuando se inhalan, las partículas gruesas quedan convenientemente retenidas en la nariz (por los pelos) y la garganta, y en general no viajan más allá de los pulmones.

Por el contrario, las partículas finas inhaladas a menudo viajan a través de los pulmones (por esta razón se denominan respirables), pueden ser **adsorbidas sobre las superficies celulares** y, en consecuencia, pueden afectar a la salud.

Figura N° 10 Diferencia entre adsorción y absorción de moléculas sobre una partícula atmosférica y dentro de ella



Fuente: Baird, Colin; Michael, Cann (6)

Es clara la relación entre MP suspendido y su efecto en la salud humana de las poblaciones urbanas de todo el mundo. Sus efectos se manifiestan en varios sistemas: respiratorio, cardiovascular, neurológico, afecta a niños, adultos y varios grupos susceptibles dentro de la población general. Así a una mayor exposición, mayor riesgo de desarrollar dichas patologías sin que exista un valor umbral en el cual no hay efectos adversos para la salud, encontrándose en los países desarrollados que a concentraciones base estimadas en 3-5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de partículas de 2.5 micrómetros (MP2.5) ya se producen alteraciones en los individuos expuestos tanto a corto como a largo plazo (23).

Altos niveles de material particulado son acompañados por elevadas concentraciones de SO_2 , NO_2 y otros contaminantes que pueden llegar a ser absorbido sobre la superficie de muy pequeñas partículas y transportado dentro del pulmón. El SO_2 y NO_2 dentro de las partículas generan ácido sulfúrico y nítrico o sulfatos y nitratos respectivamente, por lo tanto las partículas que contienen sulfato y nitrato pueden ser ácidos causando irritación a la mucosa respiratoria (10). El contenido de sulfatos a altas concentraciones se ha asociado con un aumento de tasas de mortalidad (23).

La neutralización de los ácidos sulfúricos mediante fuentes endógenas buffer como gas amoníaco en el moco de la vía aérea y la partición del flujo de aire entre nariz y boca disminuyen su efecto nocivo (23). Sin embargo pruebas que indican que la acidez de la contaminación es el principal agente causante de la disfunción pulmonar, incluidas la respiración ruidosa y la bronquitis en niños. Los

asmáticos resultan negativamente afectados por los aerosoles ácidos de sulfato, incluso a bajas concentraciones (6).

Estudios epidemiológicos han tenido un papel importante en la formulación de valores guía de MP en el aire, gracias a la medición de sus efectos en mortalidad y morbilidad a muy bajos niveles de exposición (23).

Se han demostrado la existencia de correlaciones coherentes entre la mortalidad cardiopulmonar y la exposición tanto aguda como a largo plazo a concentraciones de partículas atmosféricas, en especial al componente fino (MP2.5) y se encontró que las partículas finas más peligrosas eran de sulfato y carbón orgánico. De hecho, se ha visto que la contaminación por partículas tiene una mayor influencia en la degradación de la salud humana que la producida directamente por cualquier contaminante gaseosa, incluido el ozono (6). Es así que aumento de $10\text{mg}/\text{m}^3$ en las partículas atmosféricas menores de $10\mu\text{m}$ de tamaño se correlaciona con un aumento del 0.5% en la mortalidad diaria (53).

Un estudio realizado por Silva (2012) refiere que diversos estudios epidemiológicos demuestran que la exposición a material particulado, incluso a niveles situados por debajo de la norma, se asocian con un incremento en la incidencia y severidad del asma, y con el deterioro de la función pulmonar, así como con otras enfermedades respiratorias en niños y adolescentes (13).

Los efectos que las partículas causan en la salud de las personas han estado históricamente asociados a la exacerbación de enfermedades de tipo respiratorio, tales como la bronquitis, y más recientemente también se han analizado y demostrado sus efectos sobre dolencias de tipo cardiovascular. Los últimos trabajos científicos sugieren que particularmente las partículas procedentes del tráfico urbano, está asociado al creciente desarrollo del asma y alergias entre la población infantil (54). Por ejemplo un estudio realizado en Lima-Perú (2009) vio una prevalencia alta de asma en niños expuestos a la contaminación (MP 2.5) y que hubo un aumento de los síntomas asmáticos con el incremento del tráfico vehicular (55).

En Arequipa (2004) asoció la exposición a contaminantes (CO y MP) y la prevalencia a afecciones encontrando: Rinitis Alérgica, Conjuntivitis alérgica, Faringitis crónica, Dermatitis alérgica, Asma bronquial y Bronquitis crónica

siendo mayor en comerciantes que transportistas, policías de tránsito y amas de casa (56).

La exposición aguda a las emisiones de los tubos de escape diésel que contiene partículas finas puede causar irritación a los ojos, la garganta y los pulmones, inducir ataques de asma, y promover isquemia miocárdica (48).

La EPA estadounidense ha clasificado a los gases de escape de los motores diésel como probable cancerígeno para el hombre. En este mismo contexto Landen y colaboradores realizaron un estudio, donde encontraron un aumento en la mortalidad por cáncer pulmonar y muertes cardiovasculares asociado con un cambio de $10 \mu\text{g} / \text{m}^3$ de MP10 (41).

El material particulado acompañado con otros contaminantes están asociados a enfermedades respiratorias a través de dos reacciones a los contaminantes por el sistema respiratorio. La primera es reacciona aguda, tal como bronquitis irritable y la segunda, las reacciones crónicas, tal como bronquitis crónica y enfisema pulmonar (57).

- **Bronquitis:** Se refiere a la condición de inflamación del árbol bronquial
- **Bronquitis crónica:** Es una inflamación sostenida del sistema bronquial, generando incremento en el volumen de secreciones de mucosidad bronquial suficiente para causar expectoración.
- **Enfisema:** Condición en la cual el alveolo en el pulmón llega a ser desigual y sobredistensionado debido a la destrucción de las paredes alveolares. La destrucción del alveolo es progresiva, resultando en incremento del flujo sanguíneo necesario para lograr transferir el oxígeno y una disminución en la habilidad para eliminar compuestos externos lo cual satura la región alveolar (57).

2.3.17 Mecanismo de defensa de los pulmones frente a MP

La función pulmonar está íntimamente ligada con la estructura de las vías aéreas y del parénquima pulmonar, el pulmón se divide en dos compartimentos la zona de conducción y la zona respiratoria (58).

Las vías aéreas de la zona de conducción no participan del intercambio gaseoso, siendo su misión la de permitir el movimiento que se produce con cada

respiración de aire hacia el interior de los pulmones en la inspiración y su posterior expulsión con la espiración. Esta zona de conducción es el lugar donde se produce la obstrucción de las vías aéreas en enfermedades como el asma o el EPOC. (58)

Desde el punto de vista microscópico, conviene recordar que con excepción de las cuerdas vocales, revestidas de epitelio estratificado pavimentoso, todo el árbol respiratorio, incluyendo laringe, tráquea y bronquiolos, está revestido de células epiteliales ciliadas cilíndricas, altas y pseudoestratificadas, mezcladas con células caliciformes que secretan moco. El moco humedece el aire inspirado e impide el desencadenamiento de las paredes alveolares delicadas, además de atrapar polvo y sustancias extrañas (58).

Existen tres mecanismos de defensa: Aclaramiento nasal, aclaramiento traqueobronquial y alveolar.

Cuando se inhalan partículas con tamaños mayores a 10 μm , estas quedan detenidas y depositadas en la nariz y garganta, donde son eliminadas por la tos o estornudo. El sistema respiratorio, desde la nariz a través de la región **traqueobronquial**, está recubierto por una capa de mucosa en movimiento continuo en dirección ascendente causado por el movimiento de los cilios. Las partículas grandes depositadas en la mucosa son transportadas fuera del sistema respiratorio hasta la garganta, desde donde son tragadas con la saliva hacia el tracto gastrointestinal. Las que penetran a los pulmones frecuentemente no va más allá de los bronquios y pronto son expulsadas por la acción ciliar con la ayuda del reflejo tusígeno (42).

Las partículas provenientes de la combustión de combustibles fósiles suelen tener tamaños en el intervalo 0.5–5 μm y están dentro del intervalo que pudiera denominarse respirable (42). La mayoría de ellas se depositan en los bronquios y son retiradas por los cilios en unas dos horas. En las regiones pulmonares no ciliadas (bronquiolos terminales), los macrófagos llevan las partículas a la región ciliada. Algunas partículas llegan a los alveolos, como ocurre con las de tamaños inferiores a 0.5 μm y el tiempo de residencia es mucho mayor, de aquí que los efectos potencialmente dañinos para la salud sea potencialmente elevadas (42), más aun cuando las partículas se absorben y pasan a los fluidos corporales.

Las partículas sólidas o bacterias depositadas en los alveolos son fagocitadas por macrófagos alveolares, que luego eliminan la partícula por digestión o transportándola a lo largo de los bronquiolos ciliados. Desde aquí el macrófago y su contenido son impulsados hacia la orofaringe y deglutidos. En forma alternativa, el macrófago cargado de partículas puede moverse a través del espacio intersticial y volver a penetrar a los bronquiolos, o pasar los capilares linfáticos. Si la carga de partículas es mucha, atraviesa los alveolos, van a los ganglios linfáticos regionales o por vía del torrente sanguíneo llegar a otros órganos. La exposición masiva a partículas o microorganismos que supera la capacidad de macrófagos alveolares, puede causar una reacción inflamatoria aguda, después de la cual los leucocitos PMN (polimorfo nucleares) ayudan a las funciones fagocíticas y bactericidas (48).

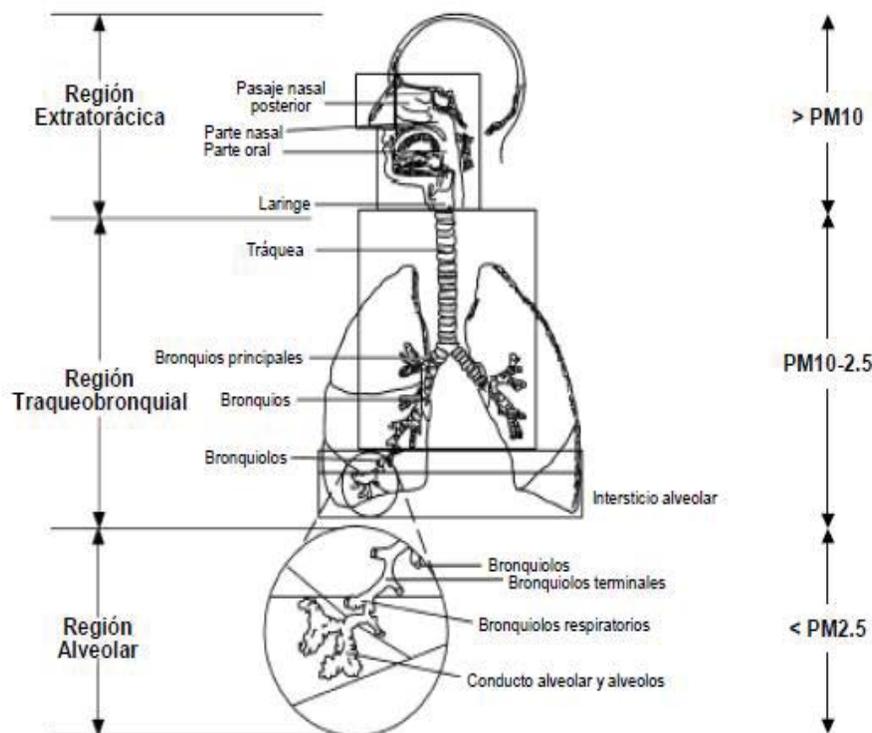
La absorción de las partículas, depende de su tamaño y de la solubilidad acuosa de la sustancia química presente en la partícula (39).

Las partículas insolubles depositadas en la vía aérea ciliada son generalmente aclaradas por la actividad mucociliar entre 24-48 horas. El aclaramiento a nivel pulmonar ocurre por la acción de macrófagos alveolares o mecanismos alternativos, aunque la remoción de esos macrófagos puede tomar semanas. En total, el aclaramiento de partículas insoluble depositadas en el pulmón pueden tener vidas medias de semanas, meses o años (23).

Todas las partículas de diámetro $<10 \mu\text{m}$ (MP10, partículas torácicas) tienen un tamaño suficiente para penetrar en la región traqueobronquial (ver Figura N°11), pero sólo aquellas de diámetro $<2.5 \mu\text{m}$ (MP 2.5, partículas alveolares) pueden alcanzar la cavidad alveolar y, por tanto, provocar mayores afecciones (59).

El sistema respiratorio puede ser dañado directamente por la materia particulada que entra al sistema sanguíneo o al linfático, a través de los pulmones. Adicionalmente, el material particulado o los componentes solubles de él pueden transportarse a los órganos alejados de los pulmones y pueden tener un efecto perjudicial sobre estos órganos (53).

Figura N° 11 Representación de las diversas regiones del aparato respiratorio humano.



Fuente: EPA, 2004 (59)

2.3.18 Respuesta frente a material particulado

Como se explicó anteriormente las partículas pueden quedar atrapadas en distintos lugares del tracto respiratorio dependiendo de su tamaño y no llegar al espacio alveolar, con lo cual se disminuye la entrada del tóxico al organismo (39), por lo que la distribución y el depósito de las partículas en el sistema respiratorio humano varían sustancialmente con su tamaño. Las partículas finamente divididas penetran a los sacos alveolares de los pulmones, podrían depositarse en el interior del tejido pulmonar (60) donde pueden ser eliminadas a través del sistema linfático o por medio de macrófagos alveolares y producir una respuesta inflamatoria o bien ser absorbidas a la sangre (39). Los componentes solubles del material particulado pueden ser transportados a órganos distantes y causar efectos nocivos sobre éstos (57). Los efectos del MP_{10} pueden dividirse en locales (a nivel pulmonar) y sistémicos (a nivel cardiovascular y otros órganos) (23).

2.3.18.1 Efectos locales

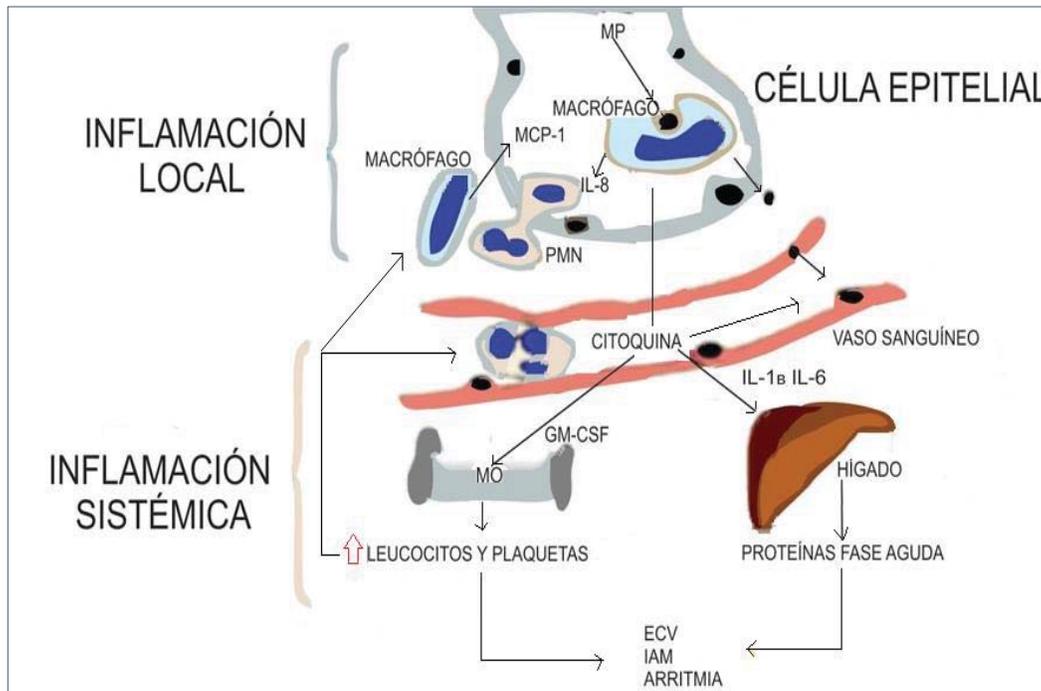
Efectos locales de la fracción gruesa del MP10, ha sido estudiada ampliamente y contiene componentes como cristales minerales, sulfatos y nitratos que no median un efecto toxicológico tan importante, como el descrito para la fracción fina (MP2.5) y ultrafina (MP1), las cuales contienen compuestos derivados de la combustión como partículas carbonáceas, hidrocarburos aromáticos policíclicos, metales de transición, entre otros. Algunos estudios se han centrado en la importancia de las endotoxinas como componentes biológicos muy activos que median en la toxicidad del MP10 (23).

Respecto a la fracción ultrafina, tienen la propiedad de ser más inflamogénica que la fina, dado a la liberación de los metales de transición y adicionalmente está relacionada con el número de partículas y gran área superficial que involucra estrés oxidativo con incremento de la liberación de Ca^{2+} intracelular que promueve la transcripción de genes proinflamatorios como la IL-8, siendo un mecanismo relevante en la susceptibilidad individual (23).

Los metales de transición como el hierro, el cobre y el vanadio, ha sido bien documentado que generan radicales libre, como los radicales hidroxil que causan grandes daños en las macromoléculas y disminuye las concentraciones de los reductores a nivel pulmonar como la glutatión superóxido anión, NADH. Estos metales de transición son responsables de la activación de la transcripción de factores proinflamatorios como el factor de necrosis tumoral $\kappa\beta$ en las células epiteliales (23).

Las **endotoxinas** son liberadas por bacterias gran negativas y son potentes factores de inflamación promoviendo la expresión de genes **pro-inflamatorios** y liberando **especies reactivas de oxígeno**. Estas sustancias, estimulan los macrófagos, a través de sus receptores. Los macrófagos interaccionan de manera compleja con las células epiteliales debido a diferentes componentes del MP10. Existen poblaciones susceptibles a los efectos del MP10, por lo tanto a nivel pulmonar estas personas pueden desarrollar infecciones microbianas con mayor probabilidad. Se ha descrito que dichas personas incrementan la expresión del factor de necrosis tumoral $\kappa\beta$, con un incremento de la vía de respuesta con estrés oxidativo y los consecuentes efectos inflamatorios (23).

Figura N° 12 Respuesta inflamatoria pulmonar por MP10



MCP-1: Proteína quimio atrayente de monocitos 1; IL: Interleucina; PMN: Polimorfonucleares; GM-CSF: Factor estimulante de colonias de granulocitos y monocitos; MO: Medula ósea; ECV: Enfermedad cerebrovascular; IAM: Infarto al miocardio.
Fuente: Bai N. Pharmacology and Therapeutics, 2006. (23).

Adicionalmente, los macrófagos alveolares y las células epiteliales, juegan un papel principal en la respuesta a las partículas inhaladas del ambiente, ya que son los primeros en encontrarse con las partículas. La deposición del MP en el espacio aéreo guía a la activación de liberación de proteínas señalizadoras de la inflamación a través de dos vías inflamatorias. La primera, se generan citoquinas pro inflamatorias por los macrófagos durante la fagocitosis, y segundo, se induce la producción de quimioquinas por el epitelio. Los mediadores de la inflamación liberados durante la fagocitosis son de gran importancia en las respuestas local y sistémica. A su vez, las células epiteliales también fagocitan las partículas inhaladas y sintetizan una gran variedad de citoquinas proinflamatorias, que actúan sinérgicamente con las liberadas por los macrófagos (23). También se ha observado la acumulación de monocitos en el alveolo tras la exposición reiterada a MP, que asisten en despejar las partículas y son esenciales en la coordinación de la respuesta inflamatoria. La inflamación es un proceso complejo que involucra la liberación celular de mediadores tanto pro- como antiinflamatorios. Las citoquinas proinflamatorias FNT- α , interleucina IL-6 y la quimiocina IL-8 son comúnmente utilizadas como marcadores de la inflamación inducida por

partículas inspiradas (45). Además se ha demostrado que PEDs (partículas de escape de diésel) activan directamente a los mastocitos y basófilos a través de mediadores inflamatorios independientes de IgE (61).

2.3.18.2 Efectos sistémicos

Las hipótesis de como el MP10 induce respuesta sistémica son:

Las citoquinas y la quimoquinas derivadas del sistema pulmonar entran al torrente circulatorio y disparan una cascada de reacciones inflamatorias en otros órganos. En la segunda la translocación extrapulmonar de MP ultrafina, induce inflamación en otros órganos (23).

Un componente integral de la respuesta inflamatoria sistémica es el sistema hematopoyético, específicamente la médula ósea, quien incrementa la circulación de leucocitos. La leucocitosis secundaria a la estimulación de la médula ósea incluye liberación acelerada de polimorfonucleares (PMN) y monocitos. La estimulación hepática, genera la producción y liberación de proteínas de la fase aguda como una respuesta temprana a la inflamación sistémica. Esas proteínas son estimuladas por las citoquinas circulantes como las interleuquinas IL-1B, IL-6 y el factor de necrosis tumoral FNT- α (23).

Otro importante mediador de inflamación asociado a la respuesta cardiovascular es la proteína C reactiva, como respuesta a la fase aguda de la inflamación. La traslocación extrapulmonar del MP10, ha sido determinada mediante marcación radioactiva de las partículas en modelos animales, atravesando los espacios sinusoidales de la barrera alveolo-capilar, hematoencefálica y el bulbo olfatorio. Esto explica como el material particulado genera efectos adversos independientes de la inflamación sistémica. A nivel cardiovascular se ha demostrado que la exposición a MP genera incremento en la frecuencia cardiaca, incremento en el fibrinógeno y la viscosidad, así como induce la aterosclerosis, como producto de la liberación de proteína quimiotáctica monocítica por los macrófagos y acumulo de monocitos y linfocitos T en las lesiones ateroscleróticas, acelerando la obstrucción sanguínea. El aumento de moléculas de adhesión intercelular (ICAM-1) y activación de la expresión de metaloproteinasas, contribuyen a la desestabilización de las placas ateromatosas y favorece su ruptura. Esto conlleva a exposición de factor tisular,

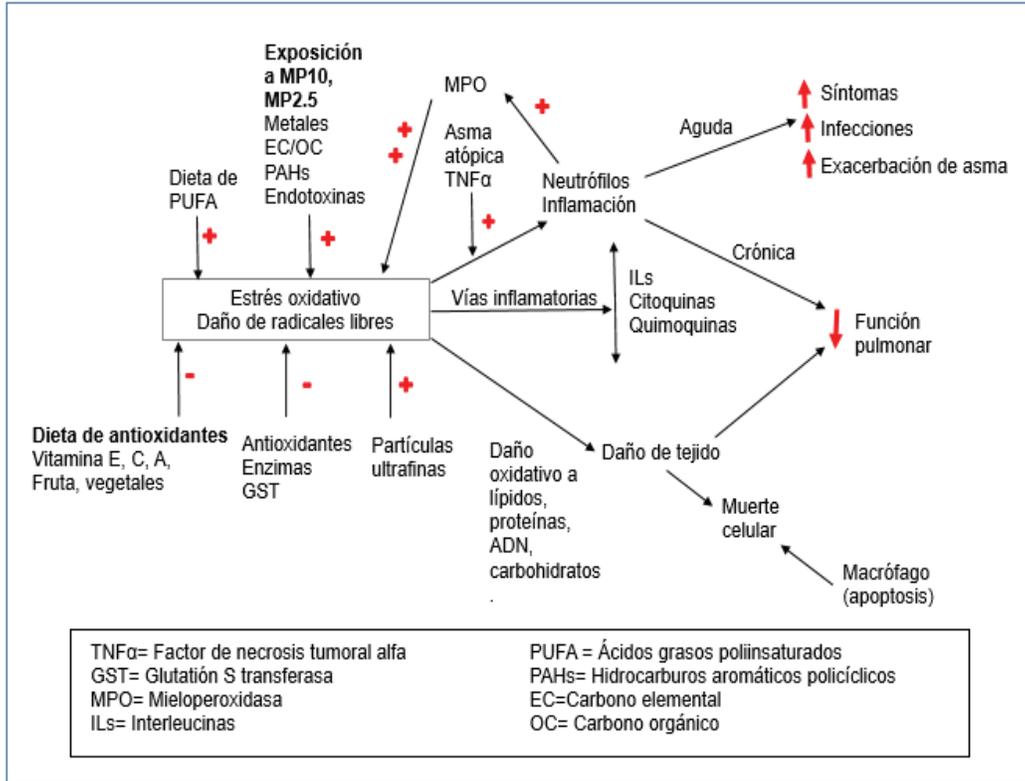
un potente factor coagulante, aumento de la producción de fibrinógeno e inducción de trombosis, favoreciendo la aparición clínica del síndrome agudo coronario (23).

2.3.19 Mecanismos de daño tóxico producido por MP

Algunos investigadores indican que el daño de las vías aéreas causado por el material particulado, estaría dado a la formación de ROS (especies reactivas de oxígeno) y posterior generación de estrés oxidativo. Los contaminantes presentes en el aire como el material particulado están influenciados por los compuestos adsorbidos en su superficie, muchos de éstos son fuertes oxidantes que pueden inducir el estrés oxidativo (45).

En los últimos años se ha vuelto evidente que la producción de ROS es un punto crucial en la genotoxicidad mediada por MP. Una posible explicación del mecanismo involucrado del MP reside en la activación de la enzima NADPH oxidasa, el daño mitocondrial, la oxidación de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) o la acción catalítica de trazas de iones de metales de transición, presentes en MP, para producir el altamente reactivo radical HO°. La producción de ROS conduce a la activación de vías proinflamatorias y factores de transcripción como NF- κ B, activando la expresión de citoquinas y quimiocinas, que eventualmente responden produciendo aún más especies reactivas del oxígeno y del nitrógeno. Finalmente, esto produce daño oxidativo a biomoléculas (ADN, lípidos, proteínas, carbohidratos) y muerte celular. A la oxidación de lípidos se le denomina peroxidación lipídica e implica daño a los fosfolípidos de las membranas celulares. Se ha reportado en varias ocasiones que el mecanismo de muerte en la citotoxicidad por MP es apoptosis inducida por ROS (45).

Figura N° 13 Factores asociados al balance (+/-) entre el estrés oxidativo, respuesta inmune del organismo y los procesos inflamatorios del sistema respiratorio



Fuente: Adaptado de "Investigación epidemiológica para identificar efectos de contaminantes del aire en el sur de California". 2004 (62)

Los contaminantes del aire pueden alterar los mecanismos de defensa propios del sistema respiratorio. La capa de mucus y células ciliadas son una importante primera línea de defensa contra los contaminantes que llegan a la vía aérea, sin embargo, éstos pueden afectar la composición o la producción de mucus y alterar la función del epitelio ciliar. Además, los contaminantes pueden afectar las células sensoriales que terminan en el epitelio a lo largo de las vías respiratorias, afectando el músculo liso, desencadenando hiperreactividad de la vía aérea y aumentando la producción de mucus que lleva a la aparición de tos o secreciones. En las vías respiratorias inferiores, los contaminantes del aire pueden afectar a la línea secundaria de defensa, que incluye los macrófagos alveolares y la capa celular responsable del intercambio de gases. Si la inflamación es crónica, puede resultar en el engrosamiento de la barrera alvéolo-capilar (61).

También se ha estudiado el papel de los contaminantes del aire relacionados con el tráfico vehicular, especialmente las partículas de escape de diésel (PEDs), en la exacerbación de la inflamación de las vías respiratorias induciendo la sensibilización alérgica. En un estudio experimental en seres humanos, donde se expuso de manera simultánea a PEDs con alérgenos en el tracto respiratorio superior, aumentaron notablemente los niveles de IgE específicos para alérgenos.

La interacción de los contaminantes del aire con el sistema respiratorio representa un buen ejemplo de la interacción entre los genes y el medio ambiente en un sistema complejo. La variación polimórfica en los genes de susceptibilidad implicados en la protección contra las lesiones, la generación de una respuesta frente a los contaminantes y la conducción y reparación de tejidos, explican parte de la variabilidad en la susceptibilidad individual frente a los efectos adversos en salud de la exposición a los contaminantes (61).

2.3.20 Efectos específicos del material particulado en la función respiratoria

En un estudio realizado en Beijing en 1990, se evaluaron tres áreas de dicha ciudad, determinando el efecto en la salud por la polución atmosférica. Se practicaron pruebas de función pulmonar a 1440 adultos con edades entre 40-69 años y se encontró que un incremento en la concentración de partículas suspendidas intramuros reduce el volumen espiratorio forzado en el primer segundo (VEF1) (-91 ± 36 mL) y la capacidad vital forzada (CVF) (-257 ± 37 mL). En el análisis de regresión lineal por cada unidad que se incrementara el nivel de material particulado Suspendido Total (PST), se presenta una reducción de 35.6 (131.4) mL en el VEF1 y una reducción 142.2 (478.7) mL en CVF.

En Kanpur (2004), Sharma y cols evaluaron la relación entre los cambios diarios en la concentración de material particulado (y MP2.5) y los efectos en la salud respiratoria de 91 individuos en tres áreas de la ciudad. Se encontró que los individuos de las áreas de estudio, tenían una reducción en los valores del VEF y la CVF. El modelo estadístico estimó que un incremento de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ reduce el promedio del pico flujo espiratorio de un individuo en aproximadamente 3.2 l/min. El estudio NHANES I (National Health and Nutrition Examination Survey)

en 1991, examinó la relación entre la función pulmonar y niveles promedio de Material Particulado, observando relaciones estadísticamente significativas entre dichas concentraciones con FVC y FEV1.0, donde variaciones de $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el MP, disminuyen la CVF en 2.25%.

2.3.21 Medición de efectos en la función respiratoria de los contaminantes atmosféricos

Las pruebas utilizadas para medir el funcionamiento pulmonar, proporcionan información objetiva acerca de las funciones respiratorias. Esta información se puede usar, junto con otros datos clínicos de laboratorio para elaborar el diagnóstico clínico, para estudios epidemiológicos y para valorar el grado de disfunción pulmonar. Las pruebas de medición del funcionamiento pulmonar son las siguientes:

- Espiometría.
- Curva flujo volumen
- Ventilación voluntaria máxima o flujo máximo.
- Prueba de la capacidad de difusión.
- Pruebas para determinar los volúmenes pulmonares totales.
- Determinación de gases en sangre arterial.
- Prueba de provocación por inhalación para evaluar hipersensibilidad de la vía aérea.

2.3.22 Descripción geográfica del Centro Histórico del Cusco

El Cusco está situado en la zona central y sur oriental del Perú. Ocupa gran parte del nudo orográfico del Vilcanota. Su diversidad y los cambios abruptos de paisaje y ecosistemas están principalmente asociados a la cordillera de los Andes. Está ubicado en los Andes centrales, entre los $12^{\circ}71'11''$ de latitud sur y $72^{\circ}00'49''$ de longitud oeste a partir del meridiano de Greenwich, a una altura en promedio de 3399 m. s.n. m (63). El centro histórico se ubica en la zona 19, entre 177,534 abscisa este y 8'503,762 ordenada norte del sistema UTM. El centro histórico como realidad físico-ambiental se ubica en la parte noroeste del valle del Cusco. Comprende una superficie de 245.63 hectáreas y un perímetro de

11460.81 m. El ámbito urbano contiene 153 manzanas, que representan el 80% de la ocupación del suelo; es decir, el espacio público de calles y plazas corresponde sólo al 20% del área. Su población se estima en 15,000 habitantes distribuidos en el área central y los barrios tradicionales de San Blas (Tococachi), Santa Ana (Carmenqa) y San Cristóbal (Qolqanpata). La densidad poblacional promedio en el área histórica es de aproximadamente 68.69 hab/ha (63).

2.3.23 Contaminación atmosférica en la ciudad del Cusco

En el Inventario de Emisiones realizado en la ciudad del Cusco, se identificaron los siguientes contaminantes emitidos por diferentes actividades tal como se muestra en la Tabla N° 03.

El 84.65% de las emisiones totales generadas en la cuenca atmosférica del Cusco son MP10, de las cuales la mayor carga de MP10 la recibe del transporte vehicular en un 98.31% y en particular de las emisiones fugitivas del polvo del tráfico vehicular, la otra actividad que aporta MP10 en forma significativa es la manipulación de arcilla para la fabricación de ladrillos y tejas; finalmente por el proceso de cochura de los mismo, que aporte de MP10 y partículas aun menores. La generación de NO₂ corresponde 1.50% de las emisiones totales, este contaminante está generando por el transporte vehicular (90.8%) que por efectos de combustión a altas temperaturas se forman NO₂. Los SOX representan el 0.39% de las emisiones totales, el transporte vehicular es el responsable de las mayores emisiones (86.5%). El CO representa el 9.92% de las emisiones totales, el transporte vehicular es el responsable de las mayores emisiones de este contaminante que representa el 38.6%, esto por procesos de combustión de gasolina y luego diésel que utilizan los vehículos. El COV representa el 3.52% de las emisiones totales y Pb representan al 0.02% de las emisiones totales que es generado en su totalidad por el parque automotor (65).

Tabla N° 03 Niveles de emisiones para la cuenca atmosférica del Cusco (Ton/año)

Fuente	MP10*		SO _x †		NO ₂ ‡		CO§		COV¶		Pb	
	Ton/año	%	Ton/año	%	Ton/año	%	Ton/año	%	Ton/año	%	Ton/año	%
Ladrilleras y tejerías	1067.3	0.70	8.0	1.14	55.8	2.08	5575.4	31.40	1831.9	29.04	0.0	0
Panadería	134.3	0.09	5.4	0.77	13.4	0.50	1252.9	7.06	526.7	8.35	0.0	0
Transporte Vehicular	148989.4	98.31	605.3	86.52	2437.5	90.8	6848.9	38.57	1264.9	20.05	30.3	100
Viviendas	650.2	0.43	45.9	6.56	97.4	3.63	3945.0	22.22	1994.7	31.62	0.0	0
Otros	712.1	0.47	35.0	5.00	80.5	3.00	136.0	0.77	690.0	10.94	0.0	0
TOTAL	151553.2	100	699.6	100	2684.6	100	17758.2	100	6308.2	100	30.3	100
(%)	84.65	-	0.39	-	1.50	-	9.92	-	3.52	-	0.02	-

*MP10: material particulado menor a 10 ug/m³

†SO_x: Óxidos de azufre

‡NO₂: Dióxido de nitrógeno

§CO: Compuestos orgánicos

¶COV: Compuestos orgánicos volátiles

||Pb: Plomo

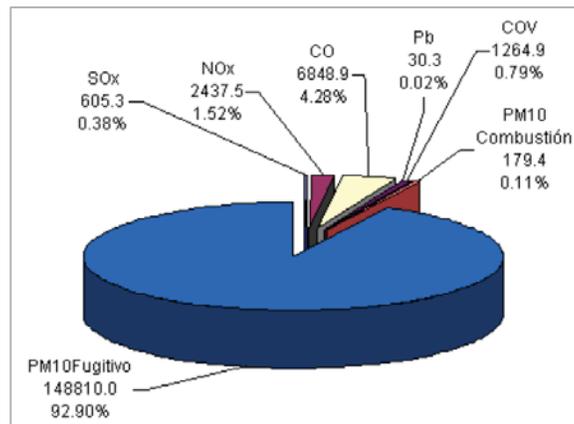
Fuente: Adaptado de CONAM-PRAL.2004 (65)

Las principales sustancias químicas contaminantes en el aire de la ciudad de Cusco son en primer lugar MP10 (material particulado menor a 10 micras) seguido de CO (monóxido de carbono) y COV (compuestos orgánicos volátiles).

Como se vio en la Tabla N° 03 el transporte vehicular emite cantidades apreciables de contaminantes principalmente en MP 10 y Pb. Para el parque automotor existen dos formas de generar material particulado:

- Por emisión fugitiva del polvo del tráfico vehicular: Este material es generado por el rodamiento de las unidades vehiculares, las que elevan las partículas totales en suspensión (PTS) al aire, siendo una parte de esta MP10, dicho fenómeno ocurre fundamentalmente en las vías sin pavimento o las que tienen polvo aglomerado en su superficie, por lo que las unidades vehiculares lanzan con sus ruedas al aire, una buena parte de estas partículas caen por gravedad al suelo y el paso de otros vehículos los vuelven a lanzar al aire, repitiéndose este ciclo periódicamente. La parte que se queda en suspensión en el aire son aquellas partículas menores o iguales a $10\mu\text{m}$ (65). Es la principal forma que genera MP10 siendo 92.9% de las emisiones totales del parque automotor (ver Gráfico N°02).
- Por emisión de tubo de escape: También definida por “procesos de combustión” (unidades vehiculares), este material en su totalidad es MP 10 e inferiores por su origen. Los vehículos que utilizan diésel como combustible genera emisiones importantes de MP 10 respecto de los gasolineros (65).

Gráfico N° 02 Emisión de contaminantes por el parque automotor en Cusco con emisiones fugitivas (Ton/año y %)



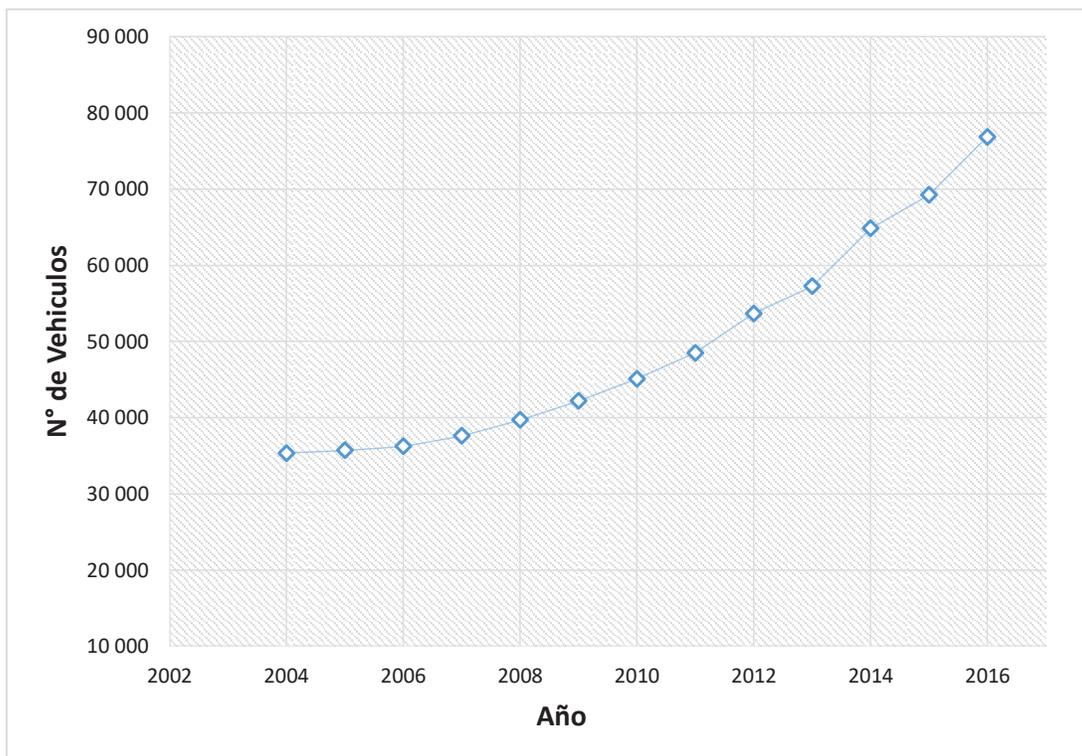
Fuente: CONAM-PRAL-2004 (65)

El Gráfico N°2 muestra resultados de un inventario de emisión de contaminantes por el parque automotor realizado por CONAM-PRAL¹ en Cusco en el 2004, donde se puede observar que MP10 de emisiones fugitivas del polvo es el principal problema generado por el transporte vehicular con 92.9% de las emisiones totales (65).

Considerando que el transporte vehicular es la principal fuente de MP10, éste contaminante aumentará a medida que incremente el parque automotor, esto se ve reflejado en la ciudad de Cusco ya que en los últimos años hubo un crecimiento del parque automotor tal como muestra la Gráfica N°3.

¹Consejo Nacional del Ambiente y Programa Regional de Aire Limpio. Cusco

Gráfico N° 03 Parque automotor en circulación en la ciudad del Cusco. 2004-2016



Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática. 2018

2.3.24 Estándar de la calidad de aire (ECAS) en Perú

El decreto supremo N°003-2017-MINAM establece los estándares Nacionales de Calidad de Aire, el cual fue actualizado en Junio del 2017. La Tabla N°04 muestra la descripción de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire.

Tabla N° 04 Estándares nacionales de calidad ambiental del aire

Parámetros	Período	Valor (µg/m ³)	Criterios de evaluación	Método de análisis
Benceno (C ₆ H ₆)	Anual	2	Media aritmética anual	Cromatografía de gases
Dióxido de Azufre (SO ₂)	24 horas	250	NE* más de 7 veces al año	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	1 hora	200	NE más de 24 veces al año	Quimiolumiscencia (Método automático)
	Anual	100	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM _{2,5})	24 horas	50	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	25	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM ₁₀)	24 horas	100	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	50	Media aritmética anual	
Mercurio Gaseoso Total (Hg)	24 horas	2	NE	Espectrometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS) o Espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío (CVAFS) o Espectrometría de absorción atómica Zeeman (Métodos automáticos)
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora	30000	NE más de 1 vez al año	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método automático)
	8 horas	10000	Media aritmética móvil	Fotometría de absorción ultravioleta (Método automático)
Ozono (O ₃)	8 horas	100	Máxima media diaria NE más de 24 veces al año	Fotometría de absorción ultravioleta (Método automático)
Plomo (Pb) en PM ₁₀	Mensual	1,5	NE más de 4 veces al año	Método para PM ₁₀ (Espectrofotometría de absorción atómica)
	Anual	0,5	Media aritmética de los valores mensuales	
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)	24 horas	150	Media aritmética	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)

*NE: No Exceder

Fuente: Adaptado de DS N°003-2017-MINAM

2.3.25 Directrices de la OMS sobre la Calidad del Aire

Las directrices de la OMS sobre la Calidad del Aire publicadas en 2005 y que se siguen usando actualmente, ofrecen orientaciones generales relativas a

umbrales y límites para contaminantes atmosféricas clave que entrañan riesgos sanitarios. Las Directrices señalan que mediante la reducción de la contaminación con partículas (MP10) de 70 a 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ es posible reducir en un 15% el número de defunciones relacionadas con la contaminación del aire. Las Directrices se aplican en todo el mundo y se basan en la evaluación, realizada por expertos, de las pruebas científicas actuales (9). La Tabla N° 5 muestra las directrices para MP10 y MP2.5 establecidos por la OMS.

Tabla N° 05 Valores fijados en las directrices para MP10 y MP2.5 por la OMS

Partículas gruesas (MP10)	Partículas finas (MP2.5)
20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de media anual	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de media anual
50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de media en 24h	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de media en 24h

Fuente: Calidad del aire y salud. Valores fijados en directrices. OMS (9)

2.3.26 Parámetros meteorológicos e influencia en la contaminación atmosférica

La Meteorología en relación a la contaminación atmosférica, es un factor determinante, pues de esta depende la rapidez con la que se dispersarán los contaminantes emitidos en una región en particular.

La dirección del viento juega un papel muy importante en la dispersión horizontal de los contaminantes y determina en gran medida la dirección hacia donde se dirigirán, y por consiguiente las zonas circundantes que se verán más afectadas. La velocidad en cambio será determinante de las concentraciones, pues proporcionará una mayor o menor dilución (66).

Estudios realizados muestran una correlación positiva entre MP10, MP2.5 con la temperatura, es decir que la concentración de MP10 y MP2.5 aumentan cuando la temperatura es elevada (13,67).

Sin embargo vieron una correlación negativa de MP10 y MP2.5 con la humedad relativa, es decir que las concentraciones de MP10 y MP2.5 disminuyen cuando la humedad relativa es alta (13,67).

En cuanto a la influencia de la velocidad del viento hay una correlación negativa entre MP10 y velocidad de viento, es decir MP10 disminuye cuando la velocidad

de viento aumenta, comportamiento asociado a la dispersión del mismo (68), encontrando lo contrario en el estudio realizado en Arabia Saudita (13).

Por otro lado se estudiaron la influencia de los parámetros meteorológicos sobre la concentración de los iones inorgánicos en donde se encontró que a mayor temperatura, menor concentración de los iones. Esto podría demostrar el efecto de la temperatura ambiente en la evaporación de los iones durante los procesos de muestreo en especial de nitratos (67,68), debido a la inestabilidad de éste a altas temperaturas al contrario que los sulfatos, los cuales son más estables (30). En la velocidad del viento presentó coeficientes positivos se deduce que a mayor velocidad del viento, mayor concentración de iones.

En la precipitación, al ser los iones solubles en agua se justifica que la correlación entre los mismos y ésta variable ambiental sea inversa, relación establecida por Karar y Gupta en 2006, India. Pero con las partículas finas ocurre lo opuesto, por acción de la resuspensión de las mismas (68).

2.3.27 Muestreadores activos de material particulado en suspensión

Los muestreadores gravimétricos recolectan el material particulado en un filtro usando flujos de muestras bombeadas de alto volumen (aproximadamente 100 m³/h) o de bajo volumen (aproximadamente 1 m³/h). El peso de las partículas depositadas en el filtro se usa para estimar la concentración promedio de la masa durante 24 horas.

Es probable que las diversas técnicas de monitoreo de MPS no permitan obtener mediciones comparables. Diferentes sistemas de muestreo, temperaturas de operación, medios del filtro e historia del filtro también pueden afectar la equivalencia de las mediciones. Por consiguiente, la exactitud y precisión de toda concentración medida de masa están sujetas a un amplio margen de error (3).

Los muestreadores gravimétricos de volumen medio o bajo son más portátiles y menos ruidosos que los muestreadores de alto volumen, lo que los hace más apropiados para áreas urbanas. No obstante, la masa de partículas recolectadas es mucho menor que la que se obtiene con muestreadores de alto volumen, lo que genera un mayor potencial de errores debido al peso del filtro.

2.3.28 HIVOL

Es un muestreador de alto volumen (High Volume Sampler, HVS) en un muestreador activo el cual cuenta con un sistema de bombeo que obliga a una corriente de aire medida a pasar por un sistema de retención. Este sistema de retención usa un filtro de características muy especiales y suele ser de fibra de vidrio o de fibra de cuarzo (5).

En este método de muestreo el aire es obligado a pasar por un filtro de baja resistencia, con un alto flujo. La entrada al ducto y el medio de colección miden aproximadamente 25 - 30 cm (5).

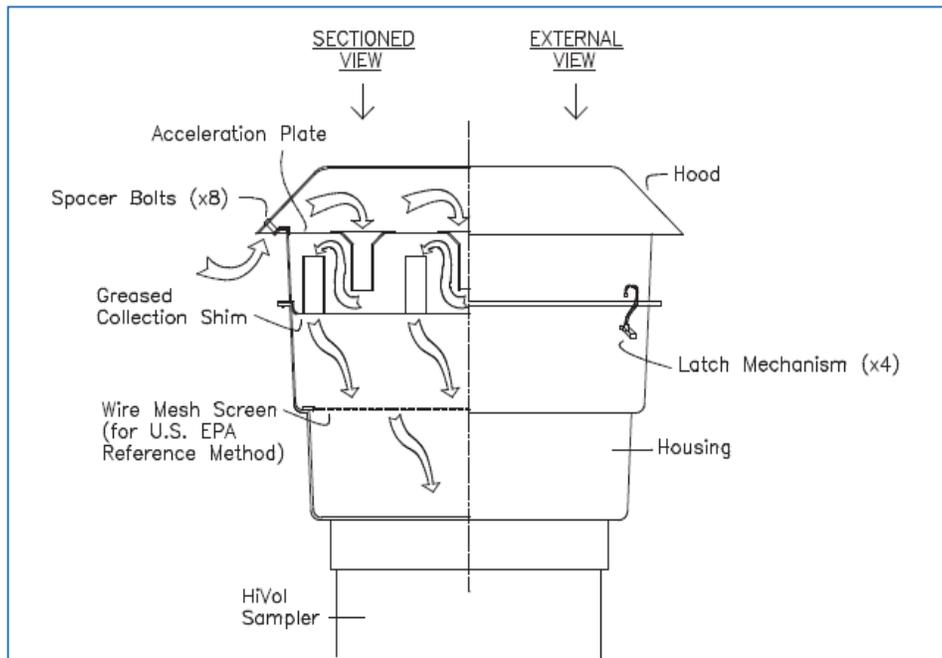
El equipo consta de un motor con turbina, un controlador de flujo que puede ser un controlador volumétrico o másico, una pantalla reticulada de alambres de acero (soporte para el marco portafiltro), marco portafiltro y filtro, reloj programador temporal de muestreo y medidor de flujo. El equipo está diseñado de manera tal que durante la operación de muestreo el filtro está en posición horizontal, no expuesto directamente al ambiente, así el equipo incorpora flujo continuo de materia que se encuentra sólo en suspensión. La cabeza de toma de muestra transmite solamente las partículas con diámetro para la cual ha sido diseñada según se trate de cabezal para PST, MP 10 o MP 2.5 (5).

Normalmente hay disponible dos tipos de diseño de cabeza de toma de muestra, que se diferencian por el método de discriminación de las partículas: Por impacto y ciclónico.

2.3.28.1 Principio del método de separación por impacto

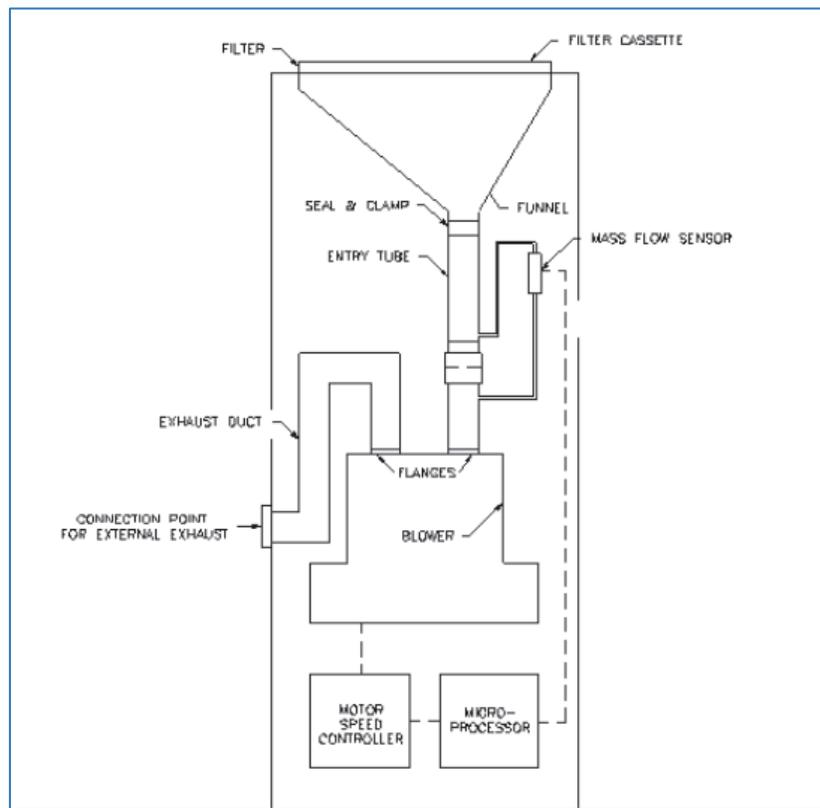
El diseño simétrico de la cabeza de toma de muestra asegura que sea independiente de la dirección del viento. El aire ambiente pasa a través de seis toberas de aceleración hacia la primera cámara de impacto. Luego pasa a través de 16 toberas de aceleración a la segunda cámara de impacto. Las toberas tienen un diámetro crítico a fin de proveer el cambio necesario de velocidad para producir el correcto fraccionamiento por tamaño de las partículas dentro de la cámara de impacto. El aire finalmente sale hacia la cámara de filtros a través de nueve tubos de viento. La velocidad del aire es crítica; un valor de diseño típico es de 1.13 m³/min (69).

Figura N° 15 Corte transversal del muestreador de alto volumen (HiVol)



Fuente: Moragues, Jaime A. Manual de tecnologías de medición de concentración de gases y material particulado en chimeneas y atmósfera. 2001 (69)

Figura N° 16 Camino de flujo de aire por el muestreador de alto volumen.



Fuente: Moragues, Jaime A. Manual de tecnologías de medición de concentración de gases y material particulado en chimeneas y atmósfera. 2001 (69)

2.3.29 Selección del filtro para muestreo MP10 y MP2.5

El tipo de filtro más usado es el de fibra de vidrio. Sin embargo, los filtros del tipo cuarzo y fibra de vidrio con teflón son muy usados debido a que son menos propensos a su malformación que los de fibra de vidrio. La fibra de vidrio que es alcalina puede reaccionar con gases ácidos de la atmósfera y formar sulfatos y nitratos en el filtro. La selección del filtro para MP10 y MP2.5 es más crítica que para el muestreo PST. Cualquier filtro que tiende a deformarse por la formación de compuestos y por tanto adiciona sustancialmente masa en ganancia, no es aceptable. Este problema es mayor para el muestreo de MP10/MP2.5, debido a la masa particulada colectada de menor tamaño y la tendencia mayor a la formación de compuestos no deseados. Para ambientes de monitoreo con presencia de gases ácidos como el dióxido de sulfuro o el óxido nítrico, se recomienda usar un filtro neutro como el del tipo cuarzo. Es importante que el filtro seleccionado sea capaz de mantener un ratio de flujo de al menos 1.13 m³/min durante todo el tiempo de muestreo de 24 horas (70).

2.3.30 Recomendaciones para realizar el monitoreo de material particulado

Las recomendaciones que mencionan diferentes organismos como la DIGESA o US.EPA, son las siguientes:

- Para asegurar el buen flujo de aire la entrada al muestreador debe tener un mínimo de 120° de ángulo de cielo abierto encima.
- Los muestreadores deben ubicarse lejos de locales fuentes de contaminación (incineradoras, ductos, hornos, etc.) a menos que estén siendo objeto de estudio.
- Debe estar ubicado en superficie elevada entre 1.5-4 metros sobre el nivel del piso. Una altura de 1.5 metros se usa para estimar exposiciones potenciales del ser humano a situaciones a gran carga de tráfico vehicular. En algunos casos se colocan a 2.5 metros para evitar vandalismo. En algunos se ha realizado monitoreo de hasta 8 metros de altura.
- Para apoyar las mediciones de calidad de aire es recomendable incluir estación meteorológica simple para ayudar en la interpretación y predicción de la dispersión de contaminantes. La estación debería constar

con instrumentos de medición de: Velocidad y dirección del viento, Humedad relativa, Temperatura, Precipitación al que se puede incluir radiación solar, presión barométrica y radiación ultravioleta.

- Las concentraciones de gases y material particulado deben estar normalizadas, es decir referidas a condiciones estándares de presión y temperatura (1 atmósfera y 25°C). Para estos efectos se debe verificar si las concentraciones entregadas por los monitores están referidas a las condiciones normales de presión y temperatura, en caso contrario se debe corregir el mediante la siguiente ecuación, esto se realiza para poder comparar con las normas ECA, OMS a las mismas condiciones, ya que estas normas se realizan a condiciones normales (3).

$$SMP = \frac{(W_f - W_i) \times 10^6}{V_{std}} \qquad V_{std} = \frac{V_t \times P_a \times T_s}{T_a \times P_s}$$

Donde:

SPM = concentración en masa de partículas en suspensión (PST, MP10 o MP2.5), $\mu\text{g}/\text{std m}^3$.

Wi = peso inicial del filtro limpio, g.

Wf = peso final del filtro expuesto, g.

Vt = Volumen Total a condiciones locales del ambiente

Pa = Presión del ambiente, atm

Ts= Temperatura estándar, °C

Ta =Temperatura ambiente, °C

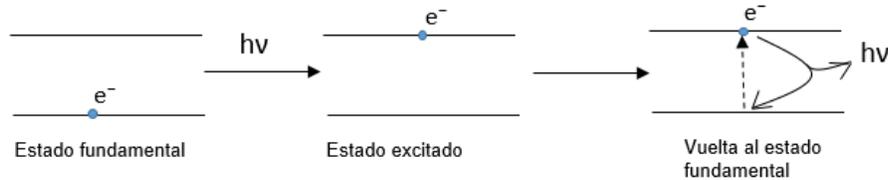
Ps= Presión estándar, atm (71)

2.3.31 Espectrofotometría UV-visible

Se basan en la interacción de la radiación electromagnética con la materia, es decir en la capacidad que tienen las moléculas y los átomos de absorber radiaciones del rango UV-visible. La absorción de una energía radiante por un compuesto da origen a transiciones electrónicas en las moléculas pasando de un estado energético fundamental a estado excitado, absorbiendo una cantidad de energía radiante igual a la diferencia energética existente entre el orbital

originalmente ocupado por el electrón y el que ocupa después de ser excitado (72)

Figura N° 17 Transiciones electrónicas

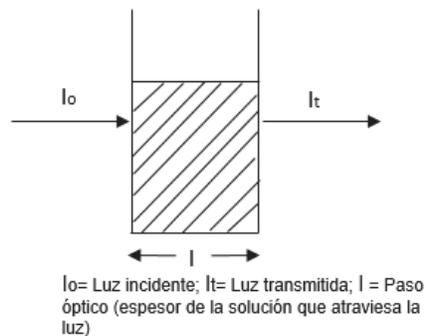


Fuente: Villanueva- Cañadas, et al. Técnicas instrumentales-Investigación Toxicológica. 1994 (72).

Puesto que las transiciones electrónicas van acompañadas por cambios en las energías de vibración y rotación, la banda de absorción resulta más ancha que si solo el electrón estuviera implicado en el proceso (72).

Cuando luz pasa a través de una solución que contiene una sustancia capaz de absorberla, una parte es absorbida, otra, reflejada y el resto, transmitida como se muestra en el esquema de la Figura N°11.

Figura N° 18 Paso de la luz a través de una solución



Fuente: Villanueva- Cañadas, et al. Técnicas instrumentales-Investigación Toxicológica. 1994 (72).

La cantidad de luz absorbida es proporcional a la concentración de la solución y a la longitud del camino recorrido a través de aquella. Esta relación viene definida por la ley de Lambert –Beer (72).

Las aplicaciones de este principio derivan del hecho de que las transiciones electrónicas en una molécula dan origen a bandas de absorción específicas a determinadas longitudes de onda que pueden ser usadas para la identificación de la molécula. La intensidad de absorción, por su parte, es una medida de la concentración de la entidad absorbente presente en una muestra. La

construcción de curvas de calibración, usando patrones de concentración conocida, permite realizar una cuantificación precisa de la muestra (72).

2.3.32 Espirometría

La función pulmonar, específicamente la capacidad vital forzada (FVC) y el volumen espiratorio forzado en 1 s (FEV1), son parámetros cuantitativos objetivamente mensurables de la salud respiratoria. Es un indicador temprano de inflamación respiratoria y sistémica, y está asociado con la morbilidad y mortalidad cardiorrespiratoria (73).

La espirometría es una prueba de la función pulmonar que mide los volúmenes y flujos respiratorios del paciente, esto es, la capacidad para acumular aire en los pulmones y la capacidad para moverlo. La espirometría se ha convertido en pieza básica en el diagnóstico y seguimiento de las patologías respiratorias, así como en la valoración del riesgo preoperatorio de estos pacientes, evaluación de la incapacidad laboral o screening de neumopatías en población de riesgo (fumadores, expuestos a sustancias tóxicas, etc.) (73).

Existen dos tipos de espirometría:

2.3.32.1 Espirometría simple

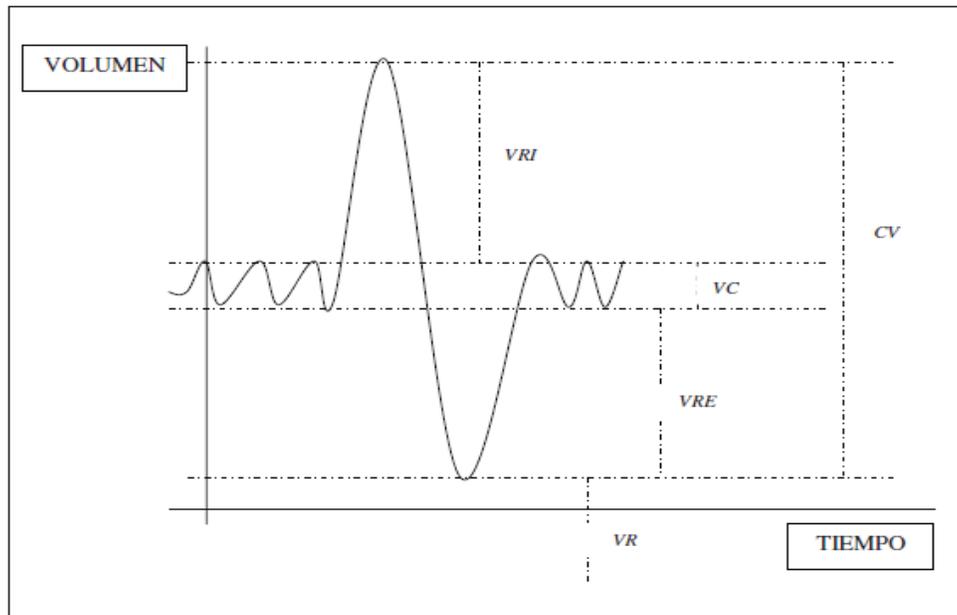
Consiste en solicitar al paciente que, tras una inspiración máxima, expulse todo el aire de sus pulmones durante el tiempo que necesite para ello (espiración máxima no forzada). Así se obtiene los siguientes volúmenes y capacidades:

1. Volumen normal o corriente: V_t . Corresponde al aire que se utiliza en cada respiración.
2. Volumen de reserva inspiratoria: V_{RI} . Corresponde al máximo volumen inspirado a partir del volumen corriente
3. Volumen de reserva espiratoria: V_{RE} . Corresponde al máximo volumen espiratorio a partir del volumen corriente.
4. Capacidad vital: CV . Es el volumen total que movilizan los pulmones, es decir, sería la suma de los tres volúmenes anteriores.
5. Volumen residual: VR . Es el volumen de aire que queda tras una espiración máxima. Para determinarlo, no se puede hacerlo con una

espirometría, sino que habría que utilizar la técnica de dilución de gases o la plestimografía corporal.

6. Capacidad pulmonar total: TLC. Es la suma de la capacidad vital y el volumen residual (73).

Gráfico N° 04 Espirometría simple



2.3.32.2 Espirometría forzada

El paciente realiza una espiración máxima forzada de todo el aire (en el menor tiempo posible) tras una inspiración máxima (61).

Es la técnica más útil y más habitualmente empleada, ya que nos permite establecer diagnósticos de la patología respiratoria. Los valores de flujos y volúmenes que más nos interesan son:

1. Capacidad vital forzada (CVF, o en inglés Forced Vital Capacity, FVC):

Cantidad de aire que se moviliza en una inspiración o espiración máximas forzadas. Se expresa en mililitros (es un volumen), o como un tanto por ciento frente a una tabla de cifras teóricas para los datos antropométricos del paciente

(en relación a su edad, altura, sexo y raza). Su valor normal es de unos 3 – 5 litros, y debe ser mayor del 80 % del valor teórico (73).

2. Volumen espiratorio máximo en el primer segundo (VEMS, o en inglés Forced Espiratory Volume¹, FEV₁): Cantidad de aire que se moviliza en el primer segundo de una espiración forzada. Es un flujo, no un volumen (mililitros/ 1 s), de modo que puede expresarse como ml/s o como un tanto por ciento frente a sus cifras teóricas. Su valor normal es mayor del 80 % (73).

3. Cociente FEV₁/FVC (representado en algunos espirómetros como FEV₁/FVC % o FEV₁%): Aporta información sobre qué cantidad del aire total espirado lo hace en el primer segundo. Es una tasa, por lo que suele representarse en tanto por ciento (no frente a valores teóricos, sino respecto a sí misma: tanto por ciento de la FVC que se espira en el primer segundo). Su valor normal es mayor del 70 % (73).

4. Flujo espiratorio máximo (FEM, o en inglés Peak Espiratory Flow, PEF): Cantidad máxima de aire que puede exhalarse por segundo en una espiración forzada. Es el pico máximo de flujo que se obtiene y se produce antes de haber expulsado el 15 % de la FVC (73).

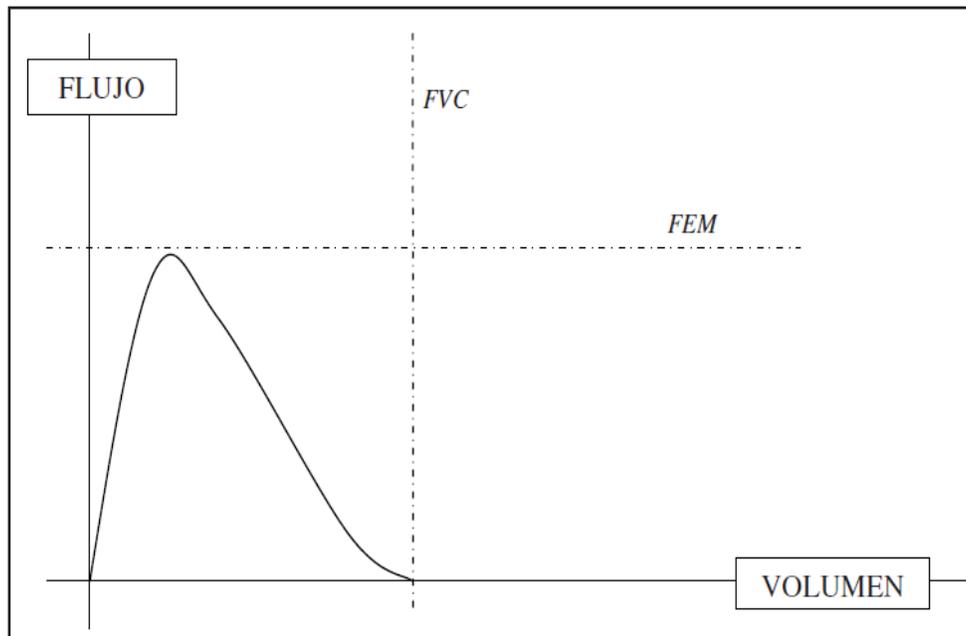
Es un marcador especialmente útil en el diagnóstico de asma y en las crisis asmáticas, donde se emplea ya como valor objetivo predictor de gravedad, También refleja el grado de obstrucción que existe a la salida del aire de los pulmones Se mide en litros /s, litros/ min o como porcentaje del valor de referencia (bien respecto de tablas teóricas para los datos del paciente o, mejor aún, respecto a sus propios datos basales previamente calculados) (73).

Refleja el estado de las vías aéreas de gran calibre, y es un índice aceptado como medida independiente de la función pulmonar (74).

5. Flujo espiratorio máximo entre el 25 y el 75 % de la FVC o flujo meso espiratorio (Forced Espiratory Flow_{25 – 75%}, FEF_{25 – 75%}): Aporta información sobre qué cantidad del aire total espirado lo hace entre el 25 y el 75% del tiempo de espiración. Es un flujo, y puede expresarse como ml/s o como un tanto por ciento frente a sus cifras teóricas. Su valor normal es mayor del 60%. Dado que para su cálculo elimina la parte inicial y final de la curva flujo–

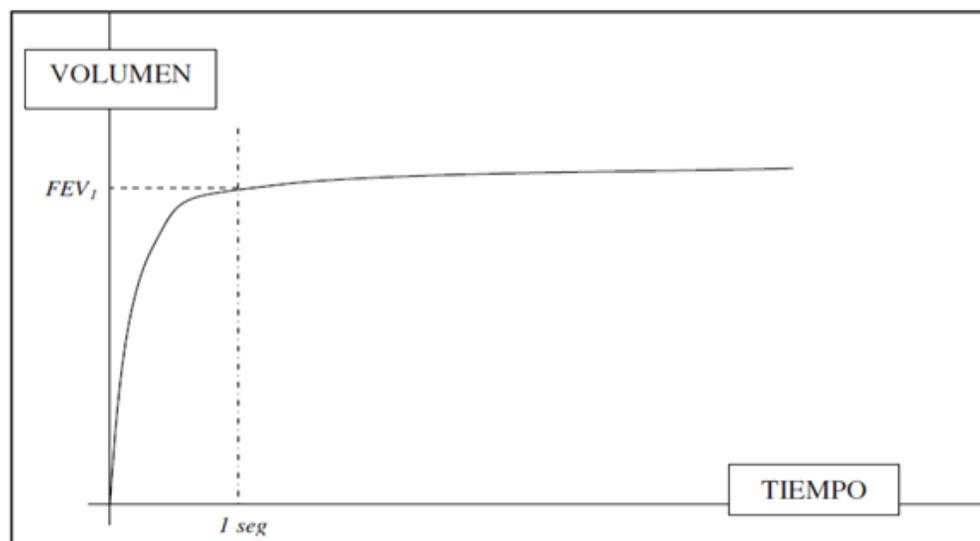
volumen (que son más esfuerzo–dependientes, y por tanto menos objetivas), se considera un marcador precoz de daño de las pequeñas vías aéreas, de forma que puede verse alterado mucho antes que los otros datos espirométricos (aunque presenta una marcada variabilidad entre unos pacientes y otros, e incluso dentro del mismo paciente, por lo que sólo es útil de forma orientativa, y no para establecer diagnósticos) (73).

Gráfico N° 05 Espirometría forzada Flujo vs Volumen



Fuente: Romero de Ávila -Cabezón G., et al. Cuadernos de atención primaria. Las 4 reglas de la espirometría (33)

Gráfico N° 06 Espirometría forzada Volumen vs Tiempo



Fuente: Romero de Ávila -Cabezón G., et al. Cuadernos de atención primaria. Las 4 reglas de la espirometría (33)

2.3.33 Valores normales, esperados o predichos de la función pulmonar

Para la interpretación de una espirometría es necesario comparar los resultados obtenidos con los valores de referencia, también llamados valores normales o predichos. Los valores “normales” son estimaciones matemáticas calculados con ecuaciones de regresión que describen un valor promedio de FVC o FEV1 que corresponden a un individuo de acuerdo al sexo, la edad y estatura (46). Para definir si la espirometría es normal o baja se debe de conocer el LIN (límite inferior normal) para FVC, FEV1 y FEV1/FVC el cual varía de acuerdo a la ecuación de referencia que se utilice (46), esto se muestra en la Tabla N° 6.

Tabla N° 06 Porcentaje de predicho al que corresponde el límite inferior de normalidad en varias ecuaciones de referencia

ECUACIÓN	FEV ₁ %		FVC%		FEV ₁ /FVC%	
	VARONES	MUJERES	VARONES	MUJERES	VARONES	MUJERES
PÉREZ-PADILLA	78	83	81	82	92	92
REGALADO	82	84	82	81	88	79
NHANES	79	91	81	82	88	91
CRAPO	80	85	81	83	91	91
KRUDSON	85	85	85	87	91	67
COULTAS	86	89	85	89	-	-
QUANJER	87	87	89	89	94	93

Fuente: Pérez-Padilla, R. y Vásquez García, J.C. Manual para el uso y la interpretación de la espirometría por el médico. 2007 (46).

2.3.34 Determinación de patrones espirométricos

La interpretación siempre comienza con una valoración de la calidad de la prueba, sigue con la evaluación de la relación FEV1/FVC y posteriormente de FVC. En caso de patrón obstructivo se evalúa FEV1 para determinar el grado de obstrucción (46). (Ver Flujograma N° 01)

2.3.34.1 Patrón normal

Está definido por una relación FEV1/FVC arriba del LIN (Límite inferior normal) con FVC dentro de límites normales, también por arriba del LIN. El patrón normal se refiere a volúmenes dentro de límites de referencia para la edad, el sexo y la estatura de un individuo (46).

2.3.34.2 Patrón sugestivo de restricción pulmonar o restrictivo

Si la relación FEV1/FVC es normal ($>$ LIN), pero la FVC es baja, estos parámetros sugieren restricción pulmonar. El patrón restrictivo se refiere a un pulmón pequeño como se observa en las enfermedades intersticiales o fibrosantes del pulmón en donde hay un bajo volumen desplazable. Sin embargo, recordemos que la espirometría sólo mide volumen de aire al final de una espiración forzada. En casos de atrapamiento de aire, como en la obstrucción grave, también se puede desplazar poco volumen de aire, sugiriendo erróneamente un pulmón pequeño. La confirmación de un patrón restrictivo o de un pulmón pequeño se hace midiendo la capacidad pulmonar total por pletismografía o estimándola en una placa de tórax (46).

2.3.34.3 Patrón obstructivo

El parámetro que mejor refleja el grado de obstrucción es FEV1. Se considera obstrucción al flujo aéreo cuando el FEV1 y la relación FEV1/FVC es inferior al LIN (75).

Esto significa que la resistencia al flujo de aire está aumentada y durante el primer segundo de la exhalación forzada sale menos aire de lo normal.

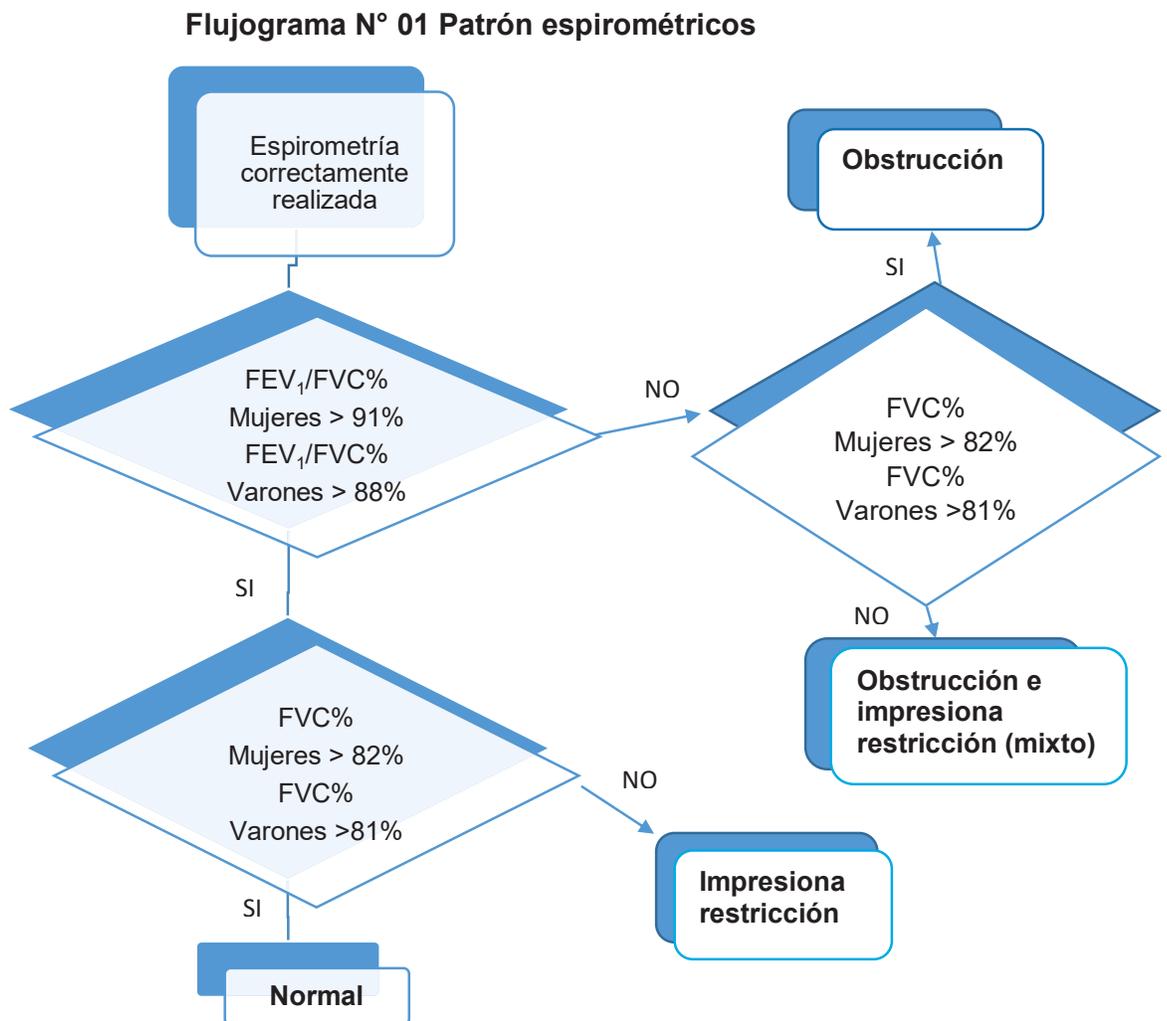
Una vez que se determina un patrón obstructivo, se determina la gravedad de la obstrucción para lo cual se usa el FEV1 (46).

En los estadios iniciales de la enfermedad, el único parámetro anormal de la espirometría puede ser el flujo mesoespiratorio (FEF25-75). En las fases avanzadas puede observarse una reducción de la FVC (75), por lo que FVC puede ser normal en fases no avanzadas (46).

2.3.34.4 Patrón obstructivo y restrictivo o mixto

Se refiere a la coexistencia de obstrucción y restricción pulmonar, la relación FEV₁/FVC es bajo, es decir < LIN, y FVC es < LIN.

La incorporación de pruebas que miden capacidad pulmonar total (TLC), como la pletismografía corporal, definen la presencia de patrón mixto (46).



Fuente: En base a Pérez-Padilla, R. y Vásquez García, J.C. Manual para el uso y la interpretación de la espirometría por el médico. 2007 (46).

2.3.35 Función Pulmonar en la altura

Es importante mencionar que los valores espirométricos se ve influenciada por la altitud de la zona geográfica, pues existen estudios que demuestran que la capacidad pulmonar en la altura es mayor que el habitante a nivel del mar, este mayor volumen se traduce en las pruebas de función pulmonar, como sucede en la espirometría, en el cual se observan mayores valores de CVF, VEF1 y CPT en el habitante de altura que del nivel del mar (76).

Esto es por los mecanismos de adaptación fisiológicas y/o anatómicas que se presenta ante los cambios climáticos y de altitud (decrecientes niveles de oxígeno y de presión barométrica) a medida que aumenta la altitud y la permanencia en la altura, las adaptaciones pasan de ser fisiológicas, para convertirse en anatómicas, que se observa en los habitantes que han nacido y crecido en las alturas (77,78).

Los mecanismos de adaptación a la altura que se empiezan a notar a partir de los 2000 m.s.n.m., pero es notorio a partir de los 3000 m.s.n.m. Consiste en que a una menor presión barométrica, produce una menor presión ambiental de oxígeno, que produce aumento en la ventilación y este control de la ventilación es mediado por los cuerpos carotideos, que responde a la presión de oxígeno y a los quimiorreceptores centrales que responde a la presión de CO₂. Por lo tanto el habitante de la altura hiperventila produciendo una disminución de la concentración de CO₂. Otro mecanismo de adaptación producido por la hipoxia es la vasoconstricción pulmonar, que produce aumento de la presión arterial pulmonar y aumento de la resistencia vascular pulmonar, y si la exposición es crónica se producen cambios anatómicos en las arterias pulmonares, este cambio condiciona un mayor volumen del ventrículo derecho, con aumento de la presión arterial pulmonar, mayor vascularidad pulmonar y una mayor capacidad pulmonar, además de mayor tamaño de caja torácica, aumento del hematocrito y de la hemoglobina. Las modificaciones anatómicas del habitante de la altura le permiten realizar sus actividades normales a expensas de una mayor contracción ventricular derecha y mayor esfuerzo respiratorio (hiperventila) (78). En la espirometría por tanto se debe observar mayor CVF y VEF1 en el habitante de la altura que del nivel del mar (76).

Los espirómetros actuales utilizan variable como: temperatura, presión atmosférica a nivel del mar, la talla, edad, peso y raza; pero no se incluye la variable nivel de altura en que nació y creció, que es importante a partir de los 3000 m.s.n.m. (76).

Estas diferencias son observables cuando estos habitantes de altura acuden a consulta por un problema pulmonar y cuando se realiza la espirometría, se observa que los resultados son muchas veces “normales”, a pesar de observar leve disnea, o tener historia de enfermedad pulmonar crónica, o tabaquismo por largos años, no se observa una concordancia entre la clínica y el valor espirométrico que lo considera normal. Por lo tanto se deberían hacer una modificación de los valores normales para una persona de altura, ya que será difícil detectar patología pulmonar en sus inicios, ya que saldrán valores normales (76).

2.3.35 Definición de Términos

- **MP10:** Son partículas cuyo diámetro es menor o igual a $10\mu\text{m}$. Están compuestas de aerosoles, polvos, metales, productos de combustión, o bien microorganismos como protozoos, bacterias, virus, hongos y polen (79).
- **MP2.5:** Partículas de diámetro menor o igual a $2.5\mu\text{m}$. Esta fracción no es emitida directamente a la atmósfera, sino que se forma en ésta como producto de reacciones fotoquímicas y procesos físicos. Está compuesta de partículas finas y ultra finas, provenientes del diésel o carbón y de metales, como Pb, Zn o Cu (79).
- **Espirometría:** La espirometría es la técnica que mide los flujos y volúmenes respiratorios útiles para el diagnóstico y seguimiento de patologías respiratorias. Puede ser simple o forzada (80).
- **Filtros de cuarzo:** Material fabricados con microfibra de cuarzo pura (SiO_2) sin ligantes ni aditivos con contenido extremadamente bajo en metales pesados. Tiene excelente retención de partículas muy finas por mecanismos de adsorción de las fibras de cuarzo, la permeabilidad del aire del ambiente es muy elevada. Permite al paso de grandes volúmenes de

aire, y presenta excelente estabilidad química sin pérdida de masa de filtro, debidas a reacciones químicas en condiciones extremas con gases ácidos (HCl, SO₂, SO₃, H₂SO₄, NO y NO₃). Excelente resistencia química a solventes, ácidos (excepto HF) y álcalis (81).

- **Hi-Vol:** Es un muestreador de aire activo. Por lo general, se bombea un volumen conocido de aire a través de un colector como un filtro durante un determinado periodo y luego se retira para el análisis (3).
- **Nitratos:** Compuesto inorgánico compuesto por un átomo de nitrógeno (N) y tres átomos de oxígeno (O); el símbolo químico del nitrato es NO₃ (82).
- **Sulfatos:** Son sales o los ésteres del ácido sulfúrico. Contienen como unidad común un átomo de azufre en el centro de un tetraedro formado por cuatro átomos de oxígeno (83).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales

3.1.1 Materiales de laboratorio

- Matraz volumétrico de 100, 50, 25, 10 mL borosilicato de clase A.
- Probeta 100, 50 y 20 mL
- Vaso precipitado 250, 100, 50mL borosilicato de clase A
- Pipeta de 1, 5, 10 mL
- Tubos de ensayos de 20mL
- Goteros
- Frascos de vidrio de 100mL
- Gradillas
- Pinzas de metal
- Embudo de vidrio
- Matraz de 250 mL
- Espátulas pequeñas
- Tubos de plástico de 50mL
- Balón pyrex
- Soporte universal
- Columna de destilación fraccionada
- Mangueras
- Trípode
- Trampa Kjeldahl
- Corchos
- Recipientes de metal
- Pizeta
- Fósforo

3.1.2 Aparatos y equipo de laboratorio

- Filtros de Cuarzo 8 x 10" marca Whatman-UK
- Spray de Silicona 316 para retención de partículas Marca Molykote

- Aplicación descargada de GPS
- HiVol Modelo 3000 con cabezal MP10 y MP2,5 Marca Ecotech
- Balanza analítica Modelo YP1003 Marca Electronic scale
- Balanza analítica Modelo PA224 Marca OHAUS
- Termohigrómetro HTC-1
- Estación metereologica Marca Rainwise inc Portolog con Software Rain Wise.
- Espectrofotómetro UV Marca Camspec Modelo M105
- Centrifuga Marca Labmedical Modelo LAB-100T
- Estufa
- Cocinilla eléctrica
- Mechero bunsen
- Gas

3.1.3 Material de consultorio Médico

- Tallímetro
- Bascula
- Espirómetro Spirobank II S/N 000322 y Espirómetro Spirolab III S/N 312409
- Boquillas

3.1.4 Reactivos

- Reactivo Nessler
- Cloruro de bario 0.1M
- Ácido Sulfúrico 0.002N
- Ácido Clorhídrico 1:1
- Ácido Nítrico concentrado
- Hidróxido de sodio concentrado
- Aleación de Devarda
- Cloruro de Amonio
- Agua Destilada
- Glicerina

3.1.5 Materiales de campo

- Papel toalla
- Franela
- Mascarillas
- Guantes de nitrilo
- Reloj
- Ficha de recolección de datos
- Cámara fotográfica
- Brújula
- Tela
- Calculadora

3.1.6 Materiales de escritorio

- Tijera
- Lapiceros
- Plumones indelebles
- Cuaderno de campo
- Laptop procesador Core i3
- Cinta embalaje
- Cinta masking

3.1.7 Software para el trabajo

- Microsoft Word 2013
- Microsoft Excel 2013
- Software R Core Team versión 2015

3.2 Diseño metodológico

3.2.1 Ubicación y tiempo

A. Ubicación

La obtención de los datos de material particulado y función pulmonar se adquirieron del Centro Histórico del Cusco.

El material particulado se tomó de 5 puntos de mayor densidad vehicular los cuales fueron: Av. Garcilaso (Wanchaq), plaza San Francisco, plaza

Limacpampa, plaza Pumaqchupan (Av. Sol) y calle Ayacucho-Matará siguiendo el Protocolo de calidad del aire de DIGESA que recomienda mínimo 2 estaciones de medición de material particulado para la cantidad de población en Cusco (3).

La determinación de las muestras de material particulado se realizó en el laboratorio de física de la Facultad de Ciencias Básicas de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco y el análisis químico (Nitratos y Sulfatos) del material particulado se realizó en el Laboratorio MC-Quimicalab S.A.C. ubicado en Coviduc A-4, distrito de San Sebastián de la ciudad del Cusco.

La función pulmonar se midió en vendedores ambulantes ubicados alrededor de los puntos de muestreo de material particulado antes mencionados, quienes fueron llevados al Hospital Regional de la Ciudad del Cusco y Hospital de la Solidaridad para la evaluación respectiva.

B. Tiempo

La función pulmonar se evaluó desde Enero hasta Junio del 2018.

La determinación de material particulado se realizó desde el mes de Enero del 2018 hasta el mes de Mayo del 2018 y el análisis químico (nitratos y sulfatos) del material particulado se realizó en Abril y Mayo del 2018.

3.2.2 Nivel y tipo de estudio

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo y es de tipo descriptivo correlacional de corte transversal.

Descriptivo: Se buscó especificar características importantes de la muestra en estudio y se midió cada una de las variables de manera independiente, sin manipular ninguna de ellas.

Correlacional: Se estableció la relación que existe entre las variables nivel de material particulado menor a $10\mu\text{m}$ y $2.5\mu\text{m}$, nitratos y sulfatos presentes, y la función pulmonar en vendedores ambulantes expuestos.

Transversal: El estudio se realizó en un tiempo único, se midieron la relación de las variables en un momento determinado. La recolección de datos de material particulado, nitratos y sulfatos presentes en el mismo; y los datos de función pulmonar se recolectaron entre los meses de Enero y Junio del 2018.

3.2.3 Población

La población estaba conformada por 99 vendedores ambulantes sindicalizados y no sindicalizados que trabajan en las vías de mayor tránsito vehicular del Centro Histórico del Cusco que están expuestos en forma permanente y ubicados alrededor de los puntos de recolección de material particulado.

3.2.4 Muestra

Conformado por sujetos de estudio y material particulado:

- A. Muestra de sujetos de estudio:** Compuesta por vendedores ambulantes sindicalizados y no sindicalizados que trabajan en las vías de tránsito de mayor flujo vehicular del Centro Histórico del Cusco, ubicados alrededor de los puntos de recolección de MP, quienes voluntariamente deseen participar en la investigación y que cumplan los criterios de inclusión y exclusión.
- B. Muestra de material particulado:** Compuesta por material particulado menor de $10\mu\text{m}$ (MP10) y material particulado menor de $2.5\mu\text{m}$ (MP2.5) obtenidos mediante absorción de aire y acumulados en filtros de cuarzo, los cuales han sido recolectados en 5 puntos, según DIGESA recomienda mínimo dos puntos cuando la población es menos de 1 millón (3). Los puntos de recolección de MP estaban cerca a los vendedores ambulantes que trabajan en las vías de tránsito de mayor flujo vehicular del Centro Histórico del Cusco.

3.2.5 Tamaño muestral

- A. Sujetos en estudio:** De los 99 vendedores ambulantes sindicalizados y no sindicalizados que trabajaban en las vías de mayor flujo

vehicular, ubicados alrededor de los puntos de recolección de material particulado en el Centro Histórico del Cusco, 20 realizaron la prueba de espirometría ya que cumplieron con los criterios de inclusión y exclusión.

Tabla N° 07 Distribución de población y muestra de sujetos en estudio del Centro Histórico del Cusco. 2018

Sector*	Zona de trabajo	Población		Muestra	
		N	%	N	%
A†	CLAS Wanchaq y Calle Ayacucho-Matara	49	49.5	10	50.0
B‡	Plaza Limacpampa y Plaza Pumaqchupan (Av. El Sol)	25	25.3	4	20.0
C§	Plaza San Francisco	25	25.3	6	30.0
TOTAL		99	100.0	20	100.0

*La sectorización se realizó según los resultados obtenidos de material particulado

†Sector A: Considerado como sector con mayores concentraciones de material particulado

‡Sector B: Considerado como sector con medias concentraciones de material particulado

§Sector C: Considerado como sector con menores concentraciones de material particulado.

Fuente: Base de datos del estudio.

B. Material particulado: Siguiendo las recomendaciones de DIGESA (3) se consideró 3 filtros de MP10 y otros 3 filtros MP2.5 en cada punto de muestreo, en los 5 puntos de muestreo se obtuvieron un total de 15 filtros de MP10 y 15 filtros de MP2.5.

3.2.6 Tipo de muestreo

No probabilístico intencionado porque estuvo supeditado al criterio del investigador basándose en un estudio anterior realizado por el Programa de Aire Limpio (PRAL) en el 2013.

3.3 Criterios de selección

3.3.1 Criterios de inclusión

- Vendedores ambulantes sindicalizados y no sindicalizados que labora en vías con mayor tráfico vehicular en el Centro Histórico del Cusco.
- Vendedores ambulantes que firmen la carta de consentimiento informado.
- Edad: mayores de 18 años de edad.
- Género: masculino y femenino.

- Tiempo mínimo de exposición: un año.

3.3.2 Criterios de exclusión

- Vendedores ambulantes sindicalizados y no sindicalizados que no laboran en vías con mayor tráfico vehicular en el Centro Histórico del Cusco.
- Vendedores ambulantes que no deseen participar en el estudio y que no firmen la carta de consentimiento
- Edad: menores de 18 años de edad.
- Tiempo de exposición: menor a un año.
- Vendedores ambulantes mujeres que se encuentren embarazadas.
- Vendedores ambulantes que presentan dolor torácico intenso, neumotórax, hemoptisis franca, angor inestable, desprendimiento de retina, cirugía abdominal y que cumplan con las condiciones del Anexo N°02 en los que no se puede realizar la espirometría.

3.4 Identificación y Operacionalización de variables

3.4.1 Variables intervinientes

3.4.1.1 Nivel de MP10 acumulado en filtros de cuarzo

Cantidad de material particulado menor a 10 μm disperso en un volumen de aire durante 24 horas acumulados en la superficie de filtros de cuarzo.

Naturaleza: Cuantitativo

Forma de medición: Directa

Escala: Razón

Técnica de recolección de datos: Mediante la observación de la diferencia de masas inicial y final de los filtros de material particulado dividido entre el volumen total del aire de las 24 horas.

Instrumento de medición: Balanza analítica y HiVol 3000.

Indicador: Masa de material particulado menor a 10 μm acumulados en filtros de cuarzo por volumen de aire en 24 horas convertido a $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Expresión final: $\mu\text{g}/\text{m}^3$

3.4.1.2 Nivel de MP 2.5 acumulado en filtros de cuarzo

Cantidad de material particulado menor a 2.5 μm disperso en un volumen de aire durante 24 horas acumulados en la superficie de filtros de cuarzo.

Naturaleza: Cuantitativo

Forma de medición: Directa

Escala: Razón

Técnica de recolección de datos: Mediante la observación de la diferencia de masas inicial y final de los filtros de material particulado dividido entre el volumen total del aire de las 24 horas.

Instrumento de medición: Balanza analítica y HiVol 3000.

Indicador: Masa de material particulado menor a 2.5 μm acumulados en filtros de cuarzo por volumen de aire en 24 horas convertido a $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Expresión final: $\mu\text{g}/\text{m}^3$

3.4.1.3 Concentración de nitratos presentes en MP10 y MP2.5 acumulados en filtros de cuarzo

Cantidad de Nitratos presentes en material particulado menor de 10 μm y 2.5 μm acumulados en filtros de cuarzo durante 24 horas en un volumen de aire.

Naturaleza: Cuantitativo

Forma de medición: Indirecta

Escala: Razón

Técnica de recolección de datos: Mediante la lectura de la transmitancia de la luz en el espectrofotómetro UV a 410 nm comparado con la curva de calibración.

Instrumento de medición: Espectrofotómetro UV.

Indicador: Porcentaje de transmitancia de luz que atraviesa por la muestra disuelta y procesada de material particulado menor de 10 μm y 2.5 μm convertido a $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Expresión final: $\mu\text{g}/\text{m}^3$

3.4.1.4 Concentración de sulfatos presentes en MP10 y MP2.5 acumulados en filtros de cuarzo

Cantidad de sulfatos presentes en material particulado menor de 10 μm y 2.5 μm acumulados en filtros de cuarzo durante 24 horas en un volumen de aire.

Naturaleza: Cuantitativo

Forma de medición: Indirecta

Escala: Razón

Técnica de recolección de datos: Mediante la lectura de la transmitancia de la luz en el espectrofotómetro UV a 550 nm comparado con la curva de calibración.

Instrumento de medición: Espectrofotómetro UV.

Indicador: Porcentaje de transmitancia de luz que atraviesa por la muestra disuelta y procesada de material particulado menor de 10 μm y 2.5 μm convertido a $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Expresión final: $\mu\text{g}/\text{m}^3$

3.4.1.5 Función pulmonar en vendedores ambulantes expuestos

Cantidad de aire forzado que exhala después de una profunda inspiración en un tiempo determinado por los vendedores ambulantes expuestos.

Naturaleza: Cuantitativo

Forma de medición: Indirecta

Escala: Razón

Técnica de recolección de datos: Mediante la ejecución de la maniobra con inspiración máxima, exhalación explosiva, exhalación

continua y sostenida por 6 segundos aproximadamente y análisis de resultados de FEV1/FVC, FEV1 y FVC.

Instrumento de medición: Espirómetro

Indicadores: A través de parámetros espirométricos

1. Relación entre cantidad de aire total espirado en el primer segundo y capacidad vital forzada (FEV1/FVC) expresado en porcentaje. (%).
2. Capacidad vital forzada (FVC) expresado en litros (L) y en porcentaje % FVC del predicho.
3. Volumen espiratorio forzado en el primer segundo (FEV1) expresado litros (L) y en porcentaje % FEV1 del predicho.

Expresión final:

1. %
2. L-%
3. L-%

3.4.1.6 Patrones espirométricos en la función pulmonar

Alteraciones espirométricas que indican el estado de la función pulmonar de los vendedores ambulantes.

Naturaleza: Cualitativo

Forma de medición: Directa

Escala: Nominal

Técnica de recolección de datos: Comparación de los resultados de %FEV1/FVC, %FVC del predicho y %FEV1 del predicho comparados con el LIN (límite inferior normal) según sea varón o mujer.

Instrumento de medición: Espirómetro

Indicadores: A través de los parámetros espirométricos de los porcentajes predichos %FVC, %FEV1 y %FEV1/FVC.

Expresión final:

1. Patrón obstructivo: Si $\%FEV1/FVC < LIN$ y $\%FVC > LIN$
2. Patrón restrictivo: Si $\%FEV1/FVC > LIN$ y $\%FVC < LIN$
3. Patrón mixto: Si $\%FEV1/FVC < LIN$ y $\%FVC < LIN$
4. Patrón normal: Si $\%FEV1/FVC > LIN$ y $\%FVC > LIN$

3.4.1.7 Tiempo de permanencia diaria de los vendedores ambulantes

Periodo determinado en el que el vendedor ambulante está expuesto diariamente al material particulado.

Naturaleza: Cuantitativo

Forma de medición: Directa

Escala: Razón

Procedimiento de medición: Aplicación de la encuesta en los vendedores ambulantes.

Instrumento de medición: Hoja de recolección de datos

Indicador: Número de horas diarias de trabajo del vendedor ambulante.

Expresión final: Horas

3.4.1.8 Tiempo de trabajo de los vendedores ambulantes

Periodo determinado en el que realiza el trabajo. Son los años que viene trabajando como vendedor ambulante.

Naturaleza: Cuantitativo

Forma de medición: Directa

Escala: Razón

Técnica de recolección de datos: Aplicación de la encuesta en los vendedores ambulantes.

Instrumento de medición: Hoja de recolección de datos

Indicador: Número de años ha venido trabajando el vendedor ambulante.

Expresión final: Años

3.4.1.9 Zona de trabajo de los vendedores ambulantes

El Lugar donde el vendedor ambulante permanece o donde está ubicado su puesto de venta.

Naturaleza: Cualitativo

Forma de medición: Directa

Escala: Nominal

Técnica de recolección de datos: Aplicación de la encuesta en los vendedores ambulantes.

Instrumento de medición: Hoja de recolección de datos

Indicador: Dirección del lugar de trabajo o dónde se ubica su puesto de venta.

Expresión final: Avenida
Calle

3.4.1.10 Edad

Tiempo transcurrido a partir del nacimiento del vendedor ambulante.

Naturaleza: Cuantitativo

Forma de medición: Directa

Escala: Razón

Técnica de recolección de datos: Aplicación de la encuesta en los vendedores ambulantes.

Instrumento de medición: Hoja de recolección de datos

Indicador: Tiempo de vida del vendedor ambulante.

Expresión final: Años

3.4.1.11 Consumo de cigarros

Es una agravante de la función pulmonar. Se refiere al hábito que tiene el vendedor ambulante a fumar cigarros.

Naturaleza: Cualitativo

Forma de medición: Directa

Escala: Nominal

Técnica de recolección de datos: Aplicación de la encuesta en los vendedores ambulantes.

Instrumento de medición: Hoja de recolección de datos

Indicador: Presencia o ausencia de hábito a fumar cigarros del vendedor ambulante.

Expresión final: Si
No

3.4.1.12 Uso de leña

Es una agravante de la función pulmonar. Se refiere al empleo de leña como combustible doméstico por el vendedor ambulante.

Naturaleza: Cualitativo

Forma de medición: Directa

Escala: Nominal

Técnica de recolección de datos: Aplicación de la encuesta en los vendedores ambulantes.

Instrumento de medición: Hoja de recolección de datos

Indicador: Si usa o no leña como fuente para cocinar.

Expresión final: Si
No

3.4.1.13 Afección pulmonar

Enfermedad o estado pulmonar del vendedor ambulante considerado como agravante de la función pulmonar.

Naturaleza: Cualitativo

Forma de medición: Directa

Escala: Nominal

Técnica de recolección de datos: Aplicación de la encuesta en los vendedores ambulantes.

Instrumento de medición: Hoja de recolección de datos

Indicador: Presencia o ausencia actual de antecedente de asma, EPOC, bronquitis crónica, tuberculosis, cirugía pulmonar y/o otras afecciones pulmonares.

Expresión final: Si
No

3.4.2 Variables no intervinientes

3.4.2.1 Género

Se refiere a la división del género humano en dos grupos mujer y varón.

Naturaleza: Cualitativo

Forma de medición: Directa

Escala: Nominal

Técnica de recolección de datos: Aplicación de la encuesta en los vendedores ambulante.

Instrumento de medición: Hoja de recolección de datos

Indicador Características físicas sexuales

Expresión final: Masculino
Femenino

3.4.2.2 Grado de instrucción

Nivel de estudio del vendedor ambulante.

Naturaleza: Cualitativo

Forma de medición: Directa

Escala: Nominal

Técnica de recolección de datos: Aplicación de la encuesta en los vendedores ambulantes.

Instrumento de medición: Hoja de recolección de datos

Indicador: Grado de estudios realizados por el vendedor ambulante.

Expresión final: Nivel primario
Nivel secundario
Educación superior

3.4.2.3 Discapacidad

Falta o limitación de alguna facultad física o mental que imposibilita o dificulta el desarrollo normal de la actividad del vendedor ambulante.

Naturaleza: Cualitativo

Forma de medición: Directa

Escala: Nominal

Técnica de recolección de datos: Aplicación de la encuesta en los vendedores ambulantes.

Instrumento de medición: Hoja de recolección de datos

Indicador: Presencia de algún tipo de discapacidad motora, auditiva y/o visual.

Expresión final: Si (Con discapacidad)
No (Sin discapacidad)

Tabla N° 08 Operacionalización de variables

VARIABLES INTERVINIENTES	DEFINICION CONCEPTUAL	NATURALEZA	FORMA DE MEDICIÓN	ESCALA DE MEDICIÓN	TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN	INDICADORES	EXPRESIÓN FINAL
Nivel de material particulado menor a 10 µm acumulados en filtros de cuarzo (MP10).	Cantidad de material particulado menor a 10 µm disperso en un volumen de aire durante 24 horas acumulados en la superficie de filtros de cuarzo.	Cuantitativo	Directa	Razón	Método gravimétrico: Mediante la diferencia de masa inicial y final de los filtros de material particulado, posteriormente dividirlo entre el volumen total de aire durante las 24 horas.	-Balanza analítica. -HiVol 3000	Masa de material particulado menor a 10 µm acumulados en filtros de cuarzo por volumen de aire en 24 h convertido a µg/m ³ .	µg/m ³
Nivel de material particulado menor a 2.5 µm acumulados en filtros de cuarzo (MP2.5).	Cantidad de material particulado menor a 2.5 µm disperso en un volumen de aire durante 24 horas acumulados en la superficie de filtros de cuarzo.	Cuantitativo	Directa	Razón	Método gravimétrico: Mediante la diferencia de masa inicial y final de los filtros de material particulado, posteriormente dividirlo entre el volumen total de aire durante las 24 horas.	-Balanza analítica. -HiVol 3000	Masa de material particulado menor a 2.5 µm acumulados en filtros de cuarzo por volumen de aire en 24h convertido a µg/m ³ .	µg/m ³

VARIABLES INTERVINIENTES	DEFINICION CONCEPTUAL	NATURALEZA	FORMA DE MEDICIÓN	ESCALA DE MEDICIÓN	TÉCNICA DE RECOLECCION DE DATOS	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN	INDICADORES	EXPRESIÓN FINAL
Concentración de Nitratos presentes en material particulado menor de 10µm y 2.5µm acumulados en filtros de cuarzo.	Cantidad de Nitratos presentes en material particulado menor de 10µm y 2.5µm acumulados en filtros de cuarzo durante 24 horas en un volumen de aire.	Cuantitativo	Indirecta	Razón	Mediante la lectura de la transmitancia de la luz en el espectrofotómetro UV a 410 nm comparado con la curva de calibración.	Espectrofotómetro UV	Porcentaje de transmitancia de luz que atraviesa por la muestra disuelta y procesada de material particulado menor de 10µm y 2.5µm convertido a µg/m ³ .	µg/m ³
Concentración de Sulfatos presentes en material particulado menor de 10µm y 2.5µm acumulados en filtros de cuarzo.	Cantidad de sulfatos presentes en material particulado menor de 10µm y 2.5µm acumulados en filtros de cuarzo durante 24 horas en un volumen de aire.	Cuantitativo	Indirecta	Razón	Mediante la lectura de la transmitancia de la luz en el espectrofotómetro UV a 550 nm comparado con la curva de calibración.	Espectrofotómetro UV	Porcentaje de transmitancia de luz que atraviesa por la muestra disuelta y procesada de material particulado menor de 10µm y 2.5µm convertido a µg/m ³ .	µg/m ³
Función pulmonar en vendedores ambulantes expuestos.	Cantidad de aire forzado que exhala después de una profunda inspiración en un tiempo determinado por los vendedores ambulantes expuestos.	Cuantitativa	Directa	Razón	Por espirometría: -Ejecución de la maniobra con inspiración máxima, exhalación explosiva, exhalación continua y sostenida por 6 segundos aproximadamente -Análisis en base a resultados de resultados de FEV1/FVC, FEV1 y FVC	Espirómetro	A través de parámetros espirométricos: 1. Relación entre cantidad de aire total espirado en el primer segundo y capacidad vital forzada (FEV1/FVC) expresado en porcentaje. (%) 2. Capacidad vital forzada (FVC) en litros (L) y en porcentaje % FVC del predicho. 3. Volumen espiratorio forzado en el primer segundo (FEV1) en litros (L) y en porcentaje % FEV1 del predicho.	1. % 2. L-% 3. L-%

VARIABLES INTERVIENTES	DEFINICION CONCEPTUAL	NATURALEZA	FORMA DE MEDICIÓN	ESCALA DE MEDICIÓN	TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN	INDICADORES	EXPRESIÓN FINAL
Patrones espirométricos en la función pulmonar	Alteraciones espirométricas que indican el estado de la función pulmonar	Cualitativa	Directa	Nominal	Mediante la comparación de los resultados de %FEV1/FVC, %FVC del predicho y %FEV1 del predicho comparados con el LIN (límite inferior normal) según sea varón o mujer.	Espirómetro	A través de los parámetros espirométricos de los porcentajes predichos de FVC, FEV1 y FEV1/FVC.	1. Patrón obstructivo: Si %FEV1/FVC < LIN y %FVC > LIN. 2. Patrón restrictivo: Si %FEV1/FVC > LIN y %FVC < LIN 3. Patrón mixto: Si %FEV1/FVC < LIN y %FVC < LIN 4. Patrón normal: Si %FEV1/FVC > LIN y %FVC > LIN
Tiempo de permanencia diaria de los vendedores ambulantes.	Período determinado en el que el vendedor ambulante está expuesto diariamente al material particulado.	Cuantitativo	Directa	Razón	Aplicación de encuesta	Hoja de recolección de datos	Número de horas diarias de exposición al material particulado.	Horas
Zona de trabajo de los vendedores ambulantes.	Lugar donde el vendedor ambulante permanece o está ubicado su puesto de venta.	Cualitativa	Directa	Nominal	Aplicación de encuesta	Hoja de recolección de datos	Dirección del lugar de trabajo o dónde se ubica su puesto de venta	Avenida Calle
Tiempo de trabajo de los vendedores ambulantes.	Período determinado en el que realiza el trabajo. Son los años que viene trabajando como vendedor ambulante.	Cuantitativo	Directa	Razón	Aplicación de encuesta	Hoja de recolección de datos	Número de años de exposición al material particulado.	Años

VARIABLES INTERVINIENTES	DEFINICION CONCEPTUAL	NATURALEZA	FORMA DE MEDICIÓN	ESCALA DE MEDICIÓN	TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN	INDICADORES	EXPRESIÓN FINAL
Edad	Tiempo transcurrido a partir del nacimiento de un individuo.	Cuantitativo	Directa	Razón	Aplicación de encuesta	Hoja de recolección de datos	Tiempo de vida del vendedor ambulante.	Años
Consumo de cigarros	Es una agravante de la función pulmonar. Se refiere al hábito que tiene el vendedor ambulante a fumar cigarros.	Cualitativa	Directa	Nominal	Aplicación de encuesta	Hoja de recolección de datos	Presencia o ausencia al hábito a fumar cigarros del vendedor ambulante	Si No
Uso de leña	Agravante de la función pulmonar. Es el empleo de leña como combustible doméstico.	Cualitativa	Directa	Nominal	Aplicación de encuesta	Hoja de recolección de datos	Si usa o no leña como fuente para cocinar	Si No
Afecciones pulmonares	Enfermedad o estado pulmonar del vendedor ambulante considerados como agravantes de la función pulmonar.	Cualitativa	Directa	Nominal	Aplicación de encuesta	Hoja de recolección de datos	Presencia o ausencia actual o de antecedente de asma, EPOC, bronquitis crónica, tuberculosis, cirugía pulmonar y/o otras afecciones pulmonares.	Si No

VARIABLES NO INTERVINIENTES	DEFINICION CONCEPTUAL	NATURALEZA	FORMA DE MEDICIÓN	ESCALA DE MEDICIÓN	TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN	INDICADORES	EXPRESIÓN FINAL
Género	Se refiere a la división del género humano en dos grupos mujer y varón.	Cualitativa	Directa	Nominal	Aplicación de encuesta	Hoja de recolección de datos	Características físicas sexuales.	Femenino Masculino
Grado de instrucción	Nivel de estudio del vendedor ambulante.	Cualitativa	Directa	Nominal	Aplicación de encuesta	Hoja de recolección de datos	Grado de estudios realizados	Nivel primario Nivel secundario Educación superior
Discapacidad	Falta o limitación de alguna facultad física o mental que imposibilita o dificulta el desarrollo normal de la actividad de una persona.	Cualitativa	Directa	Nominal	Aplicación de encuesta	Hoja de recolección de datos	Presencia o ausencia de algún tipo de discapacidad: Motora, auditiva y/o visual.	Si (con discapacidad) No (sin discapacidad)

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1 Técnicas de recolección de datos

3.5.1.1 Observación

1. Análisis de los resultados para el nivel de MP10 y MP2.5.
2. Análisis de resultados para nitratos y sulfatos en MP10 y MP2.5.
3. Lectura de datos meteorológicos: Temperatura ambiente, presión atmosférica, humedad, precipitación, dirección y velocidad de viento.
4. Evaluación de la función pulmonar por espirometría.

El tipo de observación en todos los casos es **estructurado** porque se usó un instrumento estandarizado para medir cada variable de manera uniforme.

3.5.1.2 Entrevista

Para la obtención de datos primarios de los vendedores ambulantes, el tiempo de permanencia diaria, zona de trabajo, tiempo de trabajo, edad género y factores agravantes de la función pulmonar.

3.5.2 Instrumentos de recolección de datos

1. Para el análisis del nivel de material particulado, nitratos, sulfatos en el mismo se usó HiVol, balanza analítica y espectrofotómetro UV, los datos se recolectaron en el formato del Anexo 3.
2. Para la obtención de datos meteorológicos se usó una estación meteorológica con Software Rain Wise.
3. Para la evaluación de la función pulmonar se usó espirómetro y los datos se recolectaron en el formato del Anexo 2.
4. Para la entrevista se usó un cuestionario estructurado o ficha de recolección de datos del Anexo 1.

3.6 Técnica de procesamiento y análisis estadístico de datos

Se generó una base de datos en Excel, la cual se alimentó con la información de cada entrevista, resultados obtenidos del análisis de la función pulmonar por espirometría, resultados de niveles de MP10 y MP2.5, concentración de nitratos y sulfatos en MP10 y MP2.5, y los datos meteorológicos; posteriormente fueron procesados en el software

estadístico R Core Team versión 2015. Se usó modelos de regresión lineal y prueba de Chi-cuadrado, ajustado a un modelo binomial con enlace Logit, para ver la relación entre las variables teniendo en cuenta un nivel de confianza del 95%.

3.7 Procedimientos

3.7.1 Ubicación de los puntos de muestreo en el Centro Histórico del Cusco

La recolección de material particulado fue en cinco puntos del Centro Histórico del Cusco, para el cual se siguió las recomendaciones del Protocolo de Calidad de Aire de DIGESA que recomienda mínimo dos puntos. Los puntos de muestreo se agruparon en tres sectores A, B y C, conformado por los puntos donde se encontraron mayores, medias y bajas concentraciones de material particulado respectivamente. Los vendedores ambulantes encuestados expuestos al material particulado estaban ubicados alrededor de estos puntos de recolección de material particulado. En la Tabla N° 9 se observa los puntos de muestreo en el Centro Histórico del Cusco con sus respectivas coordenadas.

Tabla N° 09 Coordenadas de los puntos de muestreo en el Centro Histórico del Cusco

Sector	Puntos de muestreo	Latitud	Longitud
A*	CLAS Wanchaq	13°31'21.0252"S	71°58'16.4028"O
	Calle Ayacucho-Matara	13°31'13.7424"S	71°58'41.8728"O
B†	Plaza Limacpampa	13°31'10.2432"S	71°51'25.42"O
	Plaza Pumaqchupan (Av. El Sol)	13°31'30.9828"S	71°58'20.7696"O
C‡	Plaza San Francisco	13°31'7.1688"S	71°58'54.1992"O

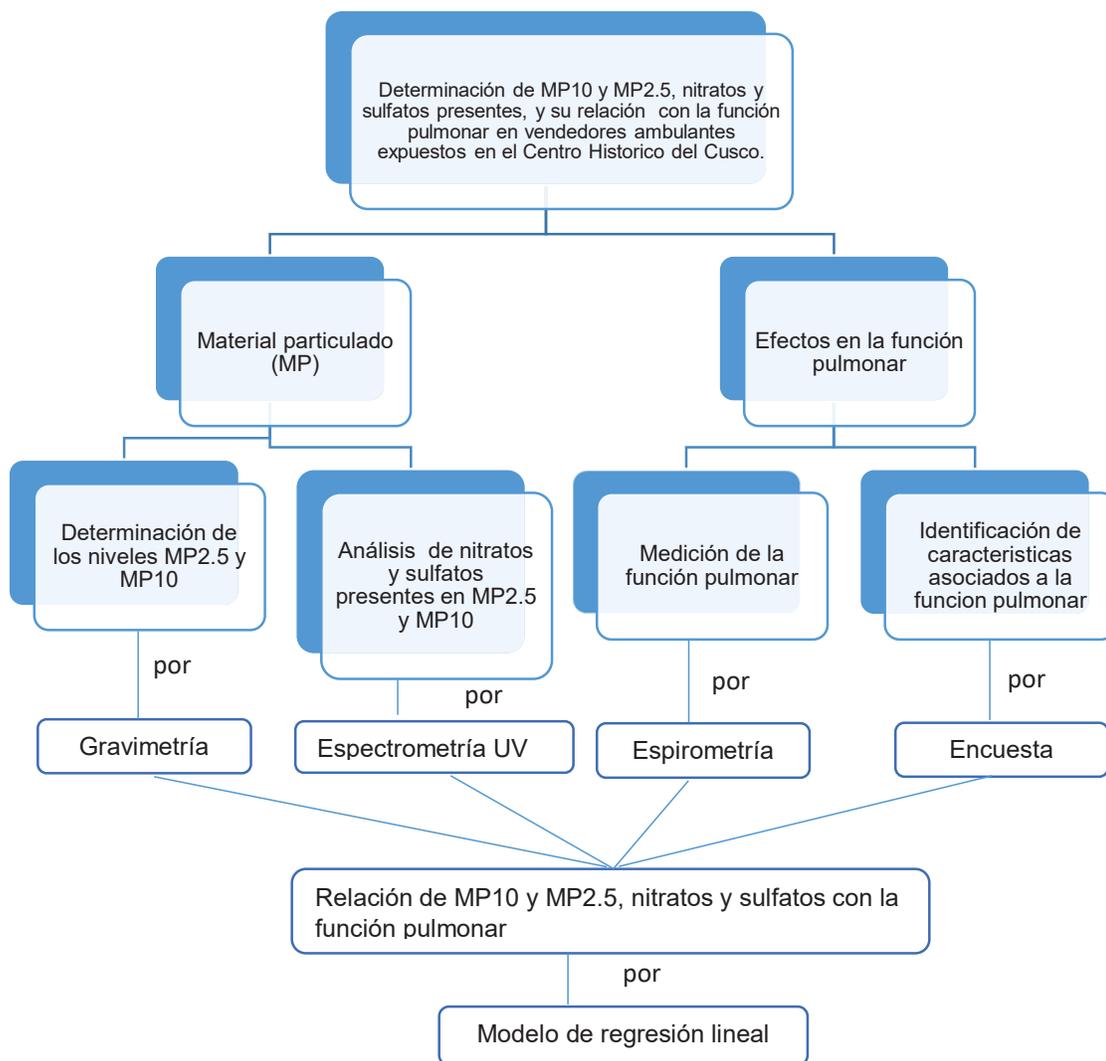
*Sector A: Considerado como sector con mayores concentraciones de material particulado

†Sector B: Considerado como sector con medias concentraciones de material particulado

‡Sector C: Considerado como sector con menores concentraciones de material particulado.

Fuente: SALCEDO C., CRUZ R., CUSCO-PERÚ 2018

Flujograma N° 02 Esquema general del procedimiento de análisis



Fuente: SALCEDO C., CRUZ R., CUSCO-PERÚ 2018

3.7.2 Procedimiento para el análisis de filtros de MP2.5 y MP10.

A. Material Particulado

A.1 Medición de masa inicial del filtro

1. Previamente se verificó que las condiciones de la sala de pesaje estén dentro de los límites. El acondicionamiento del filtro y el pesaje se realizó bajo condiciones atmosféricas controladas a

- una temperatura de $25 \pm 10^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa $<50\%$ (normalmente $50 \pm 5\%$ de humedad) durante al menos 24 h.
2. Se evitó el uso de pinzas metálicas. La manipulación del filtro fue con los dedos enguantados (guantes de vinilo libre de polvo) o con cualquier tipo de pinzas, se evitó tocar el área muestreada (71).
 3. Los filtros fueron colocados en cajas para su transporte y posteriormente al equipo de muestreo HiVol por 24 ± 1 horas.

A.2 Transporte de Filtros

1. Después de recoger las muestras, se transportó los filtros al laboratorio, teniendo cuidado de minimizar la contaminación y la pérdida de la muestra, para el cual se colocó en una caja pequeña individual con medidas exactas para el filtro y se transportó evitando la caída de algunas partículas a la base de la caja.
2. Los filtros se registraron en el cuaderno de campo, después de haber muestreado todos los puntos, la información se trasladó a la computadora del laboratorio. Se etiquetaron las cajas con la siguiente información: Código del filtro, fecha de medición de masa, fecha de inicio de monitoreo, punto de muestreo, condiciones de medición de masa (temperatura y humedad).
3. Se asignó código y números a los filtros, y se registraron en el formulario de registro de datos, "Hoja de registro de datos y Cálculos de material particulado" (Ver anexo N°3). Asegurando de que se incluya cualquier información de muestreo necesaria (71).

A.3 Medición de masa final del filtro

1. Se pesaron todos los filtros de acuerdo con el procedimiento de pesaje inicial mencionado anteriormente. Se registraron los pesos finales y se almacenó en una caja de vidrio con cierre hermético y cubierto.
2. En caso los filtros fueron analizados (nitratos y sulfatos), se colocó la información en el espacio de OBSERVACIONES del anexo 3.

3. Se calculó las concentraciones de partículas como:

$$MP = \frac{(W_f - W_i) \times 10^6}{V_{std}} \qquad V_{std} = \frac{V_t \times P_a \times T_s}{T_a \times P_s}$$

Donde:

MP = concentración en masa de partículas en suspensión (MP10 o MP2.5), $\mu\text{g}/\text{std m}^3$.

Wi = peso inicial del filtro limpio, g.

Wf = peso final del filtro expuesto, g.

Vt = Volumen Total a condiciones locales del ambiente

Pa = Presión del ambiente, atm.

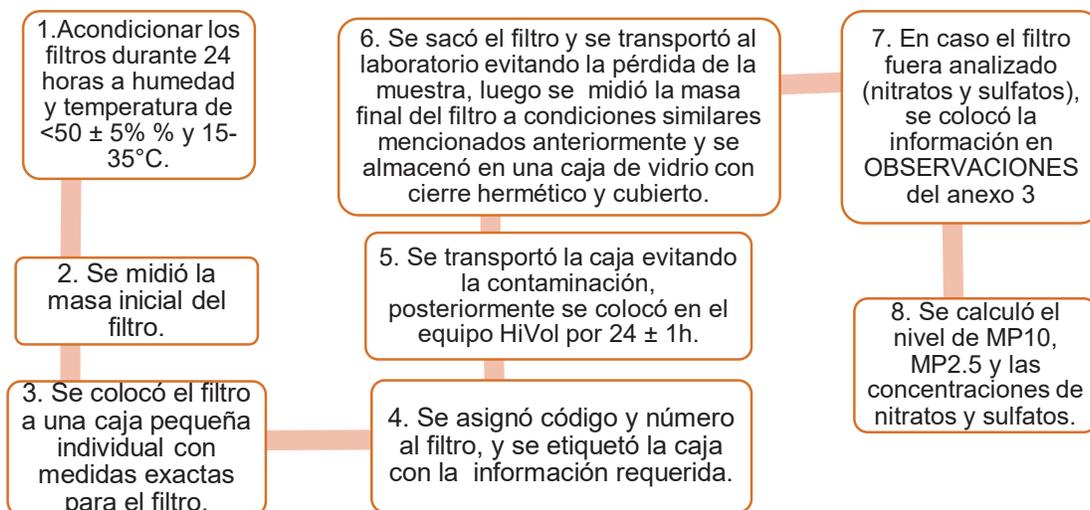
Ts= Temperatura estándar, °C.

Ta =Temperatura ambiente, °C.

Ps= Presión estándar, atm.

(71)

Flujograma N° 03 Resumen de procedimiento para el análisis de material particulado de filtros de MP2.5 y MP10



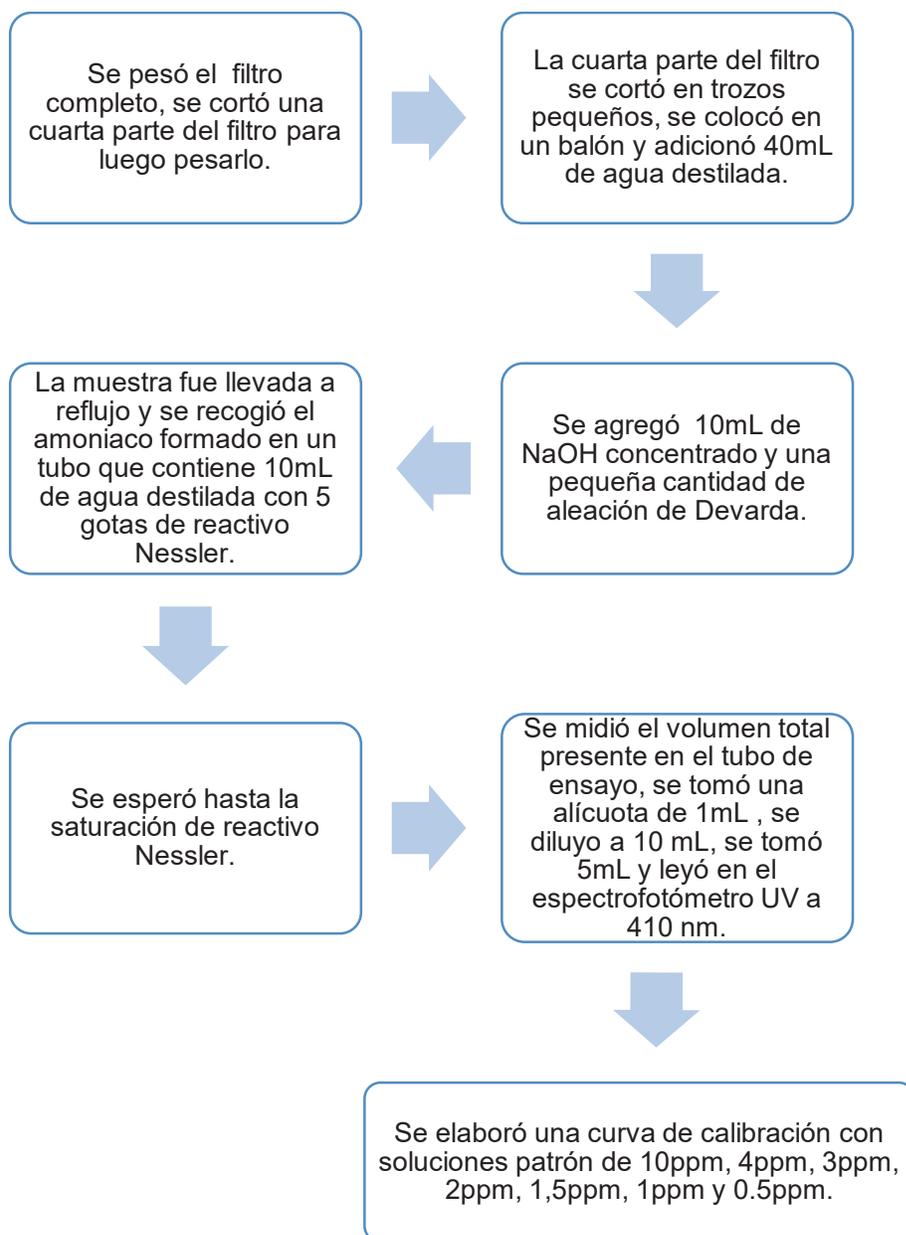
Fuente: SALCEDO C., CRUZ R., CUSCO-PERÚ 2018

B. Método para la determinación de Nitrato y Sulfatos en material particulado menor de 2.5 μm y 10 μm

B.1 Determinación de nitratos

- 1.- Se pesó el filtro completo, se cortó una cuarta parte del filtro para luego pesarlo.
- 2.- La cuarta parte del filtro se cortó en trozos pequeños, se colocó en un balón y adicionó 40mL de agua destilada.
- 3.- Se agregó 10mL de NaOH concentrado y una pequeña cantidad de aleación de Devarda.
- 4.- La muestra fue llevada al equipo preparado para reflujo.
- 5.- Se recogió el amoniaco formado en un tubo que contiene 10mL de agua destilada con 5 gotas de reactivo Nessler.
- 6.-Se esperó hasta la saturación de reactivo Nessler (presencia de color amarillo) y hasta que el color amarillo permanezca cierto tiempo.
- 7.- Se midió el volumen total presente en el tubo de ensayo y se tomó una alícuota de 1mL luego se diluyó en un matraz volumétrico de 10 mL, se tomó un alícuota de 5 mL y se procedió a leer en el espectrofotómetro UV a 410 nm.
8. Se elaboró la curva de calibración, para ello se preparó una solución madre de Cloruro de amonio 1000 ppm por lo que se pesó 0.29g de Cloruro de amonio y se diluyó a 100 mL.
9. La solución madre se diluyó a concentraciones de 10 ppm, 4 ppm, 3 ppm, 2 ppm, 1.5 ppm, 1 ppm y 0.5 ppm.
10. De cada solución se sacó 5 mL y se agregó 5 gotas de reactivo Nessler después se homogenizó y leyó la transmitancia de las diluciones en el espectrofotómetro UV a 410 nm.

Flujograma N° 04 Resumen de método para la determinación de nitratos



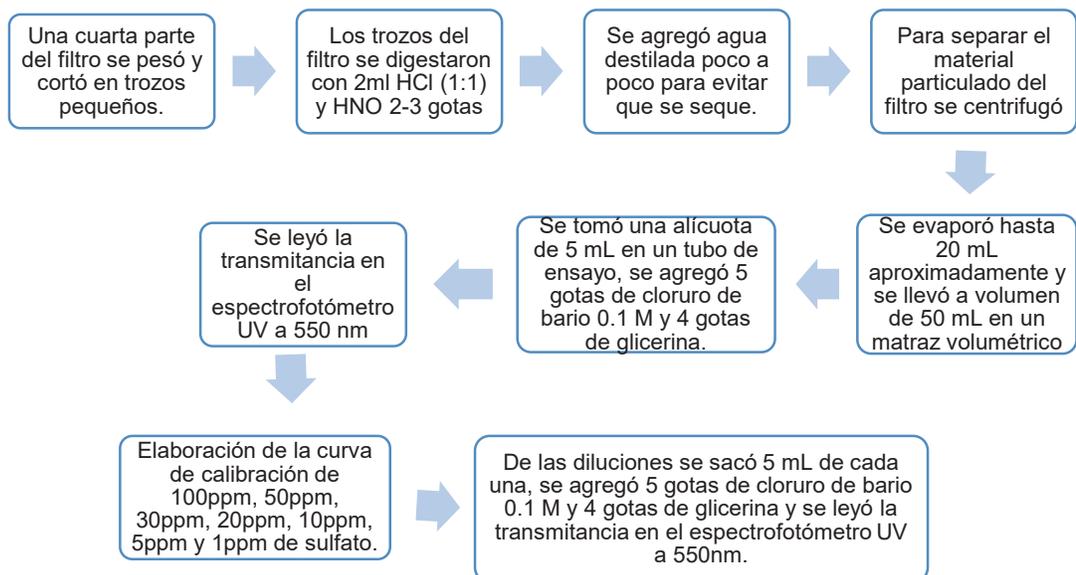
Fuente: SALCEDO C., CRUZ R., CUSCO-PERÚ 2018

B.2 Determinación de Sulfatos

1. Una cuarta parte del filtro se pesó y cortó en trozos pequeños.
2. Los trozos del filtro se digitaron con 2mL HCl (1:1) y 2-3 gotas de HNO₃.
3. Se agregó agua destilada poco a poco para evitar que se seque.
4. Para separar el material particulado del filtro se centrifugó.

5. Se evaporó hasta 20 mL aproximadamente y se llevó a volumen de 50 mL en un matraz volumétrico.
6. Se tomó una alícuota de 5 mL del aforo en un tubo de ensayo, se agregó 5 gotas de cloruro de bario 0.1 M y 4 gotas de glicerina.
7. Finalmente se leyó la transmitancia en el espectrofotómetro UV a 550 nm.
8. Para la elaboración de la curva de calibración se preparó una solución madre de sulfato a partir de H_2SO_4 0.02N que contiene 960 ppm de sulfato.
9. La solución madre se diluyó a concentraciones de 100 ppm, 50 ppm, 30 ppm, 20 ppm, 10 ppm, 5 ppm y 1 ppm de sulfato.
10. De las diluciones se sacó 5 mL de cada una, se agregó 5 gotas de cloruro de bario 0.1 M y 4 gotas de glicerina, se homogenizó y leyó la transmitancia de las diluciones en el espectrofotómetro UV a 550 nm.

Flujograma N° 05 Resumen de método para la determinación de Sulfatos



Fuente: SALCEDO C., CRUZ R., CUSCO-PERÚ 2018

3.7.3 Procedimiento para la medición de función pulmonar por espirometría

Para determinar los efectos respiratorios se midió la función pulmonar por espirometría principalmente los parámetros FVC, FEV1 y FEV1/ FVC.

A. Ambiente físico del área donde se realizará la prueba

- Una habitación cerrada y con el menor ruido posible.

- Condiciones adecuadas del ambiente, 17°C -40°C (84).

B. Instrucción para la prueba

Se instruyó sobre los pasos para toma de la espirometría que incluyen:

1. La posición correcta para la prueba es con el trabajador sentado en una silla fija (sin ruedas) que tenga descansa-brazos; y con el tronco erguido y la cabeza ligeramente elevada y esta debe mantenerse así durante todo el esfuerzo espiratorio.
2. La colocación de la pinza nasal y de la boquilla. Esta última debe sujetarse con los dientes, sellar bien los labios alrededor de la boquilla y evitar obstruirla con la lengua.
3. Se instruyó para que el paciente inhale de manera rápida y completa hasta que llegue a su capacidad pulmonar total.
4. Se explicó que la exhalación es con máximo esfuerzo y sostenida hasta que se le indique la terminación del esfuerzo.
5. Se hizo una demostración de cómo debe ser la maniobra, resaltando los pasos instruidos para que resulte más claro la realización de la maniobra por el personal en estudio (84).

C. Ejecución de la maniobra

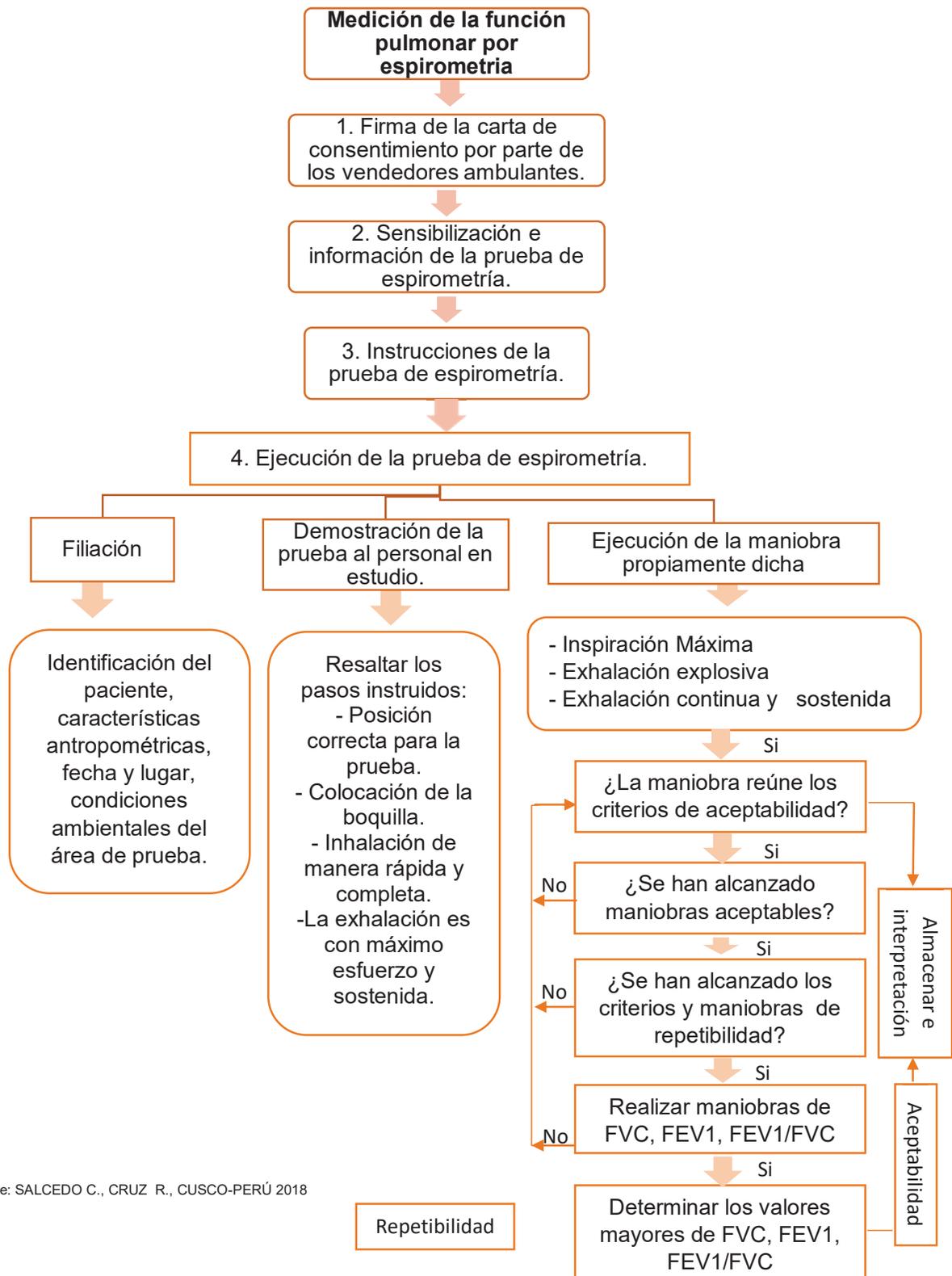
Antes de iniciar las pruebas se calibró el espirómetro diariamente y se tuvo las siguientes consideraciones del Anexo N°2.

1. Primero se hizo mediciones antropométricas del sujeto (peso, talla) y la identidad del mismo como nombre, edad y sexo. Estos datos se colocaron en el software del espirómetro, el equipo nos envía los parámetros predichos para cada sujeto.
2. Posteriormente se colocó al trabajador en la posición correcta.
3. Sin tener la boquilla, se indicó que se realice inspiración rápida y máxima, < 1 segundo, hasta llegar a capacidad pulmonar total.
5. Nos aseguramos que la persona en estudio se coloque adecuadamente la boquilla (siempre debe usarse una boquilla nueva en cada paciente).
6. Se indicó que el inicio de exhalación debe ser explosivo, rápido, sin que escape el aire por la boquilla (con máximo esfuerzo) y se estimuló vigorosamente (“siga soplando”, mantenga el esfuerzo”,

etc.) hasta que se alcance un criterio de terminación (más de 6 segundos de exhalación y meseta de 2 segundos sin incremento de volumen en la curva volumen tiempo. La exhalación es continua sin tos ni espasmos de la glotis, especialmente durante el primer segundo. La exhalación completa de todo el aire pulmonar es por 5 a 10 segundos, a menos que el sujeto deba detener la prueba por malestar, obstrucción respiratoria o debido a condiciones propias de la edad.

7. Se retiró la boquilla para inhalar nuevamente. En caso de una maniobra fallida, se repitió las instrucciones y la demostración.
8. Se completó un mínimo de 3 buenos esfuerzos (tres curvas aceptables) que llenen criterios de aceptabilidad.
9. Se revisó los criterios de repetitividad y si fue necesario, se realizó hasta 15 maniobras para alcanzar este criterio.
10. Para el resultado final, se seleccionaron los valores más altos.
11. Todos los valores de función pulmonar se reportaron en litros con dos decimales.
12. Se produjo una copia grabada de los resultados de la prueba para comparaciones posteriores. Se vigiló que se obtenga un buen inicio de la prueba mostrando un rápido pico de elevación en el flujo espiratorio durante el primer segundo.
13. Se hizo el reporte espirométrico conteniendo toda la información necesaria para la valoración de calidad de la prueba y la interpretación adecuada de la misma. Los datos reportados fueron:
 1. Datos del trabajador (nombre, edad, estatura, peso, género, IMC, lugar de nacimiento, fecha de nacimiento)
 2. Datos ambientales (temperatura ambiental, presión barométrica)
 3. Valores de referencia
 4. Las maniobras:
 - a. Valores espirométricos (FEV1, FVC, FEV1/FVC)
 - b. Gráfica
 - c. Interpretación automatizada

Flujograma N° 06 Resumen de espirometría para medición de la función pulmonar



Fuente: SALCEDO C., CRUZ R., CUSCO-PERÚ 2018

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Características de la población en estudio

Tabla N° 10 Características generales de los vendedores participantes en el estudio del Centro Histórico del Cusco. 2018

CARACTERÍSTICAS	PARTICIPANTES EN EL ESTUDIO	
	N°	%
Grado de instrucción	-	-
Primaria	7	35
Secundaria	7	35
Educación Superior	5	25
Ninguno	1	5
Género	-	-
Masculino	3	15
Femenino	17	85
Discapacidad	-	-
Si	2	10
No	18	90
Zona de trabajo*	-	-
Sector A[†]	-	-
CLAS Wanchaq y Calle Ayacucho - Matara	10	50
Sector B[‡]	-	-
Plaza Limacpampa y Plaza Pumaqchupan	4	20
Sector C[§]	-	-
Plaza San Francisco	6	30
TOTAL	20	100

*Organizado en tres sectores según los resultados obtenidos de material particulado

†Sector A: Considerado como sector con mayores concentraciones de material particulado

‡Sector B: Considerado como sector con medias concentraciones de material particulado

§Sector C: Considerado como sector con menores concentraciones de material particulado.

Fuente: Base de datos del estudio.

INTERPRETACION Y ANÁLISIS

La Tabla N°10 refleja que de los 20 vendedores ambulantes 35% tiene estudios primarios al igual que secundarios, sin embargo según Castellanos T. (85) es más predominante el nivel secundario con 50%.

En el estudio de Champi M., Guzman S. (86) en el cual las mujeres constituyen un alto porcentaje (90%) de los comerciantes ambulantes en el Centro Histórico del Cusco, al igual que en nuestro estudio ya que 85% fue de género femenino.

El 90% no presentó discapacidad y el mayor porcentaje de participación en el estudio fue el sector A con 45%.

Tabla N° 11 Factores agravantes de la función pulmonar en vendedores ambulantes participantes en el estudio del Centro Histórico del Cusco. 2018

FACTORES AGRAVANTES DE LA FUNCIÓN PULMONAR	PARTICIPANTES EN EL ESTUDIO	
	N°	%
Hábito de fumar	-	-
No fuma	20	100
Si fuma	-	-
Uso de leña		
No usa	19	95
Si usa	1	5
Afecciones pulmonares	-	-
Asma	-	-
EPOC	-	-
Bronquitis crónica	1	5
Tuberculosis pulmonar	-	-
Cirugía pulmonar	-	-
Otros (tos, gripe, bronquitis aguda, faringitis)	1	5
TOTAL	20	100

Fuente: Base de datos del estudio

INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS

En la Tabla N° 11 muestra que de los 20 participantes el 100% no fuma y el 95% no usa leña como combustible doméstico. No hubo casos de Asma, EPOC, tuberculosis ni cirugía pulmonar, el 5% tuvo bronquitis crónica al igual que los que tuvieron otras afecciones pulmonares entre tos, gripe, bronquitis aguda y faringitis.

Según Champi M. (86) entre las enfermedades a las que comúnmente están expuestas por su trabajo en las calles del total de mujeres encuestadas el 39.2% asegura haber sufrido problemas respiratorios (gripe, tos, etc.). Sin embargo en nuestro estudio, hay un 54.54% de personas encuestadas que sufrieron de alguna afección respiratoria (que incluye Asma, EPOC, bronquitis crónica, tuberculosis pulmonar, otros), y de las personas que se realizaron la espirometría un 10% tuvieron de alguna afección respiratoria.

Tabla N° 12 Distribución de vendedores ambulantes expuestos según grupo etario y sector. 2018

Edad (años)	Sector A*		Sector B†		Sector C‡		Total	
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
20-30	2	10	-	-	1	5	3	15
31-40	5	25	-	-	1	5	6	30
41-50	2	10	-	-	1	5	3	15
51 a más	1	5	4	20	3	15	8	40
Total	10	50	4	20	6	30	20	100

*Sector A: Comprendido por CLAS Wanchaq y Calle Ayacucho- Matara, con mayores concentraciones de material particulado

†Sector B: Comprendido por Plaza Limacpampa y Plaza Pumaqchupan, con medias concentraciones de material particulado

‡Sector C: Comprendido por Plaza San Francisco, con menores concentraciones de material particulado

Fuente: Base de datos del estudio

INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS

En la Tabla N° 12 se observa que el grupo etario con mayor frecuencia fue de 51 años a más con 40%, mientras que Champi M., Guzman S. (86), encontró 31.25 % de 24 a 31 años.

El sector con mayor porcentaje de vendedores ambulantes mayores a 51 años fue el B con 20%.

Tabla N° 13 Distribución de vendedores ambulantes expuestos según horas de trabajo y sector. 2018

Horario de trabajo diario (horas)	Sector A*		Sector B†		Sector C‡		Total	
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
De 4 a 6	-	-	2	10	-	-	2	10
De 7 a 8	2	10	2	10	-	-	4	20
De 9 a más	8	40	-	-	6	30	14	70
Total	10	50	4	20	6	30	20	100

*Sector A: Comprendido por CLAS Wanchaq y Calle Ayacucho- Matara, con mayores concentraciones de material particulado

†Sector B: Comprendido por Plaza Limacpampa y Plaza Pumaqchupan, con medias concentraciones de material particulado

‡Sector C: Comprendido por Plaza San Francisco, con menores concentraciones de material particulado

Fuente: Base de datos del estudio

INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS

En la Tabla N° 13 se observa que el mayor porcentaje (70%) trabaja más de 9 horas diarias, predominando más en el sector A (40%), siendo este de mayor contaminación por material particulado. Champi M., Guzman S. (86) también obtuvo alto porcentaje en aquellos que trabajan más de 9 horas con 56.3%.

Tabla N° 14 Distribución de vendedores ambulantes expuestos según años de trabajo y sector. 2018

Años de trabajo	Sector A*		Sector B†		Sector C‡		Total	
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
Menor a 5	4	20	-	-	-	-	4	20
6-15	3	15	1	5	1	5	5	25
16-25	-	-	1	5	3	15	4	20
26 a más	3	15	2	10	2	10	7	35
Total	10	50	4	20	6	30	20	100

*Sector A: Comprendido por CLAS Wanchaq y Calle Ayacucho- Matara, y con mayores concentraciones de material particulado

†Sector B: Comprendido por Plaza Limacpampa y Plaza Pumaqchupan, y con medias concentraciones de material particulado

‡Sector C: Comprendido por Plaza San Francisco, y con menores concentraciones de material particulado

INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS

En la Tabla N° 14 se observa que del total de vendedores ambulantes el mayor porcentaje (35%) trabaja de 26 años a más, predominando más en el sector A con 15%, siendo éste de mayor contaminación por material particulado. Sin embargo Champi M., Guzman S. (86) encontró un mayor porcentaje (58.8%) en aquellos que trabajan menos de 5 años.

Tabla N° 15 Valores espirométricos de vendedores ambulantes expuestos en el Centro Histórico del Cusco. 2018

N°	FVC* (L)	FEV1† (L)	FEV1/FVC‡ (%)	Porcentaje del valor predicho en FVC (%)	Porcentaje del valor predicho en FEV1 (%)
1	2.79	1.95	69.9	90	73
2	3.5	2.83	80.9	113	111
3	2.89	2.56	88.6	106	117
4	4.00	3.43	85.8	109	110
5	4.11	3.55	86.4	95	101
6	2.95	2.41	81.7	93	91
7	2.55	2.11	82.7	94	98
8	3.55	3.03	85.4	116	112
9	3.34	2.88	86.2	123	136
10	3.22	2.55	79.2	100	95
11	2.73	2.48	90.8	102	116
12	1.51	1.47	97.4	72	94
13	2.55	2.08	81.6	94	96
14	1.94	1.58	81.4	108	120
15	3.09	2.40	77.7	181	176
16	2.50	2.07	82.8	77	80
17	2.27	1.59	70.0	102	88
18	5.39	4.28	79.4	143	134
19	2.96	2.42	81.8	97	95
20	2.34	1.89	80.8	87	88
Media	3.01	2.48	82.53	105.10	106.55
Mínimo	1.51	1.47	69.90	72.00	73.00
Máximo	5.39	4.28	97.40	181.00	176.00
Desviación estándar (DS)	0.85	0.71	6.26	23.81	23.27

*FVC: Capacidad vital forzada en inglés *Forced Vital Capacity*

†FEV1: Volumen espiratorio máximo en el primer segundo en inglés *Forced Expiratory Volume1*

‡FEV1/FVC: Cociente entre capacidad vital forzada y volumen espiratorio máximo en el primer segundo

Fuente: Base de datos del estudio

INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS

Como se observa en la Tabla N° 15 la media de FVC (L) fue de 3.01, FEV1 (L) fue de 2.48 y FEV1/FVC fue 82.53%. El valor promedio en los porcentajes de los valores predichos en FVC y FEV1 fueron por encima del 100% siendo la media 105.10% y 106.55% respectivamente.

Los resultados de FVC (L) y FEV1 (L) fueron menores respecto a los estudios realizados por Estevez-Garcia J. (23) quien obtuvo 4.83 de FVC (L) y 3.99 de FEV1 (L) en los policías de tránsito expuestos a MP10; y Int-Panis L. et al. (29), quienes obtuvieron 4.71 en FVC (L) y 3.79 de FEV1 (L). Al comparar con estudios a nivel nacional, nuestros resultados espirométricos fueron menores a Cipriano-

Arellano J. (33) en la Oroya-Junín quien encontró FVC de 4.83 L y VEF1 de 4.02 L; y Barba-Rivera R. (31) en un estudio realizado en Huancayo con mujeres mayores de 40 años obtuvo como media de FVC 3.38L y VEF1 de 2.65L. Sin embargo los resultados fueron altos respecto a Yun Zhou et al. (12) en China ya que encontró FVC 2.37 L y FEV1 de 2.01L. Estas diferencias pueden deberse a la altitud de la zona geográfica (76), como el de Cipriano-Arellano J. en Junín, o al nivel de material particulado al que han estado expuestos (12,28,29) como Int-Panis L. et al., Barba-Rivera R. en Huancayo y Yun Zhou et al. en China.

En cuanto a porcentaje de FEV1/FVC nuestro resultado fue alto respecto a Int-Panis L. et al., quienes encontraron 80.9 %. Mientras que al comparar con Cipriano-Arellano J. (33) en la Oroya-Junín con 83.45%, Barba-Rivera R. (31) en Huancayo con 94.94% y Yun Zhou et al. (12) en China con 84.8%, nuestros resultados fueron bajos. Al parecer estas diferencias se deben a la altitud de la zona geográfica, como el de Cipriano-Arellano J. en Junín, mas no al nivel de material particulado como Int-Panis L. et al., Barba-Rivera R. en Huancayo y Yun Zhou et al. en China., pues varios estudios no encontraron relación entre la material particulado y FEV1/FVC (12,28,29).

Los porcentajes de los valores predichos de FVC y FEV1 fueron bajos respecto a Barba-Rivera R. (31) en Huancayo ya que con mujeres mayores de 40 años obtuvo valores predichos FVC de 116% y FEV1 de 117%.

Es importante mencionar que los resultados espirométricos se ve influenciada por la altitud de la zona geográfica y por grado de contaminación al que han estado expuestos. Existen estudios que demuestran mayores valores de FVC, FEV1 y CPT en el habitante de altura que del nivel del mar, y a medida que aumenta la altura mayor serán los valores espirométricos (87). Esto ocasiona que los valores espirométricos en la altura sean aparentemente normales pues se generarían diagnósticos tardíos de enfermedades pulmonares (76), esto se puede observar en nuestros resultados y en los obtenidos por Barba Rivera Rocky W. (31) en Huancayo a 3259 m.s.n.m. quien encontró porcentajes del valor predicho más del 100% al igual que nuestros resultados, considerando que Cusco se encuentra a 3399 m.s.n.m.

Es importante mencionar que los resultados espirométricos se ven influenciada por la altitud de la zona geográfica y por grado de contaminación al que han estado expuestos. Existen estudios que demuestran mayores valores de FVC, FEV1 y CPT en el habitante de altura que del nivel del mar, y a medida que aumenta la altura mayor serán los valores espirométricos. Esto ocasiona que los valores espirométricos en la altura sean aparentemente normales pues se generarían diagnósticos tardíos de enfermedades pulmonares (76), esto se puede observar en nuestros resultados y en los obtenidos por Barba Rivera Rocky W. (31) en Huancayo a 3259 m.s.n.m. quien encontró porcentajes del valor predicho más del 100% al igual que nuestros resultados, considerando que Cusco se encuentra a 3399 m.s.n.m.

Tabla N° 16 Valores espirométricos de vendedores ambulantes expuestos en el Centro Histórico del Cusco según género. 2018

Género	Valores espirométricos											
	FEV1/FVC < LIN*		FEV1/FVC > LIN		FVC < LIN		FVC > LIN		FEV1 < LIN		FEV1 > LIN	
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
Mujeres	16	80	1	5	2	10	15	75	5	25	12	60
Varones	3	15	-	-	-	-	3	15	-	-	3	15
Subtotal	19	95	1	5	2	10	18	90	5	25	15	75
Total	20 (100%)				20 (100%)				20 (100%)			
p-valor	0.666				0.531				0.278			

*LIN de FEV1/FVC para mujeres es 91% y para varones 88%, LIN de FVC para mujeres es 82% y para varones 81%, LIN de FEV1 es 91% para mujeres y 79% para varones.
Fuente: Base de datos del estudio

INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS

En la Tabla N° 16 se puede observar que de los 20 vendedores ambulantes 95% contaban con %FEV1/FVC < LIN de los cuales 80% fueron mujeres. El 10% y 25% del total contaban con %FVC y %FEV1<LIN respectivamente, estos últimos fueron todas mujeres.

Dentro de las estrategias de la interpretación se considera obstrucción pulmonar cuando el FEV1 y la relación FEV1/FVC es inferior al LIN, en las fases avanzadas puede observarse una reducción de la FVC (74), por lo que al analizar nuestros resultados si bien FEV1/FVC < LIN fue 95%, no se puede interpretar que el mayor porcentaje tuvo alteración pulmonar ya que para determinar esto se toma en cuenta FEV1 y FVC.

El %FEV1/FVC < LIN encontrado (95%) fue mayor a Téllez I. et al. (26) quienes obtuvieron 0.5%. Mientras que el %FVC < LIN obtenido (10%) fue menor a los encontrados por Quiroz C. (24) con 28 % y Téllez I. et al. (26) con 12.56%. Lo mismo ocurrió con el %FEV1 < LIN encontrado (25%) el cual fue menor a Quiroz C. (24) quien encontró 27.7 %.

Estas diferencias puede deberse a que el tiempo de exposición a material particulado en el estudio de Téllez I. et al. (26) fue menor y Quiroz C. (24) obtuvo mayores niveles de MP10 (42.1 µg/m³) a comparación del obtenido en nuestro estudio (35.6 µg/m³).

Aunque diversos autores indican que el género femenino tienen valores espirométricos inferiores a los del género masculino debido a la diferencia en fuerza muscular, distintos tamaños de tronco y pulmones, diferencias en el número de alvéolos que son menos numerosos en las mujeres, y diferencias en la actividad física (88). Se puede decir que los valores espirométricos menores al LIN predominaron en mujeres debido a que hubo mayor número en el estudio.

Al realizar la prueba de Chi cuadrado no se encontró relación entre los valores espirométricos con el género, obteniéndose p-valores mayores a 0.05.

Tabla N° 17 Valores espirométricos de vendedores ambulantes expuestos en el Centro Histórico del Cusco según grupo etario. 2018

Edad (años)	Valores espirométricos											
	FEV1/FVC < LIN*		FEV1/FVC > LIN		FVC < LIN		FVC > LIN		FEV1 < LIN		FEV1 > LIN	
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
20-30	3	15	-	-	-	-	3	15	1	5	2	10
31-40	5	25	-	-	-	-	5	25	1	5	4	20
41-50	3	15	-	-	-	-	3	15	-	-	3	15
51 a más	8	40	1	5	2	10	7	35	3	15	6	30
Subtotal	19	95	1	5	2	10	18	90	5	25	15	75
Total	20 (100%)				20 (100%)				20 (100%)			
p-valor	0.0000				0.8068				0.2508			

*LIN de FEV1/FVC para mujeres es 91% y para varones 88%, LIN de FVC para mujeres es 82% y para varones 81%, LIN de FEV1 es 91% para mujeres y 79% para varones.
Fuente: Base de datos del estudio

INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS

En la Tabla N° 17 se observa que FEV1/FVC<LIN, FVC < LIN y FEV1 < LIN fueron 40%, 10% y 15% respectivamente, todos ellos en el grupo etario de 51 años a más, ya que al aumentar la edad estaban expuestos más años al material particulado (24), y por lo tanto sufren de alteraciones en la función pulmonar, además al tener más edad por procesos de envejecimiento natural presenta una pérdida de fuerza muscular y una reducción de la capacidad cardiovascular, resultando una disminución general de la capacidad física que incluye: menor capacidad de transporte de oxígeno en sangre, menor trabajo cardíaco, caja torácica reducida esto ocasionaría parcialmente el descenso de los valores espirométricos (88).

Se encontró una relación significativa entre FEV1/FVC y edad, mas no para FVC y FEV1, esto coincide con Quiroz C. (24) aunque también pudo deberse a la poca cantidad de muestra de vendedores ambulantes.

Tabla N° 18 Valores espirométricos de vendedores ambulantes expuestos en el Centro Histórico del Cusco según sector. 2018

Sectores	Valores espirométricos											
	FEV1/FVC < LIN*		FEV1/FVC > LIN		FVC < LIN		FVC > LIN		FEV1 < LIN		FEV1 > LIN	
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
A	10	50	-	-	-	-	10	50	2	10	8	40
B	3	15	1	5	1	5	3	15	-	-	4	20
C	6	30	-	-	1	5	5	25	3	15	3	15
Subtotal	19	95	1	5	2	10	18	90	5	25	15	75
Total	20 (100%)				20 (100%)				20 (100%)			
p-valor	0.122				0.300				0.177			

*LIN de FEV1/FVC para mujeres es 91% y para varones 88%, LIN de FVC para mujeres es 82% y para varones 81%, LIN de FEV1 es 91% para mujeres y 79% para varones.

Fuente: Base de datos del estudio

INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS

En la Tabla N° 18 se observa que el mayor porcentaje con FEV1/FVC < LIN fue el sector A con 50%, lugar donde hubo mayores niveles de MP.

FVC < LIN fue igual en el sector B y C con 5%; y FEV1 < LIN fue mayor en el sector C con 15%.

Si bien FEV1/FVC < LIN fue mayor en donde hubo mayores niveles de MP, eso no se observó en FVC < LIN y FEV1 < LIN ya que en ambos casos se presentó

en personas de 51 años a más (ver Tabla N° 17), grupo expuesto más años al material particulado (24), y por lo tanto con más posibilidad de sufrir alteraciones en la función pulmonar. Además este grupo por procesos de envejecimiento natural presenta pérdida de fuerza muscular y reducción de la capacidad cardiovascular, resultando una disminución general de la capacidad física que incluye: menor capacidad de transporte de oxígeno en sangre, menor trabajo cardíaco, caja torácica reducida esto ocasionaría parcialmente el descenso de los valores espirométricos (88).

Al realizar la prueba de Chi cuadrado no se encontró relación estadísticamente significativa entre los valores espirométricos con los sectores, obteniéndose p-valores mayores a 0.05, esto puede deberse a la reducida cantidad de muestra de vendedores ambulantes en nuestro estudio, además que los resultados espirométricos están sujetos a la edad.

Tabla N° 19 Valores espirométricos de vendedores ambulantes expuestos en el Centro Histórico del Cusco según años de trabajo. 2018

Años de trabajo	Valores espirométricos											
	FEV1/FVC < LIN*		FEV1/FVC > LIN		FVC < LIN		FVC > LIN		FEV1 < LIN		FEV1 > LIN	
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
Menor a 5	4	20	-	-	-	-	4	20	-	-	4	20
6-15	5	25	-	-	-	-	5	25	1	5	4	20
16-25	4	20	-	-	-	-	4	20	1	5	3	15
26 a más	6	30	1	5	2	10	5	25	3	15	4	20
Subtotal	19	95	1	5	2	10	18	90	5	25	15	75
Total	20 (100%)				20 (100%)				20 (100%)			
p-valor	0.582				0.248				0.459			

*LIN de FEV1/FVC para mujeres es 91% y para varones 88%, LIN de FVC para mujeres es 82% y para varones 81%, LIN de FEV1 es 91% para mujeres y 79% para varones.

Fuente: Base de datos del estudio

INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS

En la Tabla N° 19 se observa que el mayor porcentaje con FEV1/FVC < LIN, FVC < LIN y FEV1 < LIN fue en aquellos que trabajan de 26 años a más con 30%, 10% y 15% respectivamente. Quiroz C. (24) también evidenció mayor número de personas con FVC < LIN y FEV1 < LIN en aquellos que tenían más tiempo de exposición.

Al realizar la prueba de Chi cuadrado no se encontró relación entre los valores espirométricos con años de trabajo, obteniéndose p-valores mayores a 0.05.

Tabla N° 20 Valores espirométricos de vendedores ambulantes expuestos en el Centro Histórico del Cusco según horas de trabajo. 2018

Horas de trabajo	Valores espirométricos											
	FEV1/FVC < LIN*		FEV1/FVC > LIN		FVC < LIN		FVC > LIN		FEV1 < LIN		FEV1 > LIN	
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
De 4 a 6	2	10	-	-	-	-	2	10	-	-	2	10
De 7 a 8	3	15	1	5	1	5	3	15	1	5	3	15
De 9 a más	14	70	-	-	1	5	13	65	4	20	10	25
Subtotal	19	95	1	5	2	10	18	90	5	25	15	65
Total	20 (100%)				20 (100%)				20 (100%)			
p-valor	0.122				0.509				0.683			

*LIN de FEV1/FVC para mujeres es 91% y para varones 88%, LIN de FVC para mujeres es 82% y para varones 81%, LIN de FEV1 es 91% para mujeres y 79% para varones.

Fuente: Base de datos del estudio

INTERPRETACIÓN

En la Tabla N° 20 se observa que el mayor porcentaje con FEV1/FVC < LIN fue en aquellos que trabajan de 9 horas a más con 70%.

El valor de FVC < LIN fue igual en el grupo que trabajan de 7 a 8 y de 9 horas a más, y FEV1 < LIN fue mayor en los que trabajan de 9 horas a más.

Al realizar la prueba de Chi cuadrado no se encontró relación entre los valores espirométricos con las horas de trabajo, obteniéndose p-valores mayores a 0.05.

Tabla N° 21 Distribución de patrones espirométricos de vendedores ambulantes expuestos en el Centro Histórico del Cusco por años de trabajo y sector. 2018

Patrón espirométrico	Años de trabajo									
	Menor a 5		6-15		16-25		26 a más		Total	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Obstrutivo*	-	-	2	10	-	-	2	10	4	20
Restrictivo†	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mixto‡	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Normal§	4	20	3	15	4	20	5	25	16	80
Total	4	20	5	25	4	20	7	35	20	100
Sector de vendedores con obstrucción	-		A,B		-		B,C		-	

* Patrón obstructivo: La resistencia al flujo de aire está aumentada y durante el primer segundo de la exhalación forzada sale menos aire de lo normal, debido probablemente a obstrucción de las vías aéreas pulmonares p- valor = 0.312

† Patrón restrictivo: Se refiere a un pulmón pequeño donde hay bajo volumen desplazable de aire en los pulmones.

‡ Patrón mixto: Coexistencia de obstrucción y restricción pulmonar

§ Patrón normal: Los volúmenes están dentro de los límites de referencia

Fuente: Base de datos del estudio.

INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS

En la Tabla N° 21 se observa que los vendedores ambulantes que presentaron patrón obstructivo con 10% fue en aquellos que trabajan entre 6 a 15 y de 26 años a más, en el primero trabajaban en los sectores A y B, donde los niveles de MP10 y MP2.5 fueron mayores y medios respectivamente (ver Gráfico N° 08 y 09), mientras que en el segundo trabajaban en los sectores B y C, donde los niveles de MP10 y MP2.5 fueron medios y menores respectivamente.

Comparando estos resultados con los obtenidos por Estevez-García J. (23), quien obtuvo 5.9% de patrón obstructivo en el grupo de personas expuestas a mayor nivel de MP10 y que trabajaron 6.8 ± 4.5 años, y 3.1% de patrón obstructivo en personas expuestas a menor nivel de MP10 con 11.5 ± 7.1 años de trabajo, se corrobora que a mayor nivel de material particulado hay mayor porcentaje de obstrucción donde no podría haber influencia de los años de trabajo.

Esto se podría comprobar con la prueba de Chi cuadrado entre los patrones espirométricos y los años de trabajo, donde el p-valor fue mayor a 0.05, mostrando que no hay relación significativa entre los patrones espirométricos con los años de trabajo.

Tabla N° 22 Patrones espirométricos de vendedores ambulantes expuestos en el Centro Histórico del Cusco según grupo etario. 2018

Patrón espirométrico	Rangos de edad (años)								Total	
	20-30		31-40		41-50		51 a más		N	%
	N	%	N	%	N	%	N	%		
Obstructivo	1	5	-	-	-	-	3	15	4	20
Restrictivo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mixto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Normal	2	10	6	30	3	15	5	25	16	80
Total	3	15	6	30	3	15	8	40	20	100

Fuente: Base de datos del estudio

p-valor = 0.005

INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS

En la Tabla N° 22 se puede observar que 20% del total presentó patrón obstructivo del cual el grupo etario de 51 años a más tuvo 15%, el 80% presentó patrón normal y no se encontró patrón restrictivo ni mixto.

Los resultados obtenidos de patrón obstructivo (20%) fue mayor a los estudios de Estevez-Garcia J. (23) quien encontró 5.9%, Bernal-Cervantes E. (28) con 14% y Téllez I. et al. (26) con 1%.

No se obtuvo patrón restrictivo ni mixto frente a Estevez-Garcia J. con 0.8%, 1.7%, Bernal-Cervantes E. con 3%, 4% y Téllez I. et al. con 20.10%, 2.01%, respectivamente, esto puede deberse a que en los estudios mencionados encontraron concentraciones altas de MP que ocasionó una reducción del volumen desplazable por el pulmón ($FVC < LIN$) en comparación a nuestro estudio ya que encontramos solo 10% con $FVC < LIN$.

El patrón normal (80%) fue bajo a Estevez-Garcia J. (23) con 91.6%. Respecto a Téllez I. et al. (26) con 77.0 % y Bernal-Cervantes E. (28) con 79% nuestros resultados fueron cercanos.

Estas diferencias pueden deberse a que en el estudio de Estevez-Garcia J. (23), Bernal-Cervantes E. (28) y Téllez I. et al. (26) predominaron personas entre 25-28 años, 33 años y menor o igual a 42 años respectivamente, pues en nuestro estudio hubo mayor porcentaje de 51 años a más y fue el grupo donde se encontró alta proporción de patrón obstructivo (15%). La edad es un factor importante ya que la función pulmonar se ve afectada después de una exposición prolongada a los agentes causales; entonces la prevalencia de estas alteraciones aumenta concomitantemente con la edad (24), más aun considerándose a este grupo como más vulnerable.

Una persona tuvo obstrucción en el grupo de 20 a 30 años quién comentó durante la prueba haber sido fumadora pasiva durante dos años por el trabajo que realizaba anteriormente, debido a que la exposición al tabaco y ambientes contaminados presentan riesgo aumentado de padecer alteraciones de la función pulmonar (89).

Al realizar la prueba de Chi cuadrado se encontró relación significativa entre patrones espirométricos con edad con un p-valor de 0.005.

Tabla N° 23 Distribución de patrones espirométricos de vendedores ambulantes expuestos en el Centro Histórico del Cusco por sectores. 2018

Patrón espirométrico	Sector A		Sector B		Sector C		Total	
	N	%	N	%	N	%	N	%
Obstrutivo	1	5	2	10	1	5	4	20
Restrictivo	-	-	-	-	-	-	-	-
Mixto	-	-	-	-	-	-	-	-
Normal	9	45	2	10	5	25	16	80
Total	10	50	4	20	6	30	20	100

*Sector A: Comprendido por CLAS Wanchaq y Calle Ayacucho- Matara, y con mayores concentraciones de material particulado p-valor = 0.233

†Sector B: Comprendido por Plaza Limacpampa y Plaza Pumaqchupan, y con medias concentraciones de material particulado

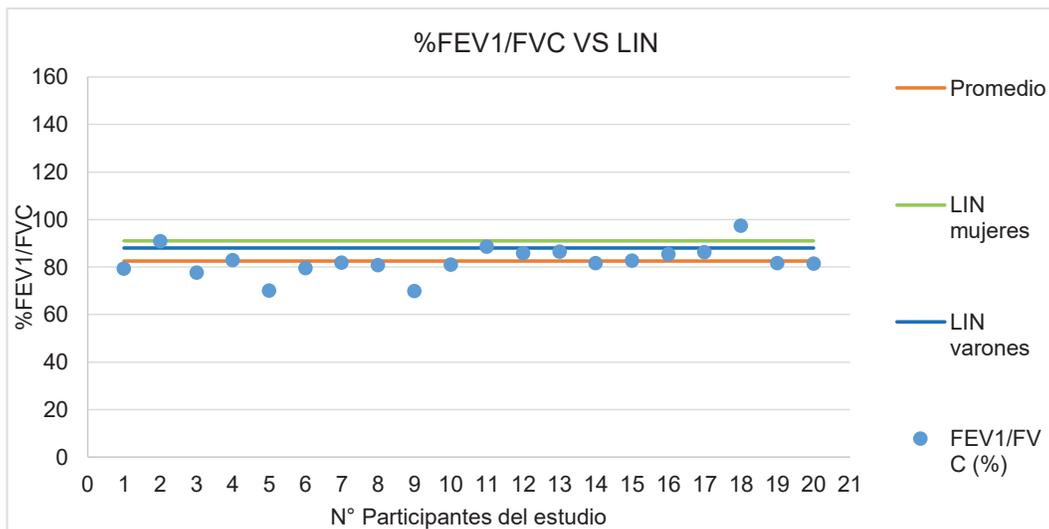
‡Sector C: Comprendido por Plaza San Francisco, y con menores concentraciones de material particulado
Fuente: Base de datos del estudio

INTERPRETACIÓN

En la Tabla N° 23 se observa que el mayor porcentaje con patrón obstructivo fue el sector B con 10%, siendo éste el sector con mediana contaminación de MP10 y MP2.5 (ver Gráfica N° 08 y 09), y con mayor porcentaje de vendedores con edad de 51 años a más (ver Tabla N°12), grupo expuesto más años al material particulado (24), y por lo tanto con más posibilidad de sufrir alteraciones en la función pulmonar.

Al realizar la prueba de Chi cuadrado se encontró que no hay relación entre los patrones espirométricos con el sector de trabajo, obteniéndose un p-valor mayor a 0.05, ya que los patrones espirométricos están más relacionados con la edad.

Gráfico N° 07 %FEV1/FVC comparado con LIN de vendedores ambulantes expuestos en el Centro Histórico del Cusco por género. 2018



LIN: Límite inferior normal
 FEV1/FVC: Cociente entre capacidad vital forzada y volumen espiratorio máximo en el primer segundo
 Fuente: Base de datos del estudio

INTERPRETACIÓN

En la Gráfica N° 07 se observa que el promedio general de %FEV1/FVC es de $82.53\% \pm 6.26$ y está por debajo del Límite Inferior Normal (LIN) para ambos géneros, siendo el LIN para mujeres 91% (línea verde) y en el caso de varones 88% (línea azul).

4.2 Niveles de MP10 y MP2.5 en el Centro Histórico del Cusco

Tabla N° 24 Datos MP10 y MP2.5 por sectores del Centro Histórico del Cusco.
2018

	Fecha inicial	Fecha final	Masa* inicial (g)	Masa† final (g)	Δm^\ddagger (μg)	Tiempo§ (min)	Vst/24h¶ (m³)	MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	X ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) \pm SD	
SECTOR - A	1. MATERIAL PARTICULADO EN CLAS WANCHAQ									
	MP 2.5	08/01/18	09/01/18	4.4657	4.6041	138400	1456	2268.5	61.0	MP2.5**
		09/01/18	10/01/18	4.4695	4.6157	146200	1481	2285.5	64.0	63.3 \pm
		10/01/18	11/01/18	4.4649	4.6187	153800	1429	2369.3	64.9	2.04
	MP10	11/01/18	12/01/18	4.4683	4.5807	112400	1500	2557.5	43.9	MP10††
		12/01/18	13/01/18	4.4988	4.5705	71700	1440	2426.3	29.6	37.9 \pm
		13/01/18	14/01/18	4.4438	4.5364	92600	1448	2296.8	40.3	7.44
	2. MATERIAL PARTICULADO EN CALLE AYACUCHO-MATARA									
	MP10	19/04/18	20/04/18	4.4686	4.5873	118700	1453	2037.6	58.3	MP10
		20/04/18	21/04/18	4.4722	4.5945	122300	1440	2144.0	57.0	54.1 \pm
21/04/18		22/04/18	4.4546	4.5608	106200	1467	2265.0	46.9	6.24	
MP 2.5	23/04/18	24/04/18	4.4733	4.6285	155200	1440	2260.9	68.6	MP2.5	
	24/04/18	25/04/18	4.4617	4.6076	145900	1440	2262.1	64.5	66.2 \pm	
	25/04/18	26/04/18	4.4610	4.6108	149800	1442	2286.8	65.5	2.16	
SECTOR - B	3. MATERIAL PARTICULADO EN PLAZA LIMACPAMPA									
	MP 2.5	18/03/18	19/03/18	4.2393	4.2954	56100	1440	2348.2	23.9	MP2.5
		19/03/18	20/03/18	4.2699	4.3425	72600	1442	2205.0	32.9	32.9 \pm
		20/03/18	21/03/18	4.2238	4.3074	83600	1431	2044.1	40.9	6.99
		21/03/18	22/03/18	4.1195	4.2090	89500	1440	2627.7	34.1	
	MP 10	22/03/18	23/03/18	4.4577	4.5244	66700	1442	2202.6	30.3	MP10
		24/03/18	25/03/18	4.4844	4.5467	62300	1446	1951.9	31.9	33.8 \pm
		25/03/18	26/03/18	4.4532	4.5283	75100	1453	2252.6	33.3	4.07
		26/03/18	27/03/18	4.4533	4.5352	81900	1445	2069.0	39.6	

*Masa inicial: Masa de filtro de cuarzo sin material particulado

†Masa final: Masa de filtro de cuarzo con material particulado después de 24 h

‡ Δm : Diferencia de masa final menos masa inicial del filtro de cuarzo

§Tiempo: Periodo de medición de material particulado aproximado a 24 h \pm 1

¶X: Promedio de material particulado de 3 días de medición

**MP2.5: Material particulado menor a 2.5 μm

††MP10: Material particulado menor a 10 μm

Continúa....

	Fecha inicial	Fecha final	Masa* inicial (g)	Masa† final (g)	Δm^\ddagger (μg)	Tiempo§ (min)	Vst/24h¶ (m ³)	MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	X ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) \pm SD	
SECTOR - B	4. MATERIAL PARTICULADO EN PLAZA PUMAQCHUPAN									
	MP 2.5	04/04/18	05/04/18	4.4747	4.5956	120900	1440	2374.6	50.9	MP2.5
		05/04/18	06/04/18	4.4793	4.5768	97500	1440	2262.0	43.1	46.0 \pm 4.30
		06/04/18	07/04/18	4.4634	4.5631	99700	1444	2272.2	43.9	
	MP 10	10/04/18	11/04/18	4.1195	4.209	89500	1440	2407.7	37.2	MP10
		11/04/18	12/04/18	4.4747	4.5488	74100	1440	2069.2	35.8	34.0 \pm 4.29
13/04/18		14/04/18	4.4606	4.5317	71100	1442	2438.9	29.2		
SECTOR - C	5. MATERIAL PARTICULADO EN PLAZA SAN FRANCISCO									
	MP 2.5	13/02/18	14/02/18	4.1921	4.2520	59900	1458	2217.1	27.0	MP2.5
		15/02/18	16/02/18	4.2602	4.3592	99000	1439	2154.1	46.0	30.2 \pm 13.67
		19/02/18	20/02/18	4.2276	4.3031	75500	1440	2180.2	34.6	
		22/02/18	23/02/18	4.2182	4.2576	39400	1442	2942.1	13.4	
	MP 10	16/02/18	17/02/18	4.2700	4.3068	36800	1459	2235.2	16.5	MP10
		17/02/18	18/02/18	4.2446	4.2824	37800	1440	2255.7	16.8	18.0 \pm 2.39
		20/02/18	21/02/18	4.2504	4.2973	46900	1455	2713.2	17.3	
		21/02/18	22/02/18	4.2340	4.2897	55700	1438	2582.0	21.6	

*Masa inicial: Masa de filtro de cuarzo sin material particulado

†Masa final: Masa de filtro de cuarzo con material particulado después de 24 h

‡ Δm : Diferencia de masa final menos masa inicial del filtro de cuarzo

§Tiempo: Periodo de medición de material particulado aproximado a 24 h \pm 1

¶X: Promedio de material particulado de 3 días de medición

**MP2.5: Material particulado menor a 2.5 μm

††MP10: Material particulado menor a 10 μm

Fuente: Base de datos del estudio

INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS

En la Tabla N° 24 se puede ver que la zona de monitoreo con niveles máximos de material particulado tanto MP10 como MP2.5 fueron en la Calle Ayacucho-Matara con MP10 de 54.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ SD 6.24 y MP 2.5 de 66.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ SD 2.16.

La concentración máxima de MP10 fue alta a la obtenida por Souza D. et al. (30) en Brasil-Sao Paulo quienes encontraron concentración máxima de 39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en MP10, mientras que la concentración máxima de MP2.5 fue baja a la obtenida por los mismos autores ya que encontraron como máximo 83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en MP2.5.

Al comparar los resultados con Yun Zhou et al. (12) en China que obtuvieron una concentración máxima en MP10 de 400.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y Luc Int Panis et al. (29) en

Belgium que encontraron $105 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en MP10 y $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en MP2.5, nuestras concentraciones máximas de MP10 y MP2.5 fueron muy bajas.

A nivel nacional las concentraciones máximas obtenidas tanto para MP10 y MP2.5 fueron menores que los estudios realizados por Briones-Silva E. y Malaver-Cárdenas C., 2015 (32) en Cajamarca que obtuvieron concentraciones máximas de MP10 y MP2.5 de $79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $70.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, Suárez-Salas L. et al. (34) en Huancayo quienes registraron valor máximo diario de $143 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en MP10 y $67.79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en MP2.5 y Arenas-Pacheco J. (35) en Yura-Arequipa quien obtuvo concentración máxima de $131.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en MP10 y $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en MP2.5, excepto para el resultado obtenido en MP2.5 por Arenas-Pacheco J. (35).

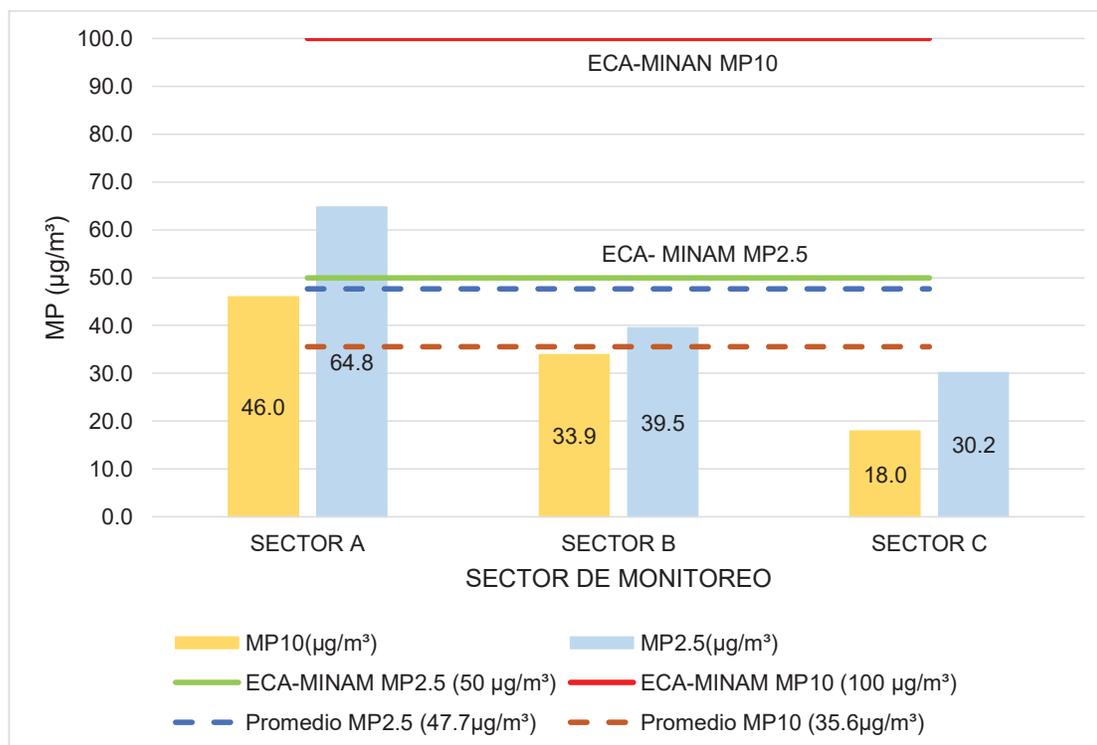
A nivel local los resultados obtenidos de MP10 fueron menores a los estudios realizados por Tello-Yarin J., 2015 (36) y DIRESA Cusco, 2013 (37) ya que el primero obtuvo un valor máximo de MP10 de $97 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en San Jerónimo seguido de Wanchaq con $86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y DIRESA Cusco, 2013 (37) obtuvo MP10 máximo de $361 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la Plazoleta Limacpampa.

La concentración de MP10 en la Plaza Limacpampa obtenido en nuestro estudio ($33.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$), es muy bajo al encontrado por DIRESA Cusco ($361 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en la misma zona, mientras que el resultado obtenido en Calle Ayacucho-Matara ($54.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) fue cercano al obtenido por DIRESA Cusco ($59 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

El Informe Nacional de Calidad de Aire 2013-2014 (14) para MP10 mostró valor máximo diario de $170 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el cual es muy superior al encontrado en nuestro estudio ($54.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Esto indicaría que hubo disminución de la contaminación ambiental en el Cusco debido al cambio de vehículos antiguos con nuevos en la mayoría de los casos. Sin embargo estos niveles máximos encontrados de MP10 y MP2.5 afectarían a la salud de los vendedores ambulantes, principalmente MP2.5 debido a que estas partículas son consideradas como las más riesgosas para la salud respiratoria (6).

Gráfico N° 08 Nivel de MP10 y MP2.5 por sectores de monitoreo y promedio general comparado con ECA establecido por MINAM en Perú. 2018



Sector A: Comprendido por CLAS Wanchaq y Calle Ayacucho- Matara, y con mayores concentraciones de material particulado
 Sector B: Comprendido por Plaza Limacpampa y Plaza Pumaqchupan, y con medias concentraciones de material particulado
 Sector C: Comprendido por Plaza San Francisco, y con menores concentraciones de material particulado
 Fuente: Base de datos del estudio

INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS

En el Gráfico N°08 se puede observar que el sector A presenta elevados niveles de material particulado con MP10 de 46.0 µg/m³ y MP2.5 de 64.8 µg/m³.

En todos los sectores de monitoreo los niveles de MP10 no superan el ECA-MINAM², el cual es de 100 µg/m³ en 24 horas, y el promedio general con 35.6 µg/m³ mostró el mismo resultado.

En MP2.5 solo el sector A (64.8 µg/m³) supera el ECA -MINAM, el cual es de 50 µg/m³ en 24 horas, mientras que el promedio con 47.7 µg/m³ fue muy cercano.

Aunque los promedios obtenidos de MP10 y MP2.5 no superan el ECA-MINAM, son un riesgo para los vendedores ambulantes ya que una exposición continua

²ECA-MINAM: Estándar de calidad ambiental establecido por el Ministerio del Ambiente mediante el DS N°003-2017-MINAM.

y prolongada puede causar efectos crónicos respiratorios (38), en especial los que trabajan en el sector A donde se encontraron concentraciones mayores de MP, principalmente MP2.5, considerado como el más peligroso para la salud debido a su menor tamaño (6), además por las concentraciones obtenidas de MP2.5 el aire es considerado de mala calidad (90).

Nuestros resultado de MP10 ($35.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) fue bajo respecto a Briones-Silva E. y Malaver-Cárdenas C., 2015 (32) en Cajamarca quienes encontraron $46.12 \mu\text{g}/\text{m}^3$; Suárez-Salas L. et al. (34) en Huancayo con $64.54 \mu\text{g}/\text{m}^3$; Arenas-Pacheco J. (35) en Yura -Arequipa con $69.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y Tello-Yarin J. (36) en Cusco quien en el año 2015 obtuvo $48.67 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

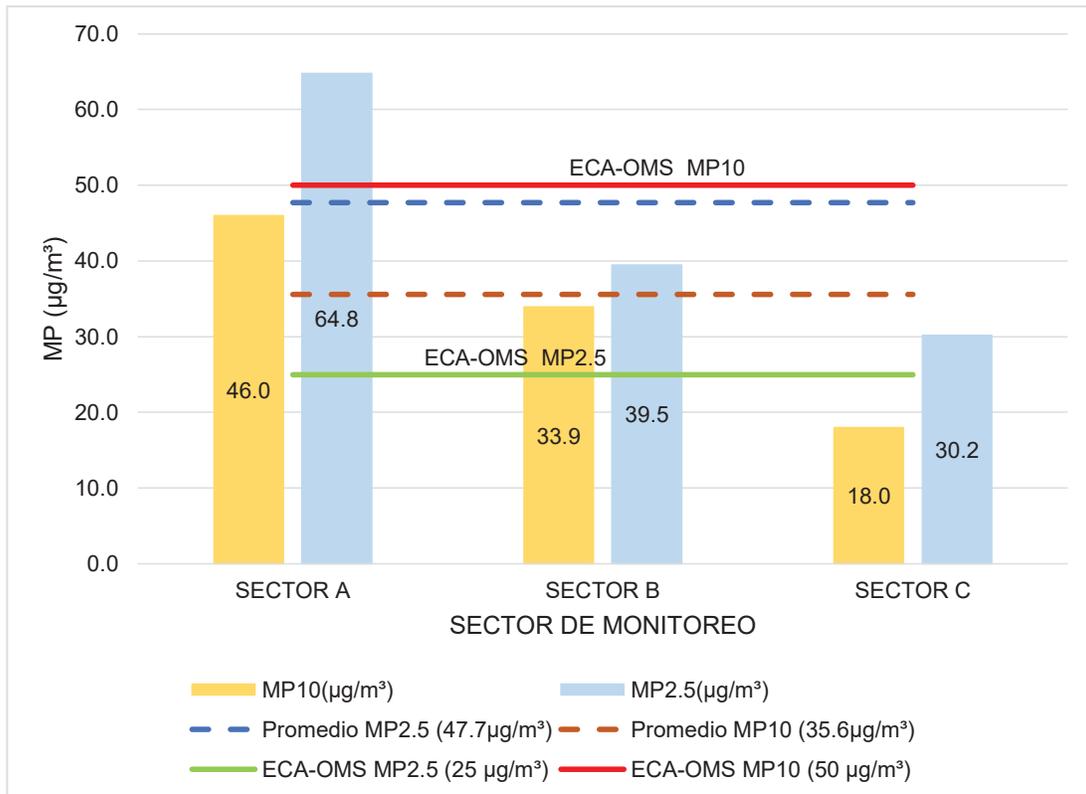
Mientras que el resultado de MP2.5 ($47.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) fue más alto respecto a Briones-Silva E. y Malaver-Cárdenas C. (32) quienes encontraron $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$; Suárez-Salas L. et al. et al. (34) con $34.47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y Arenas-Pacheco J. (35) con $17.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Al igual que Briones-Silva E. y Malaver-Cárdenas C. (32); Suárez-Salas L. et al., Arenas-Pacheco J. (35) y Tello-Yarin J. (36) los niveles de MP10 y MP2.5 tampoco superan el ECA de aire en 24 horas según DS- 003-2017-MINAM norma vigente.

DIRESA Cusco, 2013 (37) encontró que el valor de MP10 en el Distrito de Cusco fue $82.38 \mu\text{g}/\text{m}^3$, muy alto al valor encontrado en nuestro estudio y tampoco supera el ECA- MINAM.

El Informe Nacional de Calidad de Aire 2013-2014 (14) para MP10 mostraron que los valores promedio diario de cada año no sobrepasan el ECA-MINAM vigente en la actualidad, excepto para el año 2014 el cual fue de $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aproximadamente.

Gráfico N° 09 Nivel de MP10 y MP25 por sectores de monitoreo y promedio general comparado con ECA establecido por la OMS. 2018



Sector A: Comprendido por CLAS Wanchaq y Calle Ayacucho- Matara, y con mayores concentraciones de material particulado
 Sector B: Comprendido por Plaza Limacpampa y Plaza Pumaqchupan, y con medias concentraciones de material particulado
 Sector C: Comprendido por Plaza San Francisco, y con menores concentraciones de material particulado
 Fuente: Base de datos del estudio

INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS

En el Gráfico N° 09 se puede ver que el sector A con MP10 de 46.0 µg/m³ no supera el ECA-OMS*, el cual es de 50 µg/m³ en 24 horas de monitoreo, al igual que el promedio general con 35.6 µg/m³.

En MP2.5 todos los sectores de monitoreo superan el ECA-OMS, el cual es de 25µg/m³ en 24 horas de monitoreo, y el promedio con 47.7 µg/m³ es casi el doble del ECA-OMS.

La OMS mediante la realización de varias investigaciones científicas establecieron los Estándares de Calidad Ambiental, en donde una exposición por encima de éstas causa un riesgo a la salud (9).

El promedio obtenido de MP10 aunque no supera el ECA-OMS sigue siendo un riesgo para los vendedores ambulantes, ya que una exposición continua y

*ECA-OMS: Estándar de calidad ambiental establecido por la Organización Mundial de la Salud

prolongada puede causar efectos crónicos respiratorios (38), en especial los que trabajan en el sector A donde se encontraron concentraciones mayores de MP10.

El promedio de MP2.5 ($47.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) es casi el doble del ECA-OMS, por lo que los vendedores ambulantes están en alto riesgo ya que podrían sufrir problemas respiratorios, más aun considerándose el MP2.5 como el más peligroso para la salud por su menor tamaño (6).

El promedio de MP10 ($35.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) fue bajo respecto a los obtenidos por Yun Zhou et al. (12) en China quienes encontraron $112.32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y altos respecto a Luc Int Panis et al. (29) en Belgium cuyo resultado fue de $24.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y Souza D. et al. (30) en Brasil-Sao Paulo que fue de $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

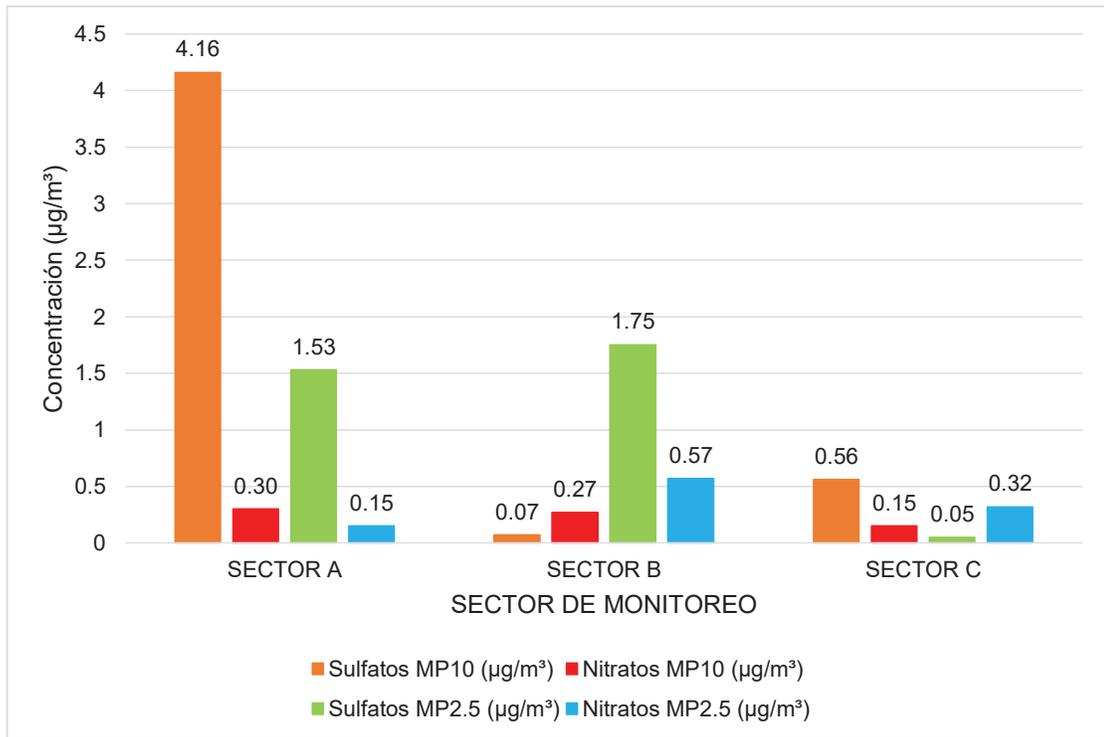
De la misma forma el promedio de MP2.5 ($47.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) fue bajo al de Yun Zhou et al. (12) quienes mostraron un resultado de $60.71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y cercano a Davi Z. Souza et al. (30) que fue de $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Al comparar los valores de MP10 con los estándares establecidos por la OMS y respecto a otros estudios como los de Luc Int Panis et al. (29); Souza D. et al. (30); Briones -Silva E. y Malaver-Cárdenas C., 2015 (32); y Tello-Yarin J., 2015 (36) en Cusco, nuestros resultados al igual que los estudios mencionados no superan el ECA-OMS. Mientras que respecto a los estudios realizados por Yun Zhou et al. (12), Suárez-Salas L. et al. (34), Arenas- Pacheco J. (35) y DIRESA Cusco, 2013 (37), nuestros resultados difieren ya que en estos estudios si superan el ECA-OMS.

En cuanto a los valores obtenidos de MP2.5 coinciden con la mayoría de los estudios como de Yun Zhou et al. (12); Souza D. et al. (30); Briones -Silva E. y Malaver-Cárdenas C., 2015 (32) y Suárez-Salas L. et al. (34) cuyos resultados obtenidos también superan el ECA-OMS.

Arenas-Pacheco J. (35) encontró valores bajos de MP2.5 ($17.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) por lo que no superó el ECA-OMS contrario a los obtenidos en nuestro estudio.

Gráfico N° 10 Concentración de nitratos y sulfatos en MP10 y MP2.5 por sectores de monitoreo del Centro Histórico del Cusco. 2018



Sector A: Comprendido por CLAS Wanchaq y Calle Ayacucho- Matará, y con mayores concentraciones de material particulado
 Sector B: Comprendido por Plaza Limacpampa y Plaza Pumaqchupan, y con medias concentraciones de material particulado
 Sector C: Comprendido por Plaza San Francisco, y con menores concentraciones de material particulado
 Fuente: Base de datos del estudio

INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS

El Gráfico N° 10 muestra que en MP10 el sector A con $4.16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ presenta mayor concentración de sulfatos. En nitratos la concentración mayor fue también en el sector A con $0.30 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En MP2.5 el sector con mayor concentración de sulfatos fue el sector B con $1.75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en nitratos la concentración elevada fue en el mismo sector con $0.57 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Al igual que Souza D. et al. (30) en Sao Paulo-Brasil, en nuestro estudio también se encontró elevadas concentraciones de sulfatos en sectores con elevado nivel de MP10 como en el sector A con $4.16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de sulfatos debido a que hubo demasiada cantidad de polvo en los suelos que junto con la fricción de las llantas de los vehículos y el viento (5) ocasionó elevada cantidad de sulfatos,

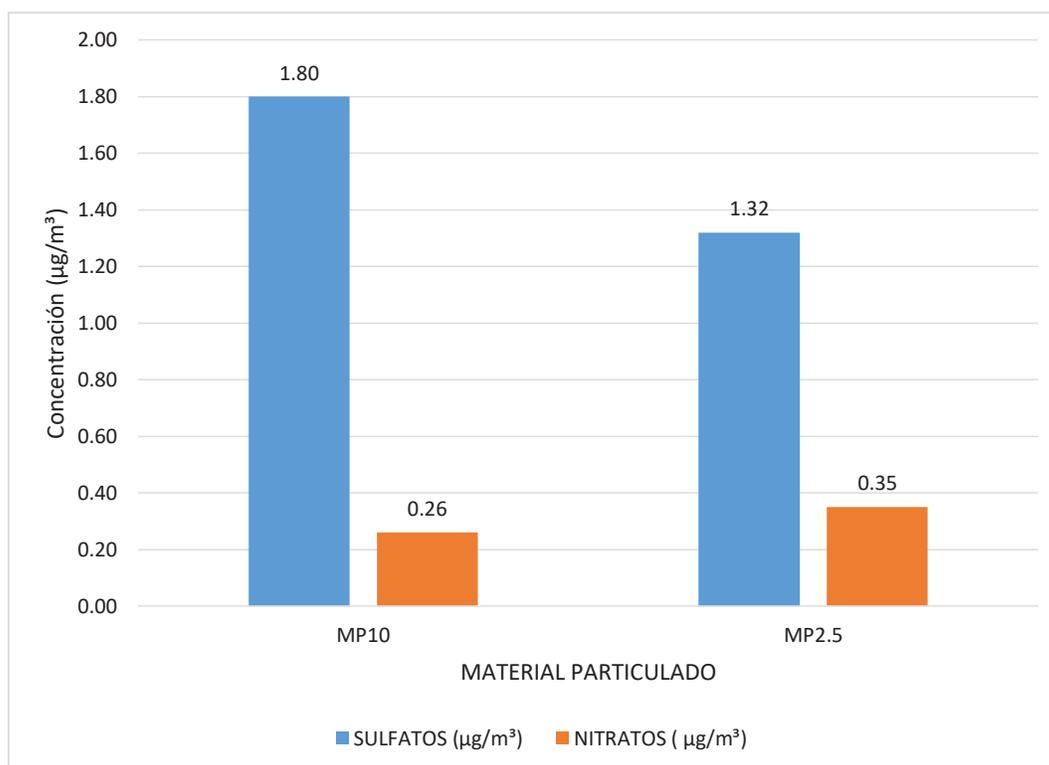
considerando que el MP10 tiene como origen partículas de suelo que presentan sales de sulfatos (6,91).

Lo mismo ocurrió para nitratos en MP10 ya que al igual que en nuestro estudio ($0.30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) Souza D. et al. (30) en Sao Paulo-Brasil encontró elevadas concentraciones de nitratos en MP10.

Lo contrario ocurrió con la concentración de sulfatos en MP2.5 ya que no se encontró alta concentración en el sector A (sector de alto nivel de MP 2.5), debido a que hubo alta precipitación en uno de los días de medición (ver anexo N°13). El sector con alta concentración de sulfatos en MP2.5 fue B con $1.75 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En cuanto a nitratos en MP2.5 la alta precipitación en uno de los días de medición también hizo que disminuyera la concentración en el sector A. El sector con alta concentración de nitratos fue B con $0.57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Ver en anexo N°13).

Gráfico N° 11 Promedio general de concentraciones de nitratos y sulfatos en MP10 y MP2.5 en el Centro Histórico del Cusco. 2018



Fuente: Base de datos del estudio

INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS

En el Gráfico N° 11 se puede observar en promedio $1.80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de sulfatos y $0.26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de nitratos en MP10, mientras que $1.32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de sulfatos y $0.35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de nitratos en MP2.5. Hubo mayor concentración de sulfatos que nitratos en MP10 y MP2.5.

La concentración de sulfatos en MP10 ($1.80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) fue elevada respecto al estudio realizado por Souza D. et al. (30) en Brasil, quienes encontraron en Sao Paolo $1.384 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y en Piracicaba $0.565 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Mientras que la concentración de nitratos en MP10 ($0.26 \mu\text{g}/\text{m}^3$) fue bajo comparado con Sao Paolo $2.076 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y similar con Piracicaba $0.247 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La concentración de sulfatos en MP2.5 ($1.32 \mu\text{g}/\text{m}^3$) fueron bajos respecto a los mismos autores quienes obtuvieron en Sao Paolo $3.348 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y en Piracicaba $1.782 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Lo mismo se observó para nitratos en MP2.5 ($0.35 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ya que ellos obtuvieron en Sao Paolo $2.079 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y en Piracicaba $0.497 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Al comparar con Astudillo Alemán AL, et al. (27) en Ecuador quienes en MP10 encontraron una concentración promedio de sulfatos de $0.53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la primera etapa y $1.12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la segunda, los resultados obtenidos en nuestro estudio fueron elevados. Sin embargo los nitratos fueron bajos respecto al mismo estudio ya que obtuvieron en la primera etapa $0.47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y en la segunda $0.71 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Las concentraciones de nitratos y sulfatos en MP10 fueron elevadas respecto a Chit-Pun V. et al. (25) en Hong Kong quienes obtuvieron $3.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de nitratos y $11.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de sulfatos. Lo mismo se observó para las concentraciones de nitratos y sulfatos en MP2.5 respecto a Suárez-Salas L. et al. (34) en Huancayo que encontraron $1.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de nitratos y $2.45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de sulfatos.

Astudillo Alemán AL, et al. (27) encontraron que el MP10, compuesto mayoritariamente por iones sulfato, induce el daño celular, la concentración de sulfatos encontrados en MP10 en nuestro estudio fue mayor al de Astudillo Alemán et al. por lo que se puede decir que la exposición a sulfatos presentes en material particulado podrían ocasionar daño celular en los vendedores ambulantes.

También en la gráfica N°11 se observa mayor concentración de sulfatos que nitratos en MP10 y MP2.5, estos resultados coincide con los obtenidos por Souza D. et al. (30) en Piracicaba-Brasil, Astudillo Alemán AL, et al. (27) en Ecuador y Suárez-Salas L. et al. (34) en Huancayo.

Tabla N° 25 Relación lineal entre las variables en estudio, parámetros estimados y coeficientes de determinación

Variable respuesta	Variable predictiva	Intercepto	Pendiente	R ²
(%)FEV1/FVC	MP10	76.6916	0.1323	0.0825
(%)FVC	MP10	119.8636	-0.4314	0.0427
(%)FEV1	MP10	113.0587	-0.1902	0.0087
(%)FEV1/FVC	MP2.5	78.8093	0.0582	0.0200
(%)FVC	MP2.5	125.3522	-0.4371	0.0432
(%)FEV1	MP2.5	115.4521	-0.1921	0.0087
(%)FEV1/FVC	SO ₄ ⁻² MP10	81.4505	0.1113	0.0548
(%)FVC	SO ₄ ⁻² MP10	119.5400	-9.3430	0.0951
(%)FEV1	SO ₄ ⁻² MP10	111.1160	-2.9550	0.0100
(%)FEV1/FVC	NO ₃ ⁻ MP10	78.6450	9.3210	0.0645
(%)FVC	NO ₃ ⁻ MP10	108.3600	-12.2600	0.0036
(%)FEV1	NO ₃ ⁻ MP10	109.3900	-10.7000	0.0029
(%)FEV1/FVC	SO ₄ ⁻² MP2.5	81.2917	0.6285	0.0085
(%)FVC	SO ₄ ⁻² MP2.5	115.5580	-9.5860	0.0935
(%)FEV1	SO ₄ ⁻² MP2.5	110.0510	-3.2090	0.0110
(%)FEV1/FVC	NO ₃ ⁻ MP2.5	74.3130	21.9510	0.2095
(%)FVC	NO ₃ ⁻ MP2.5	100.3200	18.1300	0.0139
(%)FEV1	NO ₃ ⁻ MP2.5	110.0100	-9.6800	0.0006

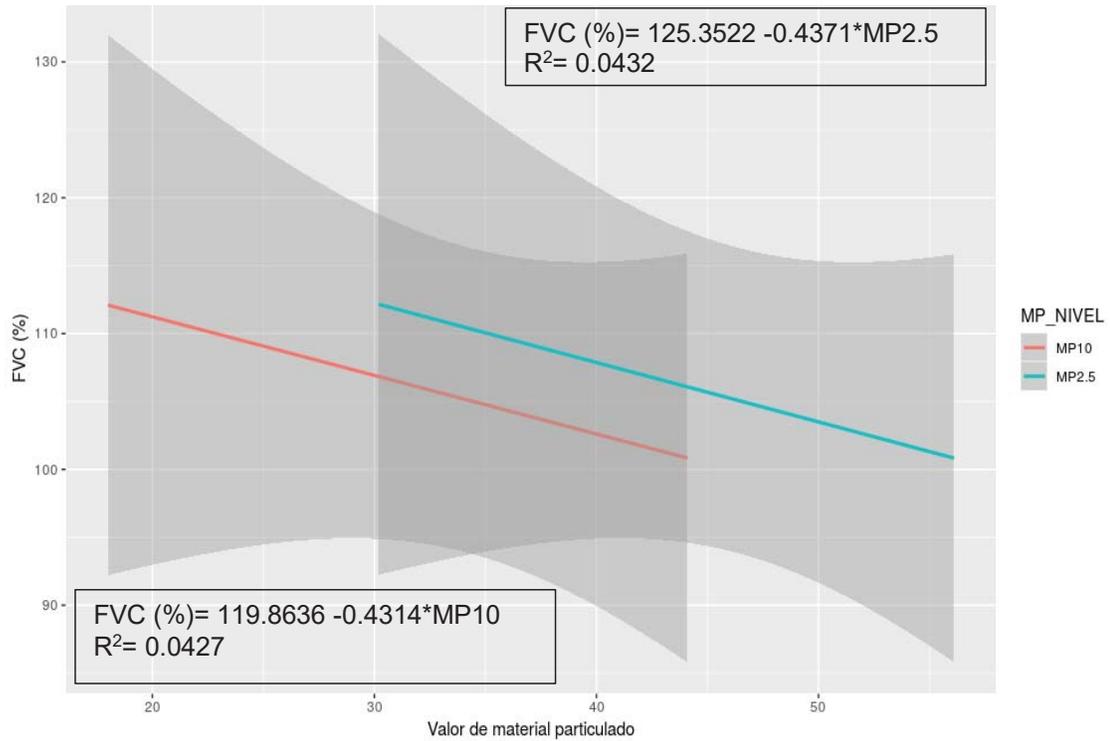
Fuente: Base de datos del estudio

INTERPRETACIÓN

La Tabla N° 25 muestra el resumen de los parámetros estimados (intercepto y pendiente) y coeficientes de determinación (R²) de los modelos de regresiones lineales entre las variables. Se puede observar que no hay relación significativa entre las variables mostradas con p-valores > 0.05, sin embargo la relación entre nivel de MP10, nivel de MP2.5, sulfatos y nitratos presentes en MP10, sulfatos presentes en MP2.5 (variables predictivas) con los valores espirométricos, (%) FVC y (%) FEV1 (variables respuesta) es negativa, esto quiere decir que a medida que aumentan estos contaminantes los valores espirométricos (función pulmonar) disminuye gradualmente. Se observa lo mismo en nitratos presentes

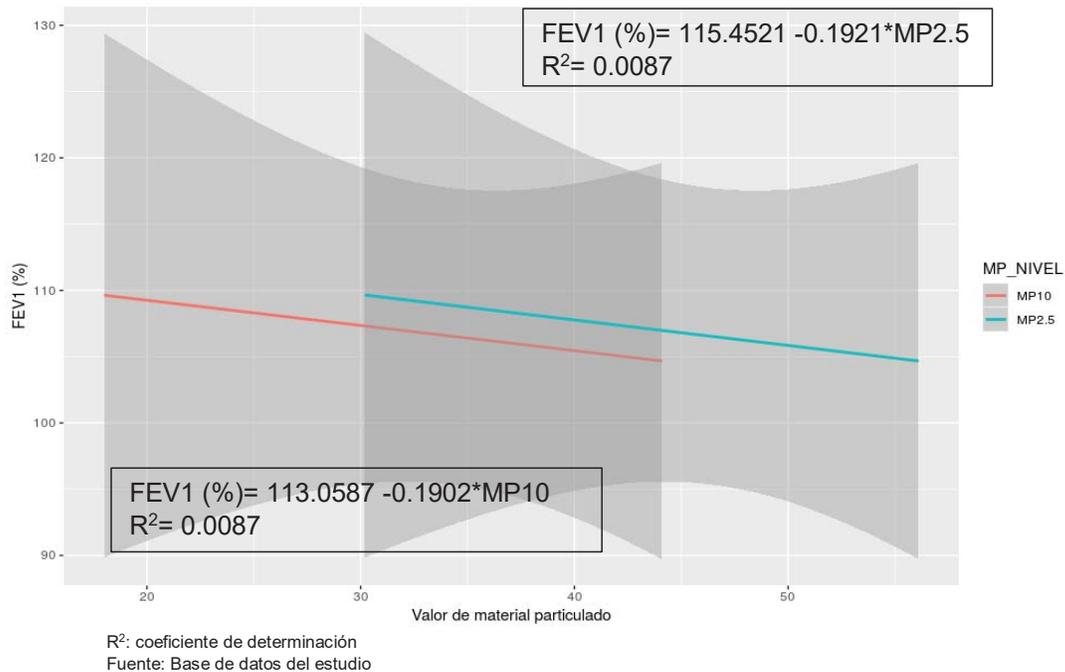
en MP2.5 (variable predictiva) con (%) FEV1 (variable respuesta). (ver Anexo N°14)

Gráfico N° 12 Relación entre FVC (%) versus nivel de MP10 y MP 2.5



R²: coeficiente de determinación
Fuente: Base de datos del estudio

Gráfico N°13 Relación entre FEV1 (%) versus nivel de MP10 y MP 2.5



INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS

En los gráficos N° 12 y 13 se observa que los modelos de regresión lineal entre (%) FVC y (%) FEV1 en función de MP10; (%) FVC y (%) FEV1 en función de MP2.5 en las ecuaciones de la rectas estimadas los valores de la pendiente son negativas, (relación negativa) es decir a medida que aumenta el nivel de MP10, nivel de MP2.5 disminuye (%) FVC y (%) FEV1, dicho de otra forma si se incrementa las variables predictivas en una unidad, existe una disminución media (del valor de la pendiente de la recta) en la variable respuesta. En los modelos de regresión lineal utilizada los p-valor no son significativos, esto se debió a que influyen varios factores como la edad, tiempo de exposición, genética, estado nutricional de los vendedores ambulantes, altitud de la zona geográfica de Cusco y el tiempo de estudio corto, por lo que es necesario realizar un estudio longitudinal a lo largo del tiempo y a largo plazo.

Esta relaciones negativas no significativas entre las variables mencionadas difieren de los obtenidos por Yun Zhou et al. (12) en China quienes encontraron que incrementos diarios de MP10 y MP 2.5 se asoció significativamente con reducciones de FVC y FEV1. Lo mismo ocurrió con Int-Panis L. et al. (29) en

Belgium y Bernal-Cervantes E. (28), quienes realizaron sus estudios en MP10 y MP2.5 respectivamente, estimaron asociaciones negativas significativas de los mismos con (%) FVC y (%) FEV1.

Esta diferencia puede deberse a las elevadas concentraciones de MP10 y MP2.5 en los estudios mencionados respecto al nuestro con diferencias abismales en las concentraciones máximas, dicha afirmación está sustentada con el estudio realizado por Yun Zhou et al. (12) quienes observaron que la asociación entre la exposición a contaminantes atmosféricos y la función pulmonar en dos ciudades a diferentes niveles de concentración eran diferentes.

Los modelos de regresión lineal entre (%) FVC y (%) FEV1 en función de sulfatos en MP10; (%) FVC y (%) FEV1 en función de sulfatos en MP2.5; (%) FVC y (%) FEV1 en función de nitratos en MP10 y (%) FEV1 en función de nitratos en MP2.5 (ver Tabla N° 25 y anexo N°14), los valores de la pendiente son negativas (relación negativa), es decir a medida que aumenta la concentración de sulfatos en MP10, sulfatos en MP2.5 y nitratos en MP10 disminuye (%) FVC y (%) FEV1. Y a medida que aumenta nitratos en MP2.5 disminuye (%) FEV1. En los modelos de regresión lineal utilizada los p-valor no son significativos.

Estos resultados podrian estar relacionados con el estudio realizado por Atkinson R. et al. (11) en Londres quienes encontraron concentraciones altas de MP, nitratos y sulfatos, y vieron asociaciones positivas entre nitratos y sulfatos en MP10 y MP2.5 y las admisiones hospitalarias respiratorias. Otro estudio realizado por Chit-Pun V. et al. (25) en Hong Kong, encontraron que los sulfatos en MP10 estaba asociada con hospitalizaciones respiratorias.

La variable (%) FVC en función de nitratos en MP2.5 no mostro relación al igual que (%) FEV1/FVC en función de nivel de MP10, nivel de MP2.5, sulfatos y nitratos en MP10; sulfatos y nitratos en MP2.5.

La relación de (%) FEV1/FVC en función de nivel de MP10, nivel de MP2.5 coinciden con los obtenidos por Bernal-Cervantes E. (28) y Int-Panis L. et al. (29), ya que no encontraron asociación entre estas variables.

Tabla N° 26 Relación entre función pulmonar, nivel de material particulado y tiempo de trabajo en vendedores ambulantes expuestos en el Centro Histórico del Cusco.2018

	Nivel de MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tiempo de trabajo (años)	Función pulmonar	
			N° con patrón obstructivo	N° con patrón normal
MP10	18	<26	0	4
	18	>26	1	1
	35.9	<26	1	2
	35.9	>26	1	1
	44.1	<26	1	5
	44.1	>26	0	3
	Total		4	16
MP2.5	30.2	<26	0	4
	30.2	>26	1	1
	48.1	<26	1	2
	48.1	>26	1	1
	56.1	<26	1	5
	56.1	>26	0	3
	Total		4	16
p-valor	N.S.*	N.S.	20	
p-valor (interacción)	N.S.			

*N.S: No significativo, p-valor >0.05

INTERPRETACIÓN

En la Tabla N° 26 se observa la relación de las tres variables en estudio donde la función pulmonar depende del nivel de material particulado y años de trabajo.

Al realizar la prueba de Chi-cuadrado se encontró que no existe efecto del nivel de material particulado y años de trabajo (independientemente) sobre la función pulmonar con p-valores no significativos > 0.05. La interacción entre las variables nivel de material particulado y años de trabajo tampoco tiene efecto sobre la función pulmonar comparados al 5% y 1% de significancia. Esto muestra que el nivel de material particulado y años de trabajo no influyen sobre la función pulmonar del vendedor ambulante, esto puede deberse al reducido tamaño muestral de los sujetos en estudio.

CONCLUSIONES

1. El nivel de MP10 y MP2.5, nitratos y sulfatos presentes, y se relacionó con la disminución de la función pulmonar en vendedores ambulantes expuestos en el Centro Histórico del Cusco no existiendo relación significativa entre las mismas.
2. En los participantes del estudio se identificó que el 40% tuvo 51 años a más, 70% trabajaba más de 9 horas diarias y 35% trabaja entre 2 a 10 años. El 35% tenía estudios primarios al igual que secundarios, 85% fueron mujeres, 45% tenía su puesto de venta en el sector A. Dentro de los factores agravantes de la función pulmonar 90% no fuma y 95% no usa leña como combustible doméstico. No hubo casos de Asma, EPOC, tuberculosis ni cirugía pulmonar, 5% tuvo bronquitis crónica al igual que los que tuvieron otras afecciones pulmonares entre tos, gripe, bronquitis aguda y faringitis.
3. La función pulmonar tuvo una media de FVC 3.01 L, FEV1 de 2.48 L y FEV1/FVC 82.53 %. El promedio de los valores predichos de FVC y FEV1 fueron 105.10% y 106.55% respectivamente, los cuales nos permitieron identificar los patrones espirométricos donde 20% tuvo patrón obstructivo, 80% patrón normal, no se encontró patrón restrictivo ni mixto.
4. Los niveles de MP10 y MP2.5 en el aire en el Centro Histórico del Cusco tuvo un promedio de 35.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 47.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, y se compararon los niveles de MP10 y MP2.5 con los estándares nacionales e internacionales donde el promedio de MP10 (35.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) no supera el Estándar de calidad ambiental de la OMS (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y MINAM (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), mientras que el promedio de MP2.5 (partículas de alto riesgo) supera y casi duplica (47.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) el Estándar de calidad ambiental de la OMS (25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) más no del MINAM (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).
5. La concentración promedio de nitratos en MP10 fue 0.26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, resultando como máximo en el sector A con 0.39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La concentración promedio de nitratos en MP2.5 fue 0.35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, siendo máximo también en el sector A con 0.42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
6. La concentración promedio de sulfatos en MP10 fue 1.80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, siendo máximo en el sector B con 2.63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La concentración promedio de

sulfatos en MP2.5 fue $1.32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ obteniéndose como máximo también en el sector B con $2.00 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

7. Al relacionar los niveles de MP10 y MP2.5 en el aire, la concentración de nitratos y sulfatos presentes en los mismos con la función pulmonar a través de (%) FVC y (%) FEV1 los cuales fueron negativas no significativas, al igual que nitratos en MP2.5 con (%) FEV1, debido a la influencia de factores como edad, tiempo de exposición, genética, estado nutricional de los vendedores ambulantes, altitud de la zona geográfica en Cusco y el tiempo corto de estudio, siendo no extrapolable a toda la población de la ciudad de Cusco.
8. La relación de los niveles de MP10, MP2.5 en el aire, años de trabajo con la función pulmonar de los vendedores ambulantes fue no significativa.

SUGERENCIAS

A las autoridades de la Municipalidad Provincial del Cusco:

- Implementar un plan de vigilancia de la calidad del aire con mínimo dos puntos estacionarios de monitoreo de MP10 y MP2.5 en la ciudad del Cusco, el cual tiene que ser constante para obtener resultados técnicos y tomar mejores decisiones políticas en cuanto a salud y otras de competencia a la municipalidad.

A nuestros compañeros de la Facultad de Ciencias de la Salud:

- Realizar estudios sobre la fisiología pulmonar en la ciudad del Cusco (en altura a más de 3000 m.s.n.m.) ya que los valores normales espirométricos de habitantes en altura comparados con los habitantes de nivel del mar deberían de ser más altos, por lo que es necesario realizar en estudio de ajuste en los valores normales.

A los docentes de la Escuela profesional de Farmacia y Bioquímica:

- Incentivar el estudio de los problemas de salud pública, como parte de la formación académica en aspectos de salud ocupacional.
- Crear campañas de prevención y sensibilización acerca del adecuado uso y cuidado de los recursos naturales como el aire; dirigido a estudiantes, profesores, instituciones públicas, privadas, colegios profesionales y población en general.
- Crear un centro de información toxicológica ambiental y entre otros dirigido a la población en general.

A los estudiantes de la escuela profesional de Farmacia y Bioquímica:

- Continuar con investigaciones de otros componentes del material particulado, poniendo énfasis en el MP2.5, con un mayor número de pacientes y en un tiempo más prolongado, ya que en el mundo aún sigue siendo un problema no solo para la salud sino también para el medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

1. Palomino H. El medio y su influencia en la salud humana [En línea]. Primera ed. Editor EC, editor. Córdoba; 2009.[Citado: 2017 Enero 6]. Disponible en: site.ebrary.com/lib/bibliotecaensaacsp/reader.action?docID=10316874
2. Cardona JD. Contaminación Ambiental y Enfermedad Respiratoria. [En línea].; 2016 [Citado 2017 Enero 22]. Disponible en: <https://encolombia.com/medicina/revistas-medicas/neumologia/vn-154/neumologia15403-contaminacion/>.
3. DIGESA. Protocolo de monitoreo de calidad del aire y la gestión de datos. [En línea].; 2005 [Citado 2017 Enero 21]. Disponible en: http://www.digesa.sld.pe/norma_consulta/protocolo_calidad_de_aire.pdf.
4. Arciniéga CA. Diagnóstico y Control de Material Particulado: Partículas Suspendidas Totales y Fracción Respirable PM10. [En línea].; 2011 [Citado 2017 Febrero 20]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n34/n34a12.pdf>.
5. Sbarato V, Sbarato D, Basan R, Manzo P, Ortega J, Campos M, et al. Análisis y Caracterización del Material Particulado Atmosférico. Ciudad de Cordoba Argentina. [En línea].; 2010 [Citado 2017 Febrero 27]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/unc/paper24.pdf>.
6. Baird C, Michael C. Química Ambiental. Segunda ed. Barcelona: Reverté S.A; 2014.pp.69-134
7. Woidich S, Froescheis O, Luxenhofer O, Ballschmiter K. Springer. [En línea]. [Citado 2017 Noviembre 7]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs002160051306?LI=true>.
8. OMS. Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. [En línea].; 2005 [Citado 2017 Febrero 22]. Disponible en: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69478/1/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf.
9. OMS. Centro de prensa, Calidad del aire ambiente (exterior) y salud. [En línea].; 2016 [Citado 2017 Febrero 19]. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>.
10. Shao-Kun L, Shan C, Yan C, Bing X, Ping C, Xu-Dong X. US National Library of Medicine National Institutes of Health. [En línea].; 2015 [Citado 2017 Noviembre 13]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4740132/>.
11. Atkinson RW, W. FG, Ross A, Harrison R, Armstrongd B. Urban Ambient Particle Metrics and Health. [En línea].; 2010 [Citado 2018 Setiembre 25]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20502338>.
12. Yun Z, Yuwei L, Yuanchao S, Jungang X, Xiuqing C, Bing Z, et al. Short-term Effects of Outdoor Air Pollution on Lung Function among Female Non-smokers in

- China. [En línea].; 2016 [Citado 2018 Mayo 27. Disponible en:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5062123/pdf/srep34947.pdf>.
13. Padilla-Macedo BT. Evaluación de la concentración de partículas menores a 10 micras y su influencia en las enfermedades respiratorias de la población del barrio Cercado-Tarapoto, Noviembre 2015. [En línea].; 2016 [Citado 2017 Junio 22. Disponible en: https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri_ctd/article/view/623/595.
 14. MINAM. Informe Nacional de la Calidad de Aire. [En línea].; 2013-2014 [Citado 2017 Marzo 27. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2014/07/Informe-Nacional-de-Calidad-del-Aire-2013-2014.pdf>.
 15. PUCP. La principal causa de la contaminación del aire en el Perú es el parque automotor. [En línea].; 2016-04 [Citado 2017 Marzo 27. Disponible en: <http://www.pucp.edu.pe/climadecambios/index.php?tmpl=articulo&id=2001>.
 16. Gonzales GF, Zevallos A, Gonzales-Castañeda C, Nuñez D, Gastañaga C, Cabezas C, et al. Contaminación Ambiental, Variabilidad Climática Y Cambio Climático: Una Revisión Del Impacto En La Salud De La Población Peruana. [En línea].; 2015 [Citado 2017 Marzo 6. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4351992/>.
 17. Warthon-Ascarza JL. Evaluación de la Calidad del Aire. Primera ed. Cusco: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Instituto de Energía y Atmósfera; 2017.
 18. Ministerio de Salud. Ley de Trabajo del Químico Farmacéutico del Perú. [En línea].; 2006 [Citado 2017 Noviembre 08. Disponible en: http://www.inen.sld.pe/portal/documentos/pdf/normas_legales/NUEVA_decreto_supremo/2006/28052010_DECRETO_SUPREMO_N_008_2006_SA_%282%29.pdf.
 19. Polgar S, Thomas SA. Investigación en Ciencias de la Salud España: Elseiver España S.L.; 2014.
 20. Ministerio de Salud Perú, Instituto Nacional de Salud. Guía Nacional para la constitución y funcionamiento de los comites de etica en investigación en el Perú. Lima; 2012.
 21. Ministerio de Salud de la Nación, Presidencia de la Nación. Guia de prevención, diagnóstico, tratamiento y vigilancia epidemiológica de las intoxicaciones de monóxido de carbono. Guía. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina: Ministerio de Salud de la Nación, Departamento de Salud Ambiental; Septiembre de 2011. Report No.: 978-950-38-0115-4. Disponible en: http://www.msal.gob.ar/images/stories/bes/graficos/0000000335cnt-06-Guia_intoxic_monoxido.pdf
 22. Dockery DW, Pope III CA. Acute Respiratory Effects of Particulate Air Pollution. [En línea].; 1994 [Citado 2017 Mayo 18]. Disponible en: <https://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.pu.15.050194.000543>.

23. Estevez-Garcia JA. Exposición Laboral a Contaminación Atmosférica: Material Particulado Y Efectos Respiratorios en la Salud de Policías de Tránsito de Bogotá, Colombia 2008-2009. [En línea].; 2010 [Citado 2018 Julio 12]. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/2662/1/597591.2010.pdf>.
24. Quiroz CM. Prevalencia de alteraciones en la función pulmonar de la población residente vecina a dos fábricas de material particulado, corregimiento La Sierra, Municipio de Puerto Nare (Antioquia, Colombia),2008. [En línea].; 2011 [Citado 2018 Julio 11]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnsp/v29n1/v29n1a06.pdf>.
25. Chit V, Tak-Sun Yu I, Qiu H, Ho KF, Sun Z, Louie PKK, et al. Short-Term Associations of Cause-Specific Emergency Hospitalizations and Particulate Matter Chemical Components in Hong Kong. [En línea].; 2014 [Citado 2018 Setiembre 24]. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/aje/kwy234>.
26. Téllez I, Lozano N, Restrepo H, Carvajal R. Alteraciones Espirométricas por Exposición a Material Particulado. [En línea].; 2015 [Citado 2018 Agosto 09]. Disponible en: <http://revistasojs.unilibrecali.edu.co/index.php/rcso/article/view/256/284>.
27. Astudillo A, Ramirez M, García N, Gonzáles G, Gutiérrez I, Bailón N. Caracterización química del material particulado PM10 de la zona urbana de Cuenca- Ecuador e investigación de su Genotoxicidad e inducción de estrés oxidativo en células epiteliales alveolares A549. [En línea].; 2015 [Citado 2018 Mayo 26]. Disponible en: <http://rev.aetox.es/wp/wp-content/uploads/hemeroteca/vol32-2/vol%2032-2-121-126.pdf>.
28. Bernal -Cervantes E. Evaluación de la Salud Respiratoria en Mujeres Beneficiadas con el Programa de Estufas Ecológicas en la zona Huasteca del Estado de San Luis Potosí. Tesis para optar el título de Licenciada en Ciencias Ambientales y Salud. San Luis Potosí: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Medicina; 2016. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/311425348_EVALUACION_DE_LA_SALUD_RESPIRATORIA_EN_MUJERES_BENEFICIADAS_CON_EL_PROGRAMA_DE_ESTUFAS_ECOLOGICAS_EN_LA_ZONA_HUASTECA_DEL_ESTADO_DE_SAN_LUIS_POTOSI
29. Int Panis L, B Provost E, Cox B, Louwies T, Laeremans M, Standaert A. Short-term air pollution exposure decreases. [En línea].; 2017 [Citado 2018 Mayo 27]. Disponible en: http://www.ademloos.be/sites/default/files/gezondheid_docs/Panis_et_al-2017-Environmental_Health.pdf.
30. Souza DZ, Vasconcellos PC, Lee H, Aurela M, Saarnio K, Teinilä K, et al. Composición de PM2.5 and PM10 colectados en sitios urbanos en Brazil. [En línea].; 2014 [Citado 2018 Julio 25]. Disponible en: http://www.aaqr.org/files/article/594/15_AAQR-13-03-OA-0071_168-176.pdf.
31. Barba-Rivera RW. Valores Espirométricos para adultos Naturales en la Altura (Huancayo 3259 msnm). Tesis para optar el título profesional de Médico Cirujano. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Medicina

- Humana; 2011. Disponible en:
<http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3129/Barba%20Rivera.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
32. Briones Silva E, Malaver Cárdenas C. Concentración de Material Particulado PM10 y PM2,5 en la Cuenca Atmosférica de Cajamarca durante los años 2014 y 2015. Tesis para optar el título Profesional de Ingeniero Ambiental. Cajamarca: Universidad Cesar Vallejo, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental; 2015. Disponible en:
http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/10863/briones_se.pdf?sequence=1&isAllowed=y
 33. Cipriano-Arellano JS. Capacidad Ventilatoria Forzada en Trabajadores de una Empresa Metalúrgica en la Región Central del Perú 2012. Tesis para optar el Grado Académico de Magister. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Medicina Humana; 2015. Disponible en:
http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/4252/Cipriano_aj.pdf?sequence=3
 34. Suárez L, Álvarez D, Bendezú Y, Pomalaya J. Caracterización Química del Material Particulado Atmosférico del Centro Urbano de Huancayo, Perú. [En línea].; 2017 [Citado 2018 Mayo 26]. Disponible en:
http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/4252/Cipriano_aj.pdf?sequence=3 <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v83n2/a05v83n2.pdf>.
 35. Jonathan AP. Determinación del Material Particulado PM10 y PM 2.5, Dióxido de Azufre y Dióxido de Nitrógeno en el Distrito Yura – Arequipa. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental; 2017. Disponible en:
<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/5311/AMarpaj.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
 36. Yarin Tello J. Nivel de Contaminación del aire por Materia Particulado (PM10) en la Ciudad del Cusco. Tesis de Maestría. Cusco: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Ciencias con Mención Física; 2017.
 37. Valdez YAC. Calidad del aire en la Cuenca atmosférica del valle de Cusco. Boletín Informativo N°1. Cusco: Municipalidad Provincial del Cusco, Sub Gerencia de Ordenamiento Territorial y Dirección Regional de Salud., Mucipalidad Provincial del Cusco; 2013.
 38. José Bello Gutierrez ALCS. Fundamentos de toxicología de ciencia toxicológica Madrid: Díaz de Santos; 2001.
 39. Peña CE, Carter DE, Ayala-Fierro F. Toxicología Ambiental. [En línea].; 2001 [Citado 2018 Noviembre 08]. Disponible en:
<http://www.ingenieroambiental.com/informes2/toxamb.pdf>.
 40. Jiménez-Cisneros B. La contaminación ambiental en México: Causas, efectos y tecnología apropiada México: Limusa S.A; 2005. Disponible en:
<https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=8MVxlyJGokIC&oi=fnd&pg=PA>

29&dq=+contaminacion+ambiental&ots=IUazYMGBxG&sig=DxhBioloh1QBFtcnHSyYvIm0-gg#v=onepage&q=contaminacion%20ambiental&f=false

41. Instituto Nacional de Ecología- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (INE-SEMARNAT). Guía metodológica para la estimación de emisiones de PM2.5. [En línea].; 2011 [cited 2018 Agosto 20]. Disponible en: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/225459.pdf>
42. Figueruelo JE, Dávila MM. Química Física del Ambiente y de los Procesos Medioambientales S.A ER, editor. España: EDITORIAL REVERTÉ S.A ; 2004.
43. Gutiérrez AM. Composición de ácidos grasos y peroxidación lipídica de mitocondrias y microsomas aislados de hígado, corazón y cerebro de aves de diferentes especies: relación con el tamaño corporal. Tesis doctoral. Buenos Aires: Universidad Nacional de la Plata, Facultad de ciencias naturales y museo; 2015. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/45722>
44. Jaramillo Juárez F, Valdivia Flores AG. Fundamentos de estrés oxidativo celular. [En línea]. México: Editorial de la Universidad Autónoma de Aguas Calientes; 2016 [cited 2018 Noviembre 7]. Disponible en: https://www.uaa.mx/direcciones/dgdv/editorial/docs/zombis_fundamentos_estres_oxidativo_celular.pdf.
45. Musacco Sebio R. Daño oxidativo y respuesta antioxidante en la toxicidad del hierro, cobre y material particulado. Tesis doctoral. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, Departamento de Química Analítica y Físicoquímica; 2016. Disponible en: http://repositorioubas.sisbi.uba.ar/gsd/collect/posgrauba/index/assoc/HWA_1845.dir/1845.PDF
46. Pérez-Padilla R, Vásquez García JC. Manual para el uso y la interpretación de la espirometría por el médico. Manual. México: Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias "Ismael Cosío Villegas", Departamento de Fisiopatología de la Asociación Latinoamericana del Tórax (ALAT); 2007. Report No.: 970-95053-1-9.
47. F.Ganong W. Fisiología Médica. 18th ed. Vásquez Moctezuma I, editor. México: El manual moderno S.A.; 2001.
48. Kumar V, Abbas AK, Fausto N, Aster JC. Patología estructural y funcional. Octava edición ed. Barcelona: Elsevier España,S.L.; 2012.
49. Biblioteca de Investigaciones. Aparato Respiratorio. [En línea].; 2015 [Citado 2018 Noviembre 9]. Disponible en: http://repositorioubas.sisbi.uba.ar/gsd/collect/posgrauba/index/assoc/HWA_1845.dir/1845.PDF <https://bibliotecadeinvestigaciones.wordpress.com/biologia/sistemas-y-aparatos-del-cuerpo-humano/sistema-respiratorio/>.
50. Universidad de Alcalá. Aparato respiratorio. [En línea]. [Citado 2018 Noviembre 9]. Disponible en: https://portal.uah.es/portal/page/portal/epd2_asignaturas/asig650019/informacion_academica/Respiratorio.pdf.

51. Rojas M W, Anaya C JM, Aristizábal B B, Cano R LE, Gómez O LM, Lopera H D. Inmunología de Rojas. 14th ed. Medellín: Fondo Editorial CIB; 2007.
52. J. Kindt T, A. Goldsby R, A. Osborne B. Inmunología de Kuby. Sexta ed. de León Praga J, editor. México: McGraw-Hill Interamericana S.A.; 2007.
53. Manahan SE. Introducción a la Química Ambiental. Primera ed. Durán- Domínguez de Bazúa MdC, editor. México: REVERTÉ S.A.; 2007.
54. Linares C, Diaz J. Los PM2.5 y su afectación a la salud. [En línea].; 2017 [Citado 2017 Mayo 23]. Disponible en:
https://www.um.es/estructura/servicios/sprevencion/c-seguridad/documentos/EE_58_PM25.pdf.
55. Carbajal L, Barraza A, Durand R, Moreno H, Espinoza R, Chiarella P. Impact of Traffic Flow on the Asthma Prevalence Among School Children in Lima, Peru. [En línea].; 2009 [Citado 2017 Mayo 23]. Disponible en:
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02770900701209756?scroll=top&needAccess=true>.
56. Vela-Quico A. Estudio epidemiológico por exposición a contaminantes atmosféricos de la población en riesgo de Arequipa. 2004. [En línea].; 2004 [Citado 2017 Octubre 23]. Disponible en:
<http://www.labor.org.pe/descargas/Estudio%20Epidemiologico%20por%20Contaminacion.pdf>.
57. Ruiz Ramos CF. Caracterización del material particulado en las principales vías del tránsito público colectivo y masivo del centro de Bogotá. Tesis de grado. Bogotá: Universidad de los Andes, Departamento de Ingeniería Ambiental; 2006. Disponible en: <http://oab2.ambientebogota.gov.co/es/documentacion-e-investigaciones/resultado-busqueda/caracterizacion-del-material-particulado-en-las-principales-vias-del-transporte-publico-colectivo-y-masivo-del-centro-de>
58. Berrozpe JD. Administración de fármacos por vía pulmonar. In SINTESIS , editor. Tratado general de biofarmacia y farmacocinética. Vallehermoso Madrid: SÍNTESIS S.A.; 2014. p. 168.
59. Viana -Rodríguez MdM. Niveles, composición y origen del material particulado atmosférico en los sectores Norte y Este de la Península Ibérica y Canarias. Tesis doctoral. Barcelona: Universidad de Barcelona, Departament de Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geològica; 2018. Report No.: 84-688-5854-4. Disponible en: <http://digital.csic.es/handle/10261/27476>
60. Martinez Salvador P. Caracterización de la Contaminación Atmosférica producida por partículas en suspensión en Madrid. Tesis doctoral. Madrid: Universidad Complutense de Madrid, Departamento de Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica I; 2005. Report No.: 978-84-669-2560-0. Disponible en: <https://eprints.ucm.es/5402/1/T27355.pdf>
61. Ubilla C, Yohannessen K. Contaminación Atmosférica Efectos en la salud respiratoria en el Niño. [En línea].; 2017 [Citado 2018 Julio 12]. Disponible en: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/B280A3D280CB4AB288F4BD7295F8027FD>

5DA79EC3045A0337C46BD0020D557CB1D88CD7E6BA853DEF79568EB9603
D212.

62. Cáceres Lillo DD. Evaluación de los efectos agudos en la función pulmonar por exposición a material particulado fino (MP2.5) en niños que viven próximos a una playa masivamente contaminada con relaves mineros, Chañaral, Chile. Tesis doctoral. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona, Departamento de Pediatría, Obstetricia, Ginecología y Medicina Preventiva; 2015. Disponible en: https://ddd.uab.cat/pub/tesis/2015/hdl_10803_333059/ddcl1de1.pdf
63. Municipalidad del Cusco-Instituto Nacional de Cultura. Plan Maestro del Centro Histórico del Cusco. [En línea].; 2001 [Citado 2018 Agosto 21]. Disponible en: <https://www.cusco.gob.pe/wp-content/uploads/2015/06/plan-maestro-version-abreviada.pdf>.
64. Mendoza-Torren MA. Bibliocad-Plano Catastral de Cusco. [En línea].; 2017 [Citado 2018 Diciembre 18]. Disponible en: https://www.bibliocad.com/es/biblioteca/plano-catastral-cusco_50044/?fbclid=IwAR1pIMR5VUmEkQUWImexb8_aklgqLEVMiz-LSw8UUE1IVJKPzV-o-e1xcs4.
65. Programa Regional de Aire Limpio PRAL. Descripción de las Fuentes de Contaminación del Aire. In Salazar C, Grajeda E, Lechuga J, Valdivia K, editors. Plan "A Limpiar el Aire" Cusco. Cusco; 2108. p. 142-150.
66. Prieto Zambrano O. Caracterización de Material Particulado, Plomo y Arsenico para la Evaluación de la Calidad del Aire en el Distrito de Islay- Matarani. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín, Facultad de Ingeniería de Procesos; 2016.
67. Said M, Turki H, Atef M, Essam M, Mohammad R, Kawsar A. Analysing PM2.5 and its Association with PM10 and Meteorology in the Arid Climate of Makkah, Saudi Arabia. [En línea].; 2017 [Citado 2018 Mayo 26]. Disponible en: http://aaqr.org/files/article/1404/10_AAQR-16-03-2015AAC-0117_453-464.pdf.
68. García F, González K. Evaluación de la concentración de iones contenidos en Material Particulado Respirable y su Incidencia sobre Ambientes Intra-Extramurales en la Localidad de Puente Aranda. [En línea].; 2008 [Citado 2017 Octubre 23]. Disponible en: <http://repository.lasalle.edu.co/handle/10185/14063>.
69. Moragues JA. Manual de tecnologías de medición de concentración de gases y material particulado en chimeneas y atmósfera. [En línea]. [Citado 2017 Mayo 23]. Disponible en: <http://www.estrucplan.com.ar/Legislacion/Nacion/Resoluciones/Secretaria%20de%20Desarrollo%20Sustentable%20y%20Politica%20Ambiental/2001/manual01.pdf>.
70. Ecotech Environmental monitoring. Manual HiVol 3000 Muestreador de Aire de Alto Volumen. 2014. Manual proporcionado por la empresa Ecotech.
71. Center for Environmental Research Information Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency. EPA método IO 3.1. [En

- línea].; 1999 [Citado 2017 Mayo 22]. Disponible en:
<https://www3.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/inorganic/mthd-3-1.pdf>.
72. Villanueva- Cañadas E, Pla-Martinez A, Hernández-Jerez AF. Investigación Toxicológica. In Gisbert Calabuing JA. Medicina Legal y Toxicología. España: SALVAT EDITORES.S.A.; 1994. p. 702-703.
73. Romero de Ávila-Cabezón G, González-Rey J, Rodríguez-Estévez C, Timiraos-Carrasco R, Molina-Blanco MA, Galego-Riádigos MI, et al. Cad Aten Primaria. [En línea].; 2013 [Citado 2017 Mayo 16]. Disponible en:
<https://www.agamfec.com/wp/wp-content/uploads/2014/07/20-7-50-het.pdf>.
74. Lopez A, Marqués L. Archivos de Bronconeumonia. [En línea].; 1994 [Citado 2017 Mayo 16]. Disponible en: <http://www.archbronconeumol.org/es/pdf>.
75. Astete- Juárez Y, Niño de Guzmán O, Olivera -Mayo D. Detección clínico espirométrica de EPOC en carpinteros de Cusco (Hospital Antonio Lorena) 2005. [En línea].; 2005 [Citado 2018 Agosto 12]. Disponible en:
http://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/situa/2004_n2/pdf/a08.pdf.
76. Valenzuela Bejarano MA. Medición de la capacidad vital forzada por espirometría en habitantes adultos naturales de Junín (4105 m.s.n.m) y su utilidad en la práctica clínica. [En línea].; 2003 [Citado 2018 Agosto 7]. Disponible en:
http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/salud/valenzuela_bm/valenzuela_b m.pdf.
77. Soto Riesle P, Rothhammer F. Adaptación biológica a la altura. [En línea]. [Citado 2018 Setiembre 4]. Disponible en:
http://www.chungara.cl/Vols/1975/Vol5/Adaptacion_biologica_a_la_altura.pdf.
78. Hurtado A. La influencia de la altura sobre el hombre. [En línea].; 1973 [Citado 2018 Setiembre 4]. Disponible en:
<http://iris.paho.org/xmlui/bitstream/handle/123456789/10815/v75n6p489.pdf?sequence=1>.
79. Boutros-Gali. Los contaminantes atmosféricos derivados de la utilización de la energía y su control. [En línea].; 1992-1996 [Citado 2017 Abril 04]. Disponible en:
<https://www.google.com.pe/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=8&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjzh-tm4zTAhUKKyYKHQldBNoQFgg9MAc&url=http%3A%2F%2Fwww.analesranf.com%2Findex.php%2Fie%2Farticle%2Fdownload%2F858%2F828&usg=AFQjCNG70YNPiBlmRGYQflgFykBqsh5zEQ&sig>.
80. Galicia GM, Temes MN, España SP, Lozano SM. Fistera. [En línea].; 2004 [Citado 2017 Mayo 16]. Disponible en:
<https://www.fistera.com/material/tecnicas/espirometria/espirometria.pdf>.
81. Hahnemuhle Paper Makes The Diference. Filtros de Fibra de Cuarzo. [En línea]. [Citado 2017 Mayo 16]. Disponible en:
<https://www.hahnemuehle.com/es/filtracion/filtracion/filtros-de-fibra-de-vidrio-y-de-cuarzo/filtros-de-fibra-de-cuarzo.html>.

82. Universidad Técnica de Delft. Lenntech-Nitratos. [En línea].; 2017 [Citado 2017 Noviembre 08]. Disponible en: <https://www.lenntech.es/nitratos.htm>.
83. Boletinagrario.com. Definición de Sulfato. [En línea].; 2017 [Citado 2017 Noviembre 08]. Disponible en: <https://boletinagrario.com/ap-6,sulfato,198.html>.
84. Centro de Salud Ocupacional y Protección del Ambiente para la Salud-Ministerio de Salud. Guía Técnica para realizar Espirometría Ocupacional. [En línea].; 2008 [Citado 2017 Junio 15]. Disponible en: [http://www.usmp.edu.pe/recursoshumanos/pdf/7\)%20GEMO-006%20GUIA%20TECNICA%20ESPIROMETRIA.pdf](http://www.usmp.edu.pe/recursoshumanos/pdf/7)%20GEMO-006%20GUIA%20TECNICA%20ESPIROMETRIA.pdf).
85. Castellanos T. Estudio de Monitoreo de la Economía Informal: Vendedoras y vendedores ambulantes de Lima. Informe. Lima.; WIEGO; 2014 Febrero. Report No.: 978-92-95095-77-9. Disponible en: <http://www.wiego.org/sites/default/files/publications/files/IEMS-Lima-Street-Vendors-City-Report-espanol.pdf>
86. Champi-Carrasco MH, Guzmán-Carrasco SG. Impacto del comercio ambulatorio en la calidad de vida de las mujeres trabajadoras en el centro histórico del distrito del Cusco-2016. Tesis para optar el título profesional de economista. Cusco: Universidad Andina del Cusco, Facultad de Ciencias Económicas, Administrativas y Contables; 2017.
87. Canaviri-Mauricio V, Canaviri-Mauricio H. Universidad Ricardo Palma, Lima Perú. [En línea].; 13-sep-2018 [Citado 2019 Febrero 18]. Disponible en: <http://revistas.urp.edu.pe/index.php/RFMH/article/download/1592/1550?inline=1>.
88. M.C. Valenza, Martín L, Botella M, Castellote Y, Revelles F, Serrano M, et al. La función pulmonar, factores físicos que la determinan y su importancia para el fisioterapeuta. Revista Iberoamericana de Fisioterapia y Kinesiología. 2012 Abril.; p. 7. Disponible en: <http://www.elsevier.es/es-revista-revista-iberoamericana-fisioterapia-kinesiologia-176-pdf-S1138604512000093>
89. Díaz- Valencia PA. Evaluación de los efectos del tabaquismo y la contaminación ambiental en la función pulmonar de adultos. [En línea].; 2010 [Citado 2018 Setiembre 11]. Disponible en: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/1358/1/Evaluaci%C3%B3n%20de%20los%20efectos%20del%20tabaquismo%20y%20la%20contaminaci%C3%B3n%20.pdf>.
90. Ministerio del Ambiente. Resolución Ministerial N°181-2016-MINAM. [En línea].; 2016 [Citado 2019 Enero 18]. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/07/RM-N%C2%B0-181-2016-MINAM.pdf>.
91. Pérez Díaz JP. Composición y Caracterización Química del suelo: Indicadores de Salinidad y Sodicidad. [En línea].; 2013 [Citado 2018 Setiembre 23]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/309769944/download>.

ANEXOS

ANEXO N° 01

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE VENDEDORES AMBULANTES

Código de paciente

FECHA

Datos generales de la persona encuestada

Edad:

Grado de instrucción: Primaria () Secundaria () Educación Superior ()

Género: Masculino () Femenino ()

¿Dónde vive?

Distrito: Provincia: Departamento:

¿Cuál es el lugar donde labora actualmente (Calle o avenida)?

.....

¿Cuántas horas permanece en su trabajo por día?

.....horas.

¿Cuántos años lleva trabajando?

.....años.

¿Consume cigarrillos actualmente?

Si No

¿Usted usa leña como fuente para cocinar en la actualidad?

Si No

Tiene o ha tenido Ud. alguna afección pulmonar como:

-Asma Si No

-EPOC (Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica) Si No

-Bronquitis crónica Si No

-Tuberculosis pulmonar Si No

- Cirugía pulmonar Si No

-Otros (Mencione).....

¿Tiene alguna discapacidad?

- Motora Si No

- Auditiva Si No

- Visual Si No

ANEXO N° 02

HOJA DE DATOS DE ESPIROMETRIA

DATOS DEL PACIENTE

Nombre			Código	Fecha	
Género	M	F	Edad	Peso	Talla
Fecha de nacimiento:					

PREGUNTAS PARA LOS CANDIDATOS A ESPIROMETRIA (relacionado a criterios de exclusión)

1. ¿Tuvo desprendimiento de la retina o una operación de los ojos, tórax o abdomen en los últimos tres meses? (cirugía) SI NO
2. ¿Ha tenido algún ataque cardiaco o infarto al corazón en los últimos tres meses? SI NO
3. ¿Ha estado hospitalizado(a) por cualquier otro problema al corazón en los últimos tres meses? SI NO
4. ¿Está tomando medicamentos para tuberculosis, en este momento? SI NO
5. En caso de mujer: ¿Está usted embarazada actualmente? SI NO

PARA SER LLENADO POR EL PROFESIONAL QUE REALIZA LA PRUEBA

6. HEMOPTISIS	SI	NO	12. INFARTO RECIENTE	SI	NO
7. PNEUMOTORAX	SI	NO	13. INESTABILIDAD CV	SI	NO
8. TRAQUEOSTOMIA	SI	NO	14. FIEBRE, NAUSEA, VOMITO	SI	NO
9. SONDA PLEURAL	SI	NO	15. EMBARAZO AVANZADO	SI	NO
10. ANEURISMA CEREBRAL, ABDOMEN, TORAX	SI	NO	16. EMBARAZO COMPLICADO	SI	NO
11. EMBOLIA PULMONAR	SI	NO			

PREGUNTAS PARA LOS PACIENTES ANTES DE LA ESPIROMETRIA

		SI	NO
1	¿Tuvo una infección respiratoria (resfriado) en las últimas 3 semanas?		
2	¿Uso aerosoles (sprays inhalados) o nebulizadores con broncodilatadores, en las últimas 3 horas?		
3	¿Ha usado algún medicamento broncodilatador toma en las últimas 8 horas?		
4	¿Fumó (cualquier tipo de cigarro) en las últimas dos horas? ¿Cuántos?.....		
5	¿Realizó algún ejercicio físico fuerte (como gimnasia, caminata o trotar), en la última hora?		
6	¿Comió en la última hora?		
7	¿Ha consumido cafeína en las últimas 4 horas?		
8	¿Ha consumido medicamentos para el asma como teofilina en las últimas 6 horas?		
9	¿Ha consumido alcohol las últimas 4 horas?		
10	¿Ha consumido bezodiazepinas las últimas 4 horas?		

	Ansiolíticos: Para aliviar ansiedad Hipnóticos: Para facilitar el sueño en casos de insomnio Miorrelajantes: Para espasmos musculares Anticonvulsivos: En convulsiones		
--	---	--	--

VALORES OBSERVADOS DE ESPIROMETRIA

Parámetro	Valor predicho esperado	Valor observado
FVC (L)		
FEV1 (L)		
FEV1/FVC (%)		

RESULTADOS

Normal		Impresiona Restricción		Obstrutivo		Impresiona restricción y obstrucción	
--------	--	---------------------------	--	------------	--	--	--

ANEXO N° 03

HOJA DE REGISTRO DE DATOS Y CÁLCULOS DE MATERIAL PARTICULADO

Muestreador de partículas:

.....

Equipo: Muestreador de alto volumen

Marca: Eco - Tech Estado: _____ Ciudad: Cusco

Modelo: _____

Número de serie: _____ Punto de muestreo: _____

Fecha de medición de masa inicial:	Código de filtro:	Filtro N°	Condiciones de Hi-Vol	
	Lote:	Hora de inicio de prueba:		
Masa inicial (g)	Intervalo de medición:	Hora final de la prueba:		
M1=	Observaciones	Condición de medición de masa	Flujo (m³/h)	
M2=			Inicial	Final
M3=	Volumen total inicial:	Ti=		
M4=	Volumen total final:	Hi=		
Promedio=	Tiempo corrido inicial:	Tf=		
Fecha de medición de masa final:	Tiempo corrido final:	Hf=		
	Incidencias durante la medición			
Masa final (g)				
M1=				
M2=				
M3=	Observaciones			
M4=				
Promedio=				

Calculo de las concentraciones de partículas

$$SPM = \frac{(Wf - Wi) \times 10^6}{Vstd}$$

Donde:

SPM = concentración en masa de partículas en suspensión (TSP o PM10), µg / std m³.

Wi = peso inicial del filtro limpio, g.

Wf = peso final del filtro expuesto, g.

Vstd = volumen de aire muestreado, convertido a condiciones estándar (25°C y 760 mm Hg), std m³.

10⁶ = conversión de g a µg.

ANEXO N°04: VALIDACIONES
FICHA DE OPINION Y VALIDACION

I. DATOS INFORMATIVOS

Apellido y Nombre del informante	Cargo o institución donde labora	Nombre del instrumento de evaluación	Autor del instrumento
Pizarro Vidal Ynes Cecilia	Médico Asistente	Cuestionario para medir la función pulmonar	Adaptado de un modelo, realizado por Dr. Marco Rivas
Título de la investigación: Evaluación de la función pulmonar en vendedores de diarios y golosinas y su asociación con agentes tóxicos en material particulado menor de 2.5 y 10µm.			

II. ASPECTOS DE VALIDACION

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0-20%	Regular 21-40%	Bueno 41-60%	Muy buena 61-80%	Excelente de 81-100%
1. Claridad	Está formulado con lenguaje apropiado					95%
2. Objetividad	Esta expresado en conductas observables					100%
3. Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología					90%
4. Organización	Existe una organización lógica					100%
5. Suficiencia	Comprende los aspectos en cantidad y calidad					90%
6. Intencionalidad	Adecuado para valorar estrategias					90%
7. Consistencia	Basado en aspectos teóricos científicos					95%
8. Coherencia	Entre los índices, indicadores y las dimensiones				70%	
9. Metodología	La estrategia responde al propósito del diagnóstico					85%
10. Oportunidad	El instrumento será aplicado en el momento oportuno o más adecuado.					90%

III. OPINION DE APLICACIÓN

IV. PROMEDIO DE VALIDACION

30/11/17.		
Lugar y fecha:	DNI N°: 24719254	Firma del experto: <i>Ynes Cecilia Pizarro Vidal</i> 994256389

HOSPITAL ANTONIO LORENA
 DEPARTAMENTO DE MEDICINA
 SERVICIO DE NEUMOLOGIA
 Ynes Cecilia Pizarro Vidal
 MEDICO NEUMOLOGO
 RNE 21151
 CMP 43119

FICHA DE OPINION Y VALIDACION

I. DATOS INFORMATIVOS

Apellido y Nombre del informante	Cargo o institución donde labora	Nombre del instrumento de evaluación	Autor del instrumento
		Cuestionario para medir la función pulmonar	Adaptado de un modelo, realizado por Dr. Marco Rivas
Título de la investigación: Evaluación de la función pulmonar en vendedores de diarios y golosinas y su asociación con agentes tóxicos en material particulado menor de 2.5 y 10µm.			

II. ASPECTOS DE VALIDACION

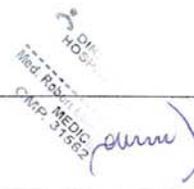
INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente •0-20%	Regular 21-40%	Bueno 41-60%	Muy buena 61-80%	Excelente de 81-100%
1. Claridad	Está formulado con lenguaje apropiado			✓		
2. Objetividad	Esta expresado en conductas observables			✓		
3. Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología			✓		
4. Organización	Existe una organización lógica			✓		
5. Suficiencia	Comprende los aspectos en cantidad y calidad		✓			
6. Intencionalidad	Adecuado para valorar estrategias			✓		
7. Consistencia	Basado en aspectos teóricos científicos			✓		
8. Coherencia	Entre los índices, indicadores y las dimensiones			✓		
9. ^{Met} Metología	La estrategia responde al propósito del diagnóstico			✓		
10. Oportunidad	El instrumento será aplicado en el momento oportuno o más adecuado.			✓		

III. OPINION DE APLICACIÓN

- Falta agregar en la ficha los resultados de la exposición y de lo particulado

- Falta relacionar o explicar ocupación, material particulado y función pulmonar

IV. PROMEDIO DE VALIDACION

Curso 27 Nov 17	09772682		984723523
Lugar y fecha:	DNI N°:	Firma del experto	Teléfono

FICHA DE OPINION Y VALIDACION

I. DATOS INFORMATIVOS

Apellido y Nombre del informante	Cargo o institución donde labora	Nombre del instrumento de evaluación	Autor del instrumento
		Cuestionario para medir la función pulmonar	Adaptado de un modelo, realizado por Dr. Marco Rivas
Título de la investigación: Evaluación de la función pulmonar en vendedores de diarios y golosinas y su asociación con agentes tóxicos en material particulado menor de 2.5 y 10µm.			

II. ASPECTOS DE VALIDACION

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0-20%	Regular 21-40%	Bueno 41-60%	Muy buena 61-80%	Excelente de 81-100%
1. Claridad	Está formulado con lenguaje apropiado				✓	
2. Objetividad	Esta expresado en conductas observables				✓	
3. Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología				✓	
4. Organización	Existe una organización lógica				✓	
5. Suficiencia	Comprende los aspectos en cantidad y calidad			✓		
6. Intencionalidad	Adecuado para valorar estrategias				✓	
7. Consistencia	Basado en aspectos teóricos científicos				✓	
8. Coherencia	Entre los índices, indicadores y las dimensiones			✓		
9. Metodología	La estrategia responde al propósito del diagnóstico				✓	
10. Oportunidad	El instrumento será aplicado en el momento oportuno o más adecuado.				✓	

III. OPINION DE APLICACIÓN

IV. PROMEDIO DE VALIDACION

			
MINISTERIO DE SALUD HOSPITAL REGIONAL DE MELVIN RICÁLDE CASTRO PRIETO MEDICINA GENERAL			
27 nov 17 Lugar y fecha:	24002144 DNI N°:	 Firma del experto	975232092 Teléfono

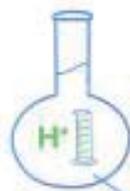
ANEXO N° 05: RESULTADOS DE FACTORES DE LA FUNCIÓN PULMONAR, VALORES Y PATRONES ESPIROMÉTRICOS

N	Sector	Edad	Patrón espirométrico	Género	FVC (L)	FEV1 (L)	% del predicho FVC (%)	% del predicho FEV1 (%)	FEV1/FVC (%)	Horas de trabajo diario	Años de trabajo	Consumo de cigarrillos	Uso de leña	Asma	Bronquitis crónica	EPOC	Cirugía pulmonar	Tuberculosis
1	A	25	Obstrucción	Femenino	2.79	1.95	90	73	69.9	11	10	No	No	No	No	No	No	No
2	A	41	Normal	Femenino	3.5	2.83	113	111	80.9	17	35	No	No	No	No	No	No	No
3	A	49	Normal	Femenino	2.89	2.56	106	117	88.6	13	5	No	No	No	No	No	No	No
4	A	32	Normal	Femenino	4	3.43	109	110	85.8	11	13	No	No	No	No	No	No	No
5	A	33	Normal	Masculino	4.11	3.55	95	101	86.4	11	2	No	No	No	No	No	No	No
6	A	34	Normal	Femenino	2.95	2.41	93	91	81.7	8	30	No	No	No	No	No	No	No
7	A	52	Normal	Femenino	2.55	2.11	94	98	82.7	14	35	No	No	No	No	No	No	No
8	A	22	Normal	Femenino	3.55	3.03	116	112	85.4	12	5	No	No	No	No	No	No	No
9	A	61	Normal	Femenino	3.34	2.88	123	136	86.2	8	20	No	No	No	SI	No	No	No
10	B	37	Normal	Femenino	3.22	2.55	100	95	79.2	10	2	No	No	No	No	No	No	No
11	B	50	Normal	Femenino	2.73	2.48	102	116	90.8	7	10	No	SI	No	No	No	No	No
12	B	66	Obstrucción	Femenino	1.51	1.47	72	94	97.4	8	30	No	No	No	No	No	No	No
13	B	52	Obstrucción	Femenino	2.55	2.08	94	96	81.6	5	10	No	No	No	No	No	No	No
14	B	69	Normal	Femenino	1.94	1.58	108	120	81.4	6	50	No	No	No	No	No	No	No
15	C	67	Normal	Masculino	3.09	2.4	181	176	77.7	12	25	No	No	No	No	No	No	No
16	C	54	Obstrucción	Femenino	2.5	2.07	77	80	82.8	12	38	No	No	No	No	No	No	No
17	C	62	Normal	Femenino	2.27	1.59	102	88	70	15	25	No	No	No	No	No	No	No
18	C	27	Normal	Masculino	5.39	4.28	143	134	79.4	12	15	No	No	No	No	No	No	No
19	C	38	Normal	Femenino	2.96	2.42	97	95	81.8	14	20	No	No	No	No	No	No	No
20	C	51	Normal	Femenino	2.34	1.89	87	88	80.8	14	41	No	No	No	No	No	No	No

FVC: capacidad vital forzada en inglés *Forced Vital Capacity*; FEV1: volumen espiratorio máximo en el primer segundo en inglés *Forced Expiratory Volume1*, F: Femenino, M: Masculino

Fuente: Base de datos del estudio

ANEXO N° 06: RESULTADOS DE ANALISIS DE NITRATOS Y SULFATOS EN MP2.5 Y MP10 EN LAS CINCO ZONAS DE MUESTREO



MC QUIMICALAB

De: Ing. Mario Cumpa Cayuri

LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES:
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE

RUC N° 10238409077 - TELÉF. 271966 COVIDUC A4 - CEL 984687752

INFORME N°163-18

ANALISIS DE MATERIAL PARTICULADO MENOR A 10 µm (MP10) Y MATERIAL PARTICULADO MENOR A 2,5 µm (MP2,5)

MUESTRA: Filtros de Material Particulado Menor a 10 µm (MP10) y Material Particulado Menor a 2,5 µm (MP2,5).

LUGAR DE MUESTREO: Centro de Salud Clas Wanchaq

FECHA DEL INFORME: 30 -05-18

TIPO DE MATERIAL PARTICULADO	DETERMINACIONES	UNIDADES	RESULTADOS
MP10	SULFATOS	µg/m ³	5.24
	NITRATOS	µg/m ³	0.05
MP2,5	SULFATOS	µg/m ³	3.05
	NITRATOS	µg/m ³	0.16

MÉTODO DE ANALISIS: Espectrofotometría UV.

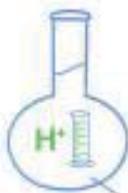
- Michael J. Suess "Examination of water for pollution control. Physical, Chemical and Radiological Examination".

CONCLUSION:

Se encontró mayor concentración de sulfatos en MP10 y MP2,5.

MARIO CUMPA CAYURI
INGENIERO QUIMICO
REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 16188

MC QUIMICA LAB CUSCO
Lic. Maria L. Guíñez Holgado
ADMINISTRADORA



MC QUIMICALAB

De: Ing. Mario Cumpa Cayuri

LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES:
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE

RUC N° 10238409077 - TELÉF. 271966 COVIDUC A4 - CEL. 984687752

INFORME N°164-18

ANÁLISIS DE MATERIAL PARTICULADO MENOR A 10 μm (MP10) Y MATERIAL PARTICULADO MENOR A 2,5 μm (MP2,5)

MUESTRA: Filtros de Material Particulado Menor a 10 μm (MP10) y Material Particulado Menor a 2,5 μm (MP2,5).

LUGAR DE MUESTREO: Plaza San Francisco

FECHA DEL INFORME: 30 -05-18

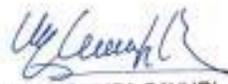
TIPO DE MATERIAL PARTICULADO	DETERMINACIONES	UNIDADES	RESULTADOS
MP10	SULFATOS	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.56
	NITRATOS	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.15
MP2,5	SULFATOS	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.05
	NITRATOS	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.32

MÉTODO DE ANÁLISIS: Espectrofotometría UV.

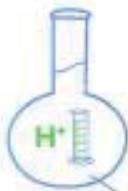
- Michael J. Suess* Examination of water for pollution control. Physical, Chemical and Radiological Examination*.

CONCLUSION:

Se encontró mayor concentración de sulfatos en MP10 y nitratos en MP2,5.


MARIO CUMPA CAYURI
INGENIERO QUIMICO
C.O. COLGEO DE INGENIEROS N° 16188


MC QUIMICA LAB CUSCO
Lic. María L. Gutierrez Holgado
ADMINISTRADORA



MC QUIMICALAB

De: Ing. Mario Cumpa Cayuri

LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES:
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE

RUC N° 10238409077 - TELÉF. 271966 COVIDUC A4 - CEL 984687752

INFORME N°165-18

ANÁLISIS DE MATERIAL PARTICULADO MENOR A 10 μm (MP10) Y MATERIAL PARTICULADO MENOR A 2,5 μm (MP2,5)

MUESTRA: Filtros de Material Particulado Menor a 10 μm (MP10) y Material Particulado Menor a 2,5 μm (MP2,5).

LUGAR DE MUESTREO: Plaza Limacpampa

FECHA DEL INFORME: 30 -05-18

TIPO DE MATERIAL PARTICULADO	DETERMINACIONES	UNIDADES	RESULTADOS
MP10	SULFATOS	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.01
	NITRATOS	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.31
MP2,5	SULFATOS	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.95
	NITRATOS	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.43

MÉTODO DE ANÁLISIS: Espectrofotometría UV.

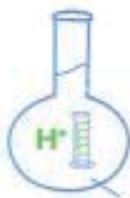
- Michael J. Suess "Examination of water for pollution control. Physical, Chemical and Radiological Examination".

CONCLUSION:

Se encontró mayor concentración de sulfatos en MP2,5 y nitratos en MP10.

MARIO CUMPA CAYURI
INGENIERO QUIMICO
REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 15187

MC QUIMICA LAB CUSCO
Lic. María L. Gutierrez Holgado
ADMINISTRADORA



MC QUIMICALAB

De: Ing. Mario Cumpa Cayuri

LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES:
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE

RUC N° 10238409077 - TELÉF. 271966 - COVIDUC A4 - CEL 984687752

INFORME N°166-18

ANÁLISIS DE MATERIAL PARTICULADO MENOR A 10 μm (MP10) Y MATERIAL PARTICULADO MENOR A 2,5 μm (MP2,5)

MUESTRA: Filtros de Material Particulado Menor a 10 μm (MP10) y Material Particulado Menor a 2,5 μm (MP2,5).

LUGAR DE MUESTREO: Plaza Pumaqchupan (Av. Sol)

FECHA DEL INFORME: 30 -05-18

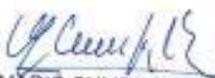
TIPO DE MATERIAL PARTICULADO	DETERMINACIONES	UNIDADES	RESULTADOS
MP10	SULFATOS	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.12
	NITRATOS	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.23
MP2,5	SULFATOS	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	2.55
	NITRATOS	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.70

MÉTODO DE ANÁLISIS: Espectrofotometría UV.

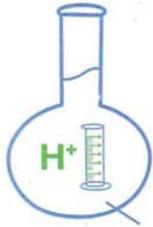
- Michael J. Suess "Examination of water for pollution control. Physical, Chemical and Radiological Examination".

CONCLUSION:

Se encontró mayor concentración de sulfatos y nitratos en MP2,5.


MARIO CUMPA CAYURI
INGENIERO QUIMICO
REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 16188


MC QUIMICA LAB CUSCO
Lic. Maria L. Guierrez Holgado
ADMINISTRADORA



MC QUIMICALAB

De: Ing. Mario Cumpa Cayuri

LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES:
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE

RUC N° 10238409077 - TELÉF. 271966 COVIDUC A4 - CEL 984687752

INFORME N°167-18

ANALISIS DE MATERIAL PARTICULADO MENOR A 10 μm (MP10) Y MATERIAL PARTICULADO MENOR A 2,5 μm (MP2,5)

MUESTRA: Filtros de Material Particulado Menor a 10 μm (MP10) y Material Particulado Menor a 2,5 μm (MP2,5).

LUGAR DE MUESTREO: Av. Ayacucho-Calle Matará

FECHA DEL INFORME: 30 -05-18

TIPO DE MATERIAL PARTICULADO	DETERMINACIONES	UNIDADES	RESULTADOS
MP10	SULFATOS	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	3.07
	NITRATOS	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.54
MP2,5	SULFATOS	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.01
	NITRATOS	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.13

MÉTODO DE ANALISIS: Espectrofotometría UV.

- Michael J. Suess" Examination of water for pollution control. Physical, Chemical and Radiological Examination".

CONCLUSION:

Se encontró mayor concentración de sulfatos y nitratos en MP10.


MARIO CUMPA CAYURI
INGENIERO QUIMICO
REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 16188


MC QUIMICA LAB CUSCO
Lic. Maria L. Gutierrez Holgado
ADMINISTRADORA

ANEXO N°07: RESULTADOS DE CONCENTRACIÓN DE SULFATOS Y NITRATOS EN MP10 Y MP2.5

ZONA DE MONITOREO	CODIGO	MP10		MP2,5	
		Sulfatos (µg/m³)	Nitratos (µg/m³)	Sulfatos (µg/m³)	Nitratos (µg/m³)
CLAS Wanchaq	W-CH	5.24	0.05	3.05	0.16
Plaza San Francisco	SF-CH	0.56	0.15	0.05	0.32
Plaza Limacpampa	LP-CH	0.01	0.31	0.95	0.43
Plaza Pumaqchupan (Av. El Sol)	AS-CH	0.12	0.23	2.55	0.70
Calle Ayacucho-Matara	AM-CH	3.07	0.54	0.01	0.13
PROMEDIO		1.80	0.26	1.32	0.35

Fuente: Base de datos del estudio

ANEXO N°08: DATOS METEOROLÓGICOS PARA CLAS WANCHAQ

Fecha	Temperatura (°C)	Presión (mmHg)	Humedad (%)	Dirección de viento	Velocidad de viento (m/s)	Precipitación (mm)
8/01/2018	12.45	512.05	52.5	W	0.9	0
9/01/2018	12.41	512.43	53.7	W	0.7	0
10/01/2018	12.54	512.31	54.5	NW	0.6	0.4
11/01/2018	11.8	512.8	59.2	W	0.6	0.8
12/01/2018	10.99	512.48	68.9	SSE	0.3	15.4
13/01/2018	12.12	511.36	61.2	0.5	1
14/01/2018	12.41	510.8	62.5	SE	0.6	1.2
Promedio	12.10285714	512.032857	58.9	W	0.6	2.7
Máximo	12.54	512.8	68.9		0.9	15.4
Mínimo	10.99	510.8	52.5		0.3	0

W: oeste, N: norte, S: sur, E: este

Fuente: Base de datos de la estación metereologica de la UNSAAC-2018

ANEXO N°09: DATOS METEOROLÓGICOS EN PLAZA SAN FRANCISCO

Intervalo de medición	Temperatura (°C)	Presión (mmHg)	Humedad (%)	Dirección de viento	Velocidad de viento (m/s)	Precipitación (mm)
13-14 Febrero	12.9	510.7	67.4	227.8	1.1	0.3
15-16 Febrero	13.1	511.0	61.3	243.5	1.3	1.2
16-17 Febrero	12.8	510.9	70.4	229.8	1.0	26.0
17-18 Febrero	12.5	510.1	71.5	197.1	1.1	5.7
19-20 Febrero	12.9	508.8	68.0	177.4	1.2	0.0
20-21 Febrero	10.5	510.3	76.2	232.8	0.9	30.7
21-22 Febrero	10.9	510.0	82.1	199.2	0.8	9.6
22-23 Febrero	9.6	510.4	82.1	198.2	0.9	24.6
Promedio	11.9	510.3	72.4	213.2	1.0	12.3
Máximo	13.1	511.0	82.1		1.3	30.7
Mínimo	9.6	508.8	61.3	SW	0.8	0.0

W: oeste, N: norte, S: sur, E: este

Fuente: Base de datos del estudio 2018 (Rain Wise)

ANEXO N°10: DATOS METEOROLÓGICOS EN PLAZA LIMACPAMPA

Intervalo de medición	Temperatura (°C)	Presión (mmHg)	Humedad (%)	Dirección de viento	Velocidad de viento (m/s)	Precipitación (mm)
18-19 Marzo	12.0	511.0	80.5	169.2	0.6	5.7
19-20 Marzo	12.8	511.3	71.7	164.5	0.8	1.2
20-21 Marzo	13.7	511.7	66.6	223.9	0.7	0.0
21-22 Marzo	10.8	513.1	76.7	182.0	0.5	1.8
22-23 Marzo	12.9	512.3	69.5	158.7	0.8	0.6
24-25 Marzo	14.5	511.4	65.9	175.1	0.9	2.4
25-26 Marzo	12.7	512.3	68.6	171.2	0.8	0.0
26-27 Marzo	13.7	511.8	64.5	158.6	0.9	0.0
Promedio	12.9	511.9	70.5	175.4	0.8	1.5
Máximo	14.5	513.1	80.5		0.9	5.7
Mínimo	10.8	511.0	64.5	S	0.5	0.0

W: oeste, N: norte, S: sur, E: este

Fuente: Base de datos del estudio 2018 (Rain Wise)

ANEXO N°11: DATOS METEOROLÓGICOS EN PLAZA PUMAQCHUPAN

Intervalo de medición	Temperatura (°C)	Presión (mmHg)	Humedad (%)	Dirección de viento	Velocidad de viento (m/s)	Precipitación (mm)
04-05 Abril	11.9	513.0	70.9	135.9	0.9	1.8
05-06 Abril	12.5	513.3	61.7	164.8	1.1	0.0
06-07 Abril	12.5	513.3	61.2	133.5	0.9	0.0
10-11 Abril	11.8	514.4	69.7	125.2	1.0	5.7
11-12 Abril	13.7	513.4	62.2	127.6	1.0	0.0
13-14 Abril	11.7	515.5	71.0	201.2	0.9	3.0
Promedio	12.4	513.8	66.1	148.0	1.0	1.8
Máximo	13.7	515.5	71.0	SSE	1.1	5.7
Mínimo	11.7	513.0	61.2		0.9	0.0

W: oeste, N: norte, S: sur, E: este

Fuente: Base de datos del estudio 2018 (Rain Wise)

ANEXO N°12: DATOS METEOROLÓGICOS EN CALLE AYACUCHO-CALLE MATARA

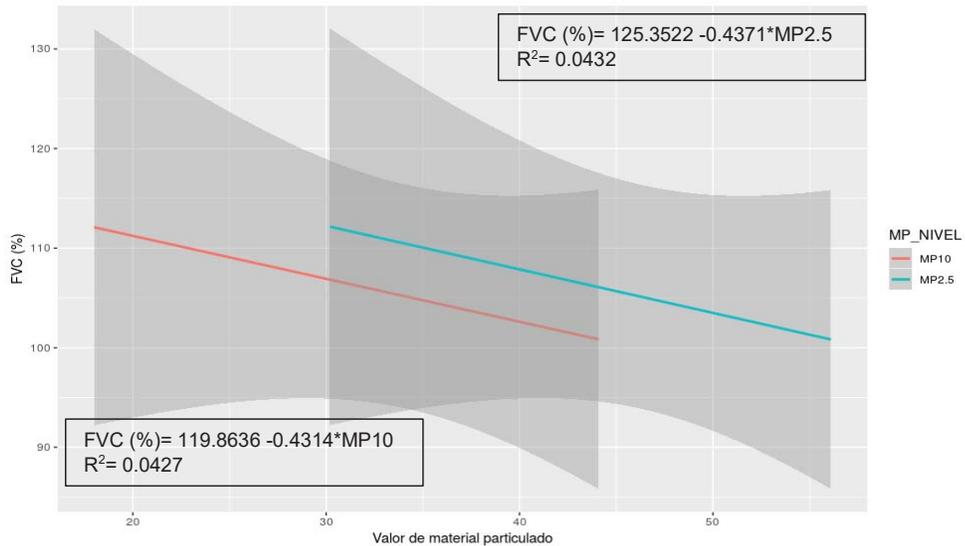
Intervalo de medición	Temperatura (°C)	Presión (mmHg)	Humedad (%)	Dirección de viento	Velocidad de viento (m/s)	Precipitación (mm)
19-20 Abril	14.0	512.7	60.8	120.1	0.5	3.3
20-21 Abril	13.2	512.6	57.6	111.8	0.3	0.0
21-22 Abril	12.7	512.5	56.0	107.0	0.4	2.7
23-24 Abril	12.5	513.0	65.5	113.7	0.4	0.0
24-25 Abril	12.6	513.6	62.9	105.9	0.4	0.0
25-26 Abril	12.4	513.7	64.2	107.3	0.4	13.5
Promedio	12.9	513.0	61.2	111.0	0.4	3.3
Máximo	14.0	513.7	65.5	ESE	0.5	13.5
Mínimo	12.4	512.5	56.0		0.3	0.0

W: oeste, N: norte, S: sur, E: este

Fuente: Base de datos del estudio 2018 (Rain Wise)

ANEXO N°13: REGRESIONES LINEALES ENTRE LAS VARIABLES MEDIDAS

Gráfico N°1 Relación entre FVC (%) versus nivel de MP10 y MP2.5

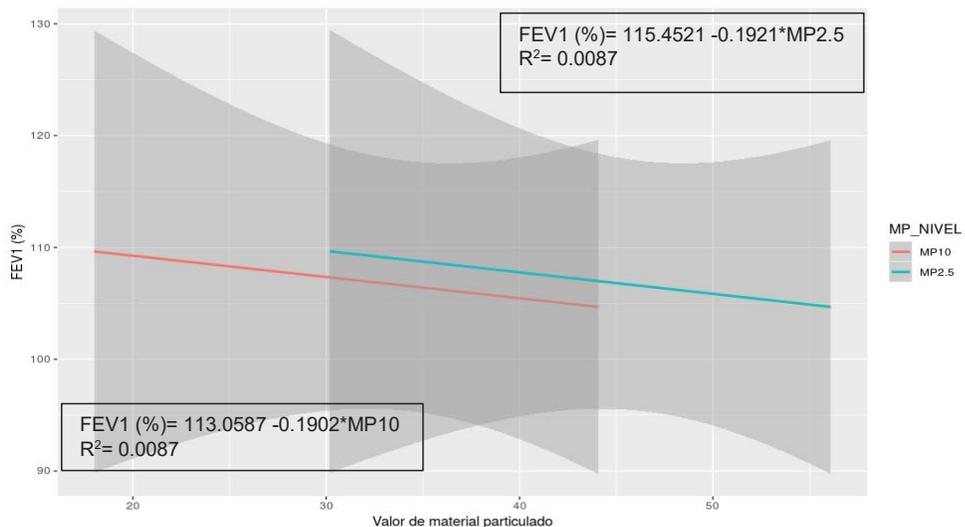


R²: coeficiente de determinación
Fuente: Base de datos del estudio

INTERPRETACIÓN

El Gráfico N° 1 muestra los modelos de regresión lineal entre FVC (%) en función de MP10 y MP 2.5, en las ecuaciones de las rectas estimadas se puede ver que los valores de las pendientes son negativos, es decir a medida que aumenta el nivel de MP10 y MP2.5, disminuye FVC (%), pero el p-valor no es significativo en los modelos de regresión lineal utilizada, sin embargo si se incrementa MP10 y MP2.5 en una unidad, existe una disminución media de 0.4314 y 0.4371 unidades en la variable dependiente FVC (%) respectivamente.

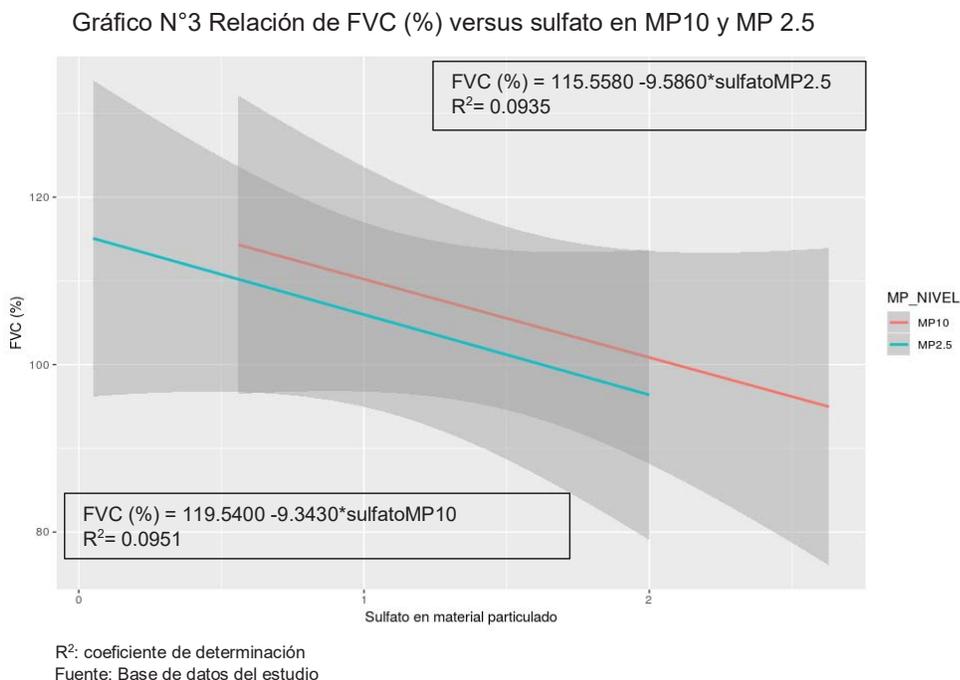
Gráfico N° 2 Relación entre FEV1(%) versus nivel de MP10 y MP 2.5



R²: coeficiente de determinación
Fuente: Base de datos del estudio

INTERPRETACIÓN

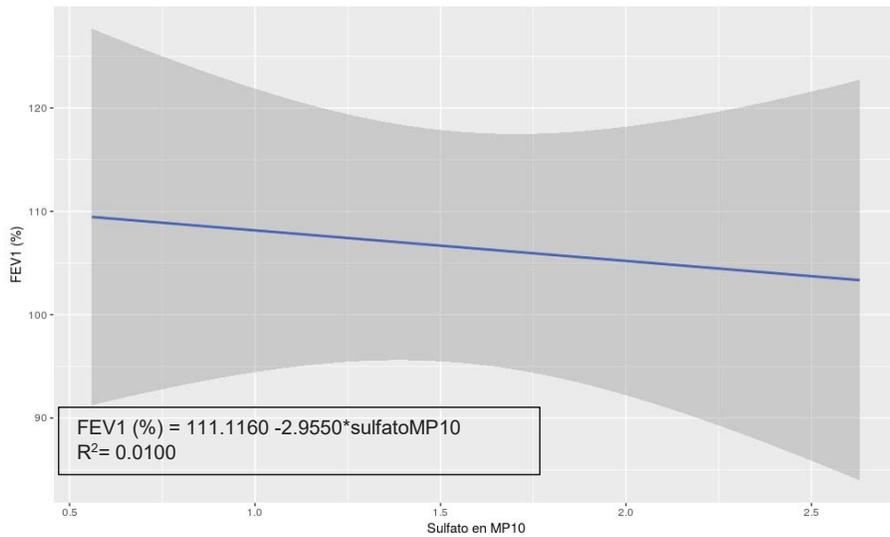
El Gráfico N° 2 muestra el modelo de regresión lineal entre FEV1 (%) en función de MP10 y MP 2.5 en las ecuaciones de las rectas estimadas se puede ver que los valores de las pendientes son negativos, es decir a medida que aumenta el nivel de MP10 y MP2.5, disminuye FEV1 (%), pero el p-valor no es significativo en los modelos de regresión lineal utilizada, sin embargo si se si se incrementa MP10 y MP2.5 en una unidad, existe una disminución media de 0.1902 y 0.1921 unidades en la variable dependiente FEV1 (%) respectivamente.



INTERPRETACIÓN

El Gráfico N° 3 muestra los modelos de regresión lineal entre FVC (%) en función de sulfatos MP10 y MP 2.5, en las ecuaciones de las rectas estimadas se puede ver que los valores de las pendientes son negativos, es decir a medida que aumenta la concentración de sulfatos en MP10 y MP2.5, el FVC (%) disminuye, pero el p-valor no es significativo en los modelos de regresión lineal utilizada, sin embargo si se incrementa la concentración de sulfatos en MP10 y MP2.5 en una unidad, existe una disminución media de 9.343 y 9.586 unidades en la variable dependiente FVC (%) respectivamente.

Gráfico N° 4 Relación de FEV1 (%) versus sulfato en MP10

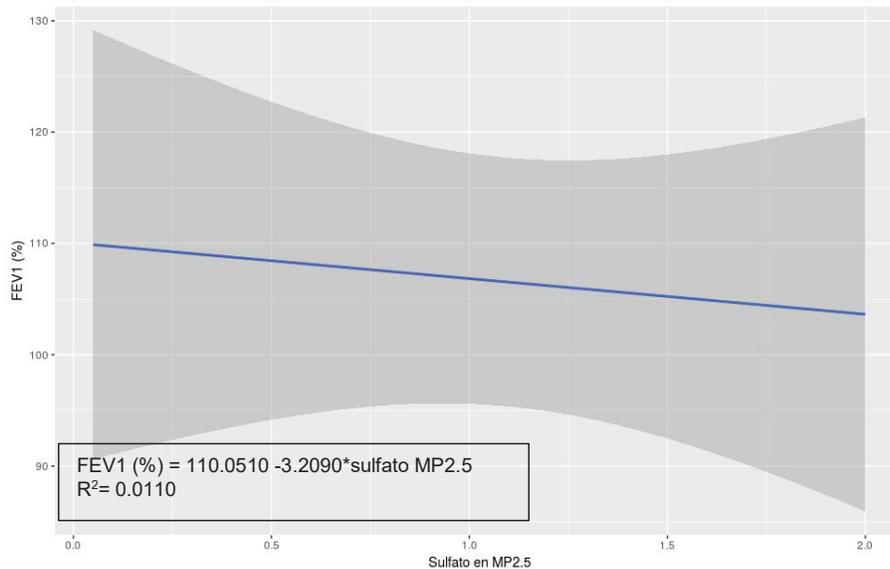


R²: coeficiente de determinación
Fuente: Base de datos del estudio

INTERPRETACIÓN

El Gráfico N° 4 muestra el modelo de regresión lineal entre FEV1 (%) en función de sulfatos en MP10 en la ecuación de la recta estimada se puede ver que el valor de la pendiente es negativo, es decir a medida que aumenta el nivel de sulfatos en MP10, disminuye FEV1 (%), pero el p-valor no es significativo en el modelo de regresión lineal utilizada, sin embargo si se incrementa sulfato en MP10 en una unidad, existe una disminución media de 2.955 unidades en la variable dependiente FEV1 (%).

Gráfico N° 5 Relación de FEV1 (%) versus sulfato en MP2.5

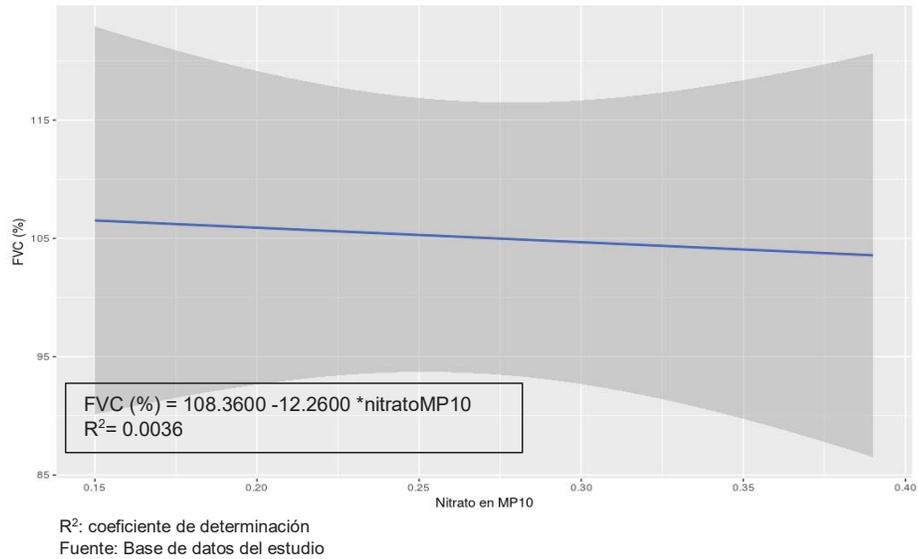


R²: coeficiente de determinación
Fuente: Base de datos del estudio

INTERPRETACIÓN

El Gráfico N° 5 muestra el modelo de regresión lineal entre FEV1 (%) en función de sulfatos en MP2.5 en la ecuación de la recta estimada se puede ver que el valor de la pendiente es negativo, es decir a medida que aumenta el nivel de sulfatos en MP2.5, disminuye FEV1 (%), pero el p-valor no es significativo en el modelo de regresión lineal utilizada, sin embargo si se incrementa sulfato en MP2.5 en una unidad, existe una disminución media de 3.209 unidades en la variable dependiente FEV1 (%).

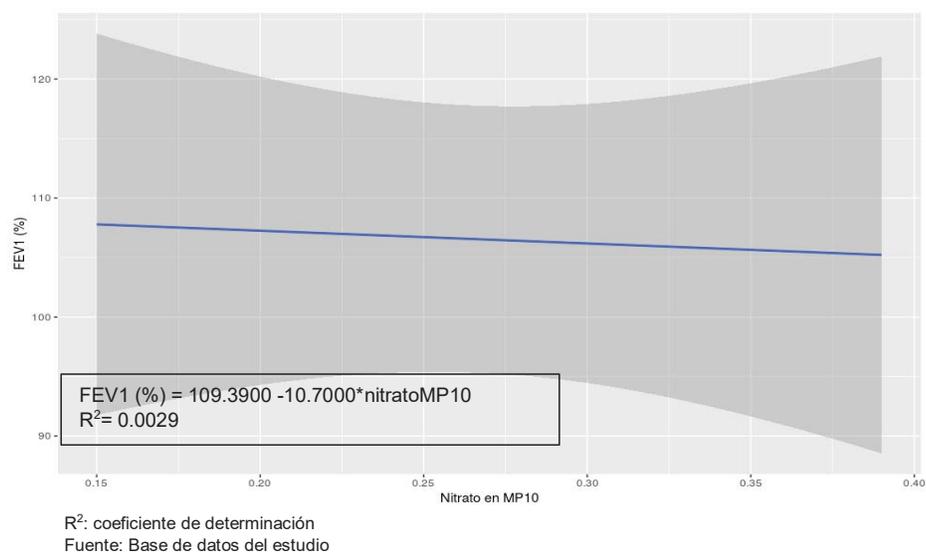
Gráfico N° 6 Relación de FVC (%) versus nitrato en MP10



INTERPRETACIÓN

El Gráfico N° 6 muestra el modelo de regresión lineal entre FVC (%) en función de nitratos en MP10, en la ecuación de la recta estimada se puede ver que el valor de la pendiente es negativo, es decir a medida que aumenta la concentración de nitratos en MP10, disminuye FVC (%), pero el p-valor no es significativo en el modelo de regresión lineal utilizada, sin embargo si se incrementa la concentración de nitratos en MP10 en una unidad, existe una disminución media de 12.26 unidades en la variable dependiente FVC (%).

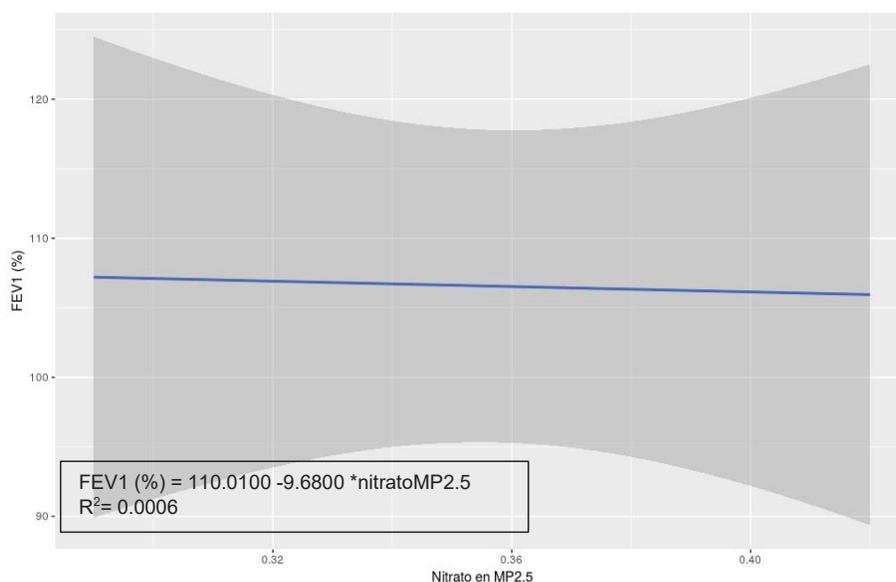
Gráfico N° 7 Relación de FEV1 (%) versus nitrato en MP10



INTERPRETACIÓN

El Gráfico N° 7 muestra el modelo de regresión lineal entre FEV1 (%) en función de nitratos en MP10, en la ecuación de la recta estimada se puede ver que el valor de la pendiente es negativo, es decir a medida que aumenta la concentración de nitratos en MP10, disminuye FEV1 (%), pero el p-valor no es significativo en el modelo de regresión lineal utilizada, sin embargo cabe resaltar que si se incrementa la concentración de nitratos en MP10 en una unidad, existe una disminución media de 10.70 unidades en la variable dependiente FEV1 (%).

Gráfico N° 8 Relación de FEV1 (%) versus nitrato en MP2.5



R²: coeficiente de determinación
Fuente: Base de datos del estudio

INTERPRETACIÓN

El Gráfico N° 8 muestra el modelo de regresión lineal entre FEV1 (%) en función de nitratos en MP2.5, en la ecuación de la recta estimada se puede ver que el valor de la pendiente es negativo, es decir a medida que aumenta la concentración de nitratos en MP2.5, disminuye FEV1 (%), pero el p-valor no es significativo en el modelo de regresión lineal utilizada, sin embargo si se incrementa la concentración de nitratos en MP2.5 en una unidad, existe una disminución media de 9.68 unidades en la variable dependiente FEV1 (%)

ANEXO N°14: MATRIZ DE CORRELACIÓN DE PEARSON ENTRE LAS VARIABLES

	MP10	MP2.5	SO ₄ ⁻² MP10	NO ₃ ⁻ MP10	SO ₄ ⁻² MP2.5	NO ₃ ⁻ MP2.5	FVC (%)	FEV1 (%)	FEV1/FVC (%)
MP10	1.000000								
MP2.5	0.999986	1.000000							
	< 2.2e-16*								
SO₄⁻² MP10	0.645166	0.649253	1.000000						
	0.002128*	0.001951*							
NO₃⁻ MP10	0.858335	0.855572	0.161746	1.000000					
	1.29e-06*	0.001519*	0.4957						
SO₄⁻² MP2.5	0.764287	0.767733	0.985805	0.325135	1.000000				
	0.08734***	0.07755***	2.22e-15*	0.1619					
NO₃⁻ MP2.5	0.674621	0.670654	-0.128747	0.957795	0.039579	1.000000			
	0.001104*	0.001211*	0.5885	0.00000003*	0.8684				
FVC (%)	-0.206661	-0.207887	-0.308413	-0.059809	-0.305724	0.029735	1.000000		
	0.382	0.3791	0.1858	0.8022	0.1899	0.901			
FEV1 (%)	-0.093231	-0.093509	-0.099798	-0.053398	-0.104720	-0.024591	0.915561	1.000000	
	0.6958	0.695	0.6755	0.8231	0.6604	0.918	0.000015*		
FEV1/FVC (%)	0.328583	0.330236	0.448172	0.123428	0.450476	-0.006512	-0.229145	0.135214	1.000000
	0.1572	0.155	0.0475**	0.6042	0.04624**	0.9783	0.3312	0.5698	

*P-valor < 0.01 ó 1% de nivel de significancia, **P-valor < 0.05 ó 5% de nivel de significancia, ***P-valor < 0.1 ó 10% de nivel de significancia.

Fuente: Base de datos del estudio

INTERPRETACIÓN

En la Tabla anterior se ve que las variables MP10 con FVC (%) y FEV1 (%); y MP2.5 con FVC (%) y FEV1 (%); sulfatos en MP10 con FVC (%) y FEV1 (%), sulfatos en MP2.5 con FVC (%) y FEV1 (%), nitratos en MP10 con FVC (%) y FEV1 (%); y nitratos en MP2.5 con FEV1 (%), tienen una correlación baja negativa, es decir cuando hay un aumento de los niveles de los contaminantes mencionados hay una disminución de FVC (%) y FEV1(%), con p-valor >0.05 evidenciando que no es significativa la correlación entre ellos.

No se observó correlación negativa entre las variables nitratos en MP2.5 con FVC (%). Las variables nivel de MP10, MP2.5, sulfatos y nitratos en MP10, y sulfatos en MP2.5 con la variable FEV1/FVC (%), no tuvieron correlación negativa entre es decir cuando hay un aumento de los niveles de estos contaminantes no hay una disminución de FEV1/FVC (%) cuyos p-valores no son significativos. Existe correlación negativa baja entre nitratos en MP2.5 y FEV1/FVC (%) con p-valor no significativo.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

INSTITUTO DE ENERGÍA Y ATMÓSFERA

Av. de la Cultura N° 733 Cusco, Telf. 51+84+604160- 51+84+604100-Apartado postal N° 921 Cusco- Perú

www.iea.unsaac.edu.pe/ Pabellón de Ciencias-UNSAAC

Telf. 051+084+226116 Cel. 051+984636400

e- *Carra*

OFICIO N°002-2018-IEA-UNSAAC-PC-RP

Cusco, 10 de Enero del 2018.

Sr.
Blgo. Roberto Carlos Rojas Céspedes
Jefe de Departamento del Medio Ambiente-MTW

Presente.-
De mi mayor consideración.-

Previo un cordial saludo, me dirijo a usted; a fin de dar respuesta al documento de referencia Oficio N° 043-2017-DMA-MTW/C, a través del cual, solicita información de monitoreo de calidad de Aire del Distrito de Wanchaq. Al respecto debemos manifestar que se ha evaluado su petición. Su pedido deviene en PROCEDENTE, para lo cual se le envía la información requerida sobre el estudio realizado en el frontis de la Municipalidad Distrital de Wanchaq, Provincia del Cusco. Las mediciones se realizaron desde el 26 de Diciembre del 2017 hasta el 02 de Enero del 2018 por parte del INSTITUTO DE ENERGÍA Y ATMOSFERA de la UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO.

Adjunto los resultados preliminares del estudio realizado sobre material particulado PM2.5 y PM10.

Atentamente,

Mg. Julio Warthon Ascarza
Responsable del proyecto de investigación
Profesor AS TC en el DAF-UNSAAC



**ANEXO N°16: CARACTERÍSTICAS GENERALES Y FACTORES
AGRAVANTES DE LOS VENDEDORES PARTICIPANTES EN EL ESTUDIO
DEL CENTRO HISTÓRICO DEL CUSCO**

CARACTERÍSTICAS	TOTAL DE ENCUESTADOS	
	N	%
Grado de instrucción	-	-
Primaria	27	27.27
Secundaria	46	46.46
Educación Superior	21	21.21
Ninguno	5	5.05
Género	-	-
Masculino	29	29.29
Femenino	70	70.71
Discapacidad	-	-
Si	3	3.03
No	96	96.96
Zona de trabajo	-	-
Sector A	-	-
CLAS Wanchaq- Plaza Limacpampa	21	21.21
Sector B	-	-
Plaza San Francisco	29	29.29
Sector C	-	-
Plaza Pumaqchupan Calle Ayacucho - Matara	49	49.49
Factores agravantes de la función pulmonar	-	-
Hábito de fumar	-	-
No fuma	91	91.92
Si fuma	8	8.08
Uso de leña	-	-
No usa	86	86.87
Si usa	13	13.13
Afecciones pulmonares	-	-
Asma	2	2.02
EPOC	3	3.03
Bronquitis crónica	10	10.10
Tuberculosis pulmonar	3	3.03
Cirugía pulmonar	2	2.02
Otros (tos, gripe, bronquitis aguda, faringitis)	34	34.34
TOTAL	99	100
		Media (±DS)
Edad	43 ± 16.34	
Horas de trabajo diario	10 ± 3.60	
Años de exposición	15 ± 13.18	

ANEXO N°17: ARCHIVO FOTOGRÁFICO



Foto N° 1 Toma de muestra de material particulado en CLAS Wanchaq



Foto N° 2 Toma de muestra de material particulado en Plaza San Francisco.



Foto N° 3 Medición de masa inicial antes del muestreo de material particulado menor a 10 μm



Foto N° 4 Medición de masa final después del muestreo de material particulado menor a 10 μm



Foto N° 5 Preparación de la muestra para análisis de sulfatos en material particulado



Foto N° 7 Elaboración de la curva de calibración de nitratos



Foto N° 6 Digestión de la muestra para análisis de nitratos en material particulado



Foto N° 8 Encuesta y llenado del consentimiento informado por los vendedores ambulantes expuestos en el Centro Histórico del Cusco.



Foto N° 9 Instrucciones para la prueba de espirometría, introducción de los datos y características antropométricas en el software.



Foto N° 10 Ejecución de la espirometría en vendedores ambulantes expuestos.



Foto N° 11 Sensibilización a la población de las consecuencias de la contaminación atmosférica en la salud



Foto N° 12 Sensibilización a la población de las consecuencias de la contaminación atmosférica en la salud