

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**SECCIÓN DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA QUÍMICA**

**MENCIÓN: INGENIERÍA EN GESTIÓN Y DESARROLLO DE RECURSOS NATURALES**



**EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA DE LA  
CIUDAD DE AYACUCHO CON ANHÍDRIDO SULFUROSO**

**T E S I S**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA QUÍMICA**

**MENCIÓN: INGENIERÍA EN GESTIÓN Y DESARROLLO DE RECURSOS NATURALES**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. ABEL NILO JUSCAMAYTA TOMASEVICH**

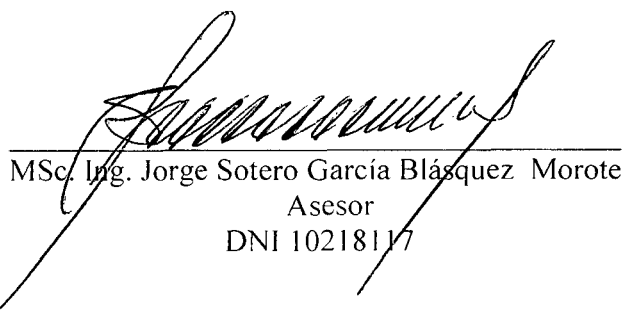
**AYACUCHO – PERÚ**

**2012**

## CONFORMIDAD

El suscrito MSc. Ing Jorge Sotero GARCIA BLASQUEZ MOROTE, asesor de la tesis "EVALUACION DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA DE LA CIUDAD DE AYACUCHO CON ANHIDRIDO SULFUROSO (SO<sub>2</sub>)" desarrollado por el Ing. Abel Nilo JUSCAMAYTA TOMASEVICH, habiendo asesorado el desarrollo del Trabajo de tesis y subsecuentemente revisado el contenido, da conformidad para el respectivo trámite a la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga para fines de sustentación.

Ayacucho, Julio de 2012



---

MSc. Ing. Jorge Sotero García Blásquez Morote  
Asesor  
DNI 10218117

*Dedico a:*

*Dios, por darme la oportunidad de vivir y, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo este periodo.*

*A mamá Leocadia (QEPD) y tía Blanca, por haberme querido y apoyado siempre para el logro de lo que soy.*

*A mi madre Viselka, por darme la vida, creer en mí, sus consejos, y ejemplo de perseverancia y constancia.*

*A mi esposa Socorro y mis hijas Dennís y Pamela, por estar siempre a mi lado, brindándome su amor, entrega, dedicación y paciencia siendo pieza clave en mi desarrollo profesional. Las quiero mucho.*

*Al hermoso retoño Joaquín, que es la continuación de la vida, para que comprenda esto como un ejemplo a seguir.*

## AGRADECIMIENTOS

Al finalizar un trabajo tan arduo y lleno de dificultades como el desarrollo de una tesis es inevitable sentir un egocentrismo que te lleva a concentrar la mayor parte del mérito en el aporte que has hecho, sin embargo, el análisis objetivo te muestra inmediatamente que la magnitud de ese aporte hubiese sido imposible sin la participación de personas e instituciones que han facilitado las cosas para que este trabajo llegue a un feliz término.

Por ello, es para mí un verdadero placer utilizar este espacio para ser justo y consecuente con ellas, expresándoles mis agradecimientos al alma mater la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga por atender mi desempeño estudiantil y profesional.

Mis agradecimientos a la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga por haberme brindado la oportunidad académica que hoy se corona con éxito con esta tesis.

Debo agradecer de manera especial y sincera al MSc. Jorge Sotero García Blásquez Morote por aceptarme a realizar esta tesis bajo su dirección. Su apoyo y confianza en mi trabajo y su capacidad para guiar mis ideas ha sido un aporte invaluable.

También mis agradecimientos al Dr. Joaquín Lombira Echevarría por la enseñanza, consejos y dirección profesional en temas consultados. Muchas gracias Dr. Lombira.

Agradezco a la Mg. Alcira Córdova, MSc. Cipriano Mendoza, MCs. Raúl Véliz, Dr. Ybar Palomino, colegas de trabajo en la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, que de una forma u otra instaron en la conclusión de este trabajo de tesis.

## ÍNDICE

Capítulo I	1
1 Presentación y Generalidades	1
1.1 Introducción	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo General	2
1.2.2 Objetivos Específicos	3
1.3 Justificación	3
1.4 Contaminación Ambiental	4
1.4.1 Fuentes de contaminación y efectos en la salud	5
1.5. Política Ambiental	11
1.5.1 Biósfera	14
1.5.2 Efecto Invernadero	15
1.5.3 Legislación Ambiental	18
1.5.3.1 Sistema Regional de Gestión Ambiental	18
1.5.3.2 Dispositivos legales nacionales, regionales – municipales, externas	19
1.5.4 Instituciones ambientalistas	21
1.6. Gases de Combustión	21
1.6.1 Antecedente contaminante del anhídrido sulfuroso (SO <sub>2</sub> )	21
Capítulo II	29
2 Revisión Bibliográfica	29
2.1 Propiedades físico-químicas del anhídrido sulfuroso (SO <sub>2</sub> )	29
2.1.1 Estado de oxidación del azufre	29
2.1.2 Anhídrido sulfuroso y el ácido sulfuroso	29
2.1.3 Trióxido de Azufre	32
2.1.4 Emisiones naturales y humanas del SO <sub>2</sub>	33
2.1.5 Reacciones del SO <sub>2</sub> en el Agua	34
2.2 Contaminantes peligrosos del aire (CPA)	34
2.3 Generación de anhídrido sulfuroso	36
2.3.1 Anhídrido sulfuroso (SO <sub>2</sub> )	36
2.4 Grado de presencia de anhídrido sulfuroso (SO <sub>2</sub> ) en la atmósfera	37
2.5 Ecología y Meteorología de la Región Ayacuchana	39
2.5.1 Ecosistema	39
2.5.2 Funcionamiento del ecosistema	40
2.5.3 Estudio del ecosistema	41
2.5.4 Situación actual de la ciudad de Ayacucho	42
Capítulo III	45
3 Parque Automotor y Diagnóstico Industrial de Ayacucho	45
3.1 Vehículos	45
3.1.1 Población distrital de Ayacucho	48
3.2 Combustibles utilizados	50
3.3 Estadística Industrial de Ayacucho	51
3.3.1 Actividad agrícola	52
3.3.2 Actividad minera	54
3.3.3 Actividad de pesca	55

3.3.4	Negocios y movimiento turístico	56
3.3.5	Actividad financiera	58
3.3.6	Estructura productiva de Ayacucho	60
3.4	Proyección Industrial de Ayacucho	61
3.4.1	En Agricultura	63
3.4.2	En Pesquería	64
3.4.3	Producción Minera	65
3.4.4	Actividad Manufacturera	65
Capítulo IV		67
4	Zonas de Muestreo de Anhídrido Sulfuroso	67
4.1	Sistema de Muestreo	67
4.1.1	Estaciones de Muestreo	68
4.2	Zonas de Muestreo	69
4.2.1	Muestreo y Análisis del Aire	69
4.3	Ubicación de las Estaciones de Muestreo	72
4.3.1	Dirección y velocidad del viento	72
4.3.2	Localización de las Estaciones de Muestreo	80
Capítulo V		81
5	Procesamiento analítico de muestras de anhídrido sulfuroso recolectados	81
5.1	Monitoreo de Anhídrido Sulfuroso en el aire contaminado de Ayacucho utilizando Bujías Reactivas de Peróxido de Plomo	81
5.2	Procedimiento Experimental	85
5.2.1	Preparación de la Bujía de Peróxido de Plomo	85
5.2.2	Colocación y retiro de bujías	86
5.2.3	Tratamiento químico de las bujías después de la exposición	88
5.2.4	El Método espectrofotométrico	89
5.2.5	Preparación de soluciones para determinar la curva de calibración	90
5.3	Resultados experimentales	91
5.4	Análisis y Discusión de Resultados	97
Capítulo VI		102
6	Corrección de valores de Índice de Sulfatación	102
6.1	Determinación del factor de correlación	102
6.2	Factor de Correlación	104
6.3	Valores del índice de sulfatación y concentración corregidas	105
6.4	Control y mitigación de la contaminación con anhídrido sulfuroso, SO <sub>2</sub>	107
Conclusiones		110
Recomendaciones		114
Referencia Bibliográfica		116
Anexo I	Leyes sobre la Conservación del Medio Ambiente	118
Anexo II	Antecedentes de monitoreo en Argentina, Santa Fe	125
Anexo III	Métodos Químicos para medir el SO <sub>2</sub>	127
Anexo IV	Panel de fotografías	136

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.4.1a Estimación de las emisiones del parque automotor de Lima-Callao Año: 2009	7
Tabla 1.4.1b Aspectos ambientales del parque automotor de Lima-Callao Año: 2009	8
Tabla 1.4.2 Índice de la calidad del aire - advertencias sobre contaminantes Específicos	10
Tabla 1.5.1 Niveles máximos y mínimos de azufre en el combustible diesel, en América Latina, en partes por millón (ppm)	13
Tabla 1.5.2 Sinopsis sobre el Estado del Ambiente	14
Tabla 1.6.1. Estación Callao, Promedio Anual (2000 – 2007)	22
Tabla 1.6.2. Estación Lima Sur, Promedio Anual (2000 – 2007)	22
Tabla 1.6.3. Estación Lima Norte, Promedio Anual (2000 – 2007)	22
Tabla 1.6.4. Estación Lima Este, Promedio Anual (2000 – 2007)	23
Tabla 1.6.5. Estación Lima Centro, Promedio Anual (2000 – 2007)	23
Tabla 1.6.6 Concentración de dióxido de azufre, según punto de monitoreo, 2001-2010 – Minería ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	24
Tabla 1.6.7 Emisión de óxido de azufre, según fuente energética, 1994-2009	26
Tabla 1.6.8. Consumo de combustibles tradicionales en el sector transporte Perú (TJ)*, 1994-2009	27
Tabla 1.6.9 Perfil de emisión por tipo de combustible – (Kg/Km de operación)	28
Tabla 2.1.1 Contaminantes del aire con contenido de azufre	33
Tabla 2.4.1 Composición del aire limpio y seco	38
Tabla 2.4.2 Clasificación de contaminantes según fuentes de emisión	38
Tabla 2.5.1 Coliformes Fecales (CF) [NMP/100 ml.] de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) “La Tatora”, 2005 – 2010	43
Tabla 3.1.1 Parque automotor y transporte de pasajeros estimado, cantidad de placas asignadas en el departamento de Ayacucho (2004-2010)	46
Tabla 3.1.2 Proyección del parque automotor del departamento de Ayacucho al año 2011	46
Tabla 3.1.4 Población de la Provincia de Huamanga y sus Distritos, según sexo	49
Tabla 3.2.1 Tipos de combustible que se usa en los hogares, respecto al total de viviendas en el departamento de Ayacucho	50
Tabla 3.2.2 Tipos de combustible que se usa en los hogares, respecto al total de viviendas, según provincia del Departamento de Ayacucho	51
Tabla 3.3.1 Evolución de la producción de tuna durante los años 2000 al 2009	53
Tabla 3.3.2 Producción de principales cultivos agrícolas durante los años 2000 - 2009 (toneladas)	53
Tabla 3.3.3 Población pecuaria, según especie (2000 – 2009)	54
Tabla 3.3.4 Exportación de cochinilla y carmín de cochinilla (1992 – 2008)	54
Tabla 3.3.5 Producción minera de principales metales, según principales Metales	55
Tabla 3.3.6 Producción y precio de truchas	56
Tabla 3.3.7 Capacidad instalada de hospedaje, agencia de viaje, restaurantes, discotecas y peñas (2000 – 2009)	57
Tabla 3.3.8 Flujo turístico nacional y extranjero en los establecimientos de hospedaje, según modalidad (2000 – 2009)	58

Tabla 3.3.9 Créditos directos y depósitos de la banca múltiple (miles de soles)	59
Tabla 3.3.10 Estructura Porcentual de la Población Económicamente Activa (PEA) y Producto Bruto Interno (PBI) por Actividad – Región Ayacucho	60
Tabla 3.4.1 Gobierno Regional de Ayacucho: Gastos según naturaleza y unidad ejecutora (miles de nuevos soles)	62
Tabla 3.4.2 Gobierno Regional de Ayacucho: Programa de Inversiones (miles de nuevos soles)	63
Tabla 3.4.3 Producción de principales cultivos sector agrario – Ayacucho	64
Tabla 3.4.4 Medianas y Pequeñas Empresas por Actividad – Ayacucho	66
Tabla 4.2.1 Métodos de medición y análisis de contaminantes del aire	71
Tabla 4.3.1 Dirección y velocidad, promedio mensual del viento, según departamento (m/s)	73
Tabla 4.3.2 Dirección y velocidad, promedio anual del viento, según departamento, 1998-2010	74
Tabla 4.3.3 Datos de velocidad y dirección del viento – enero 2005	75
Tabla 4.3.4 Datos de velocidad y dirección del viento – abril 2005	75
Tabla 4.3.5 Datos de velocidad y dirección del viento – julio 2005	76
Tabla 4.3.6 Datos de velocidad y dirección del viento – octubre 2005	76
Tabla 4.3.7 Datos de velocidad y dirección del viento – enero 2010	77
Tabla 4.3.8 Datos de velocidad y dirección del viento – mayo 2010	77
Tabla 4.3.9 Datos de velocidad y dirección del viento – setiembre 2010	78
Tabla 4.3.10 Datos de velocidad y dirección del viento – diciembre 2010	79
Tabla 5.3.1 Datos Meteorológicos Promedios de Ayacucho	92
Tabla 5.3.2 Valores de transmitancia calculados para las primeras 4 muestras de las estaciones	92
Tabla 5.3.3 Valores de absorbancia registrados en las suspensiones coloidales obtenidas de las bujías	93
Tabla 5.3.4 Valores y promedios de absorbancia y concentración para la curva de calibración	94
Tabla 5.3.5 Índice de sulfatación en soluciones de muestras problemas	96
Tabla 6.3.1 Concentración de anhídrido sulfuroso, SO <sub>2</sub> . (Fc=0.29214)	105
Tabla 6.3.2 Concentración máxima permisible de SO <sub>2</sub> en el aire de algunos países	107



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.4.1 Formas de contaminación del aire	9
Figura 1.4.2 Contaminantes emitidos en la cuenca atmosférica de Arequipa, (Plan a Limpiar el Aire, Arequipa, 2005)	10
Figura 1.4.3 Emisiones en la cuenca atmosférica de Arequipa, (Plan a Limpiar el Aire, Arequipa, 2005)	11
Figura 1.5.3 Variación de la temperatura global y de la concentración de dióxido de carbono presente en el aire de la tierra en los últimos 1205 años	16
Figura 1.6.1 Concentración de dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ) en la Estación Sindicato de Obreros - La Oroya, 2000-2010	25
Figura 2.3.1 Emisión de anhídrido sulfuroso (SO <sub>2</sub> ) en plantas térmicas	37
Figura 3.1.1 Parque vehicular de Ayacucho	47
Figura 3.1.2 Proyección del Parque Automotor en Ayacucho	47
Figura 3.1.3 Población Distrital – Ayacucho	48
Figura 3.4.1 Establecimientos censados, según actividad económica – 2008	66
Figura 4.1.1 Ubicación de las Estaciones de Monitoreo de Anhídrido Sulfuroso, SO <sub>2</sub> , en Ayacucho	69
Figura 4.3.1 Dirección de vientos en la ciudad de Ayacucho	80
Figura 5.2.1 Bujía reactiva de peróxido de plomo	86
Figura 5.2.2 Bujía reactiva de PbO <sub>2</sub> expuesta al aire	86
Figura 5.2.3 Caseta con bujía reactiva de peróxido de plomo, para su exposición al aire	87
Figura 5.2.4 Bujías removidas luego de ser expuestas al aire (nótese la diferencia de tonalidad en el color). El tono más oscuro tuvo poca sulfatación y el más claro mayor sulfatación	89
Figura 5.3.1a Curva de Calibración	95
Figura 5.3.1b Curva de Calibración con ecuación de ajuste y ejes invertidos	95
Figura 6.2.1 Pantalla de ejecución del programa y la forma de alimentar datos	104
Figura 6.3.1 Nivel de Contaminación de Estaciones con SO <sub>2</sub>	106
Figura 6.3.2 Comportamiento y Media de Anhídrido Sulfuroso, SO <sub>2</sub>	106

## RESUMEN

La contaminación atmosférica afecta a millones de personas en el mundo, especialmente a aquellas que viven en los grandes núcleos urbanos y en áreas fuertemente industrializadas, con denso tráfico de vehículos. Las emanaciones de polvos y gases corrosivos deterioran el ambiente originando olores desagradables, pérdida de visibilidad y daños a la salud humana, causando alergias y enfermedades pulmonares crónicas. Los más vulnerables son los niños y ancianos que viven constantemente bombardeados por contaminantes, como el anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>).

La evaluación de la contaminación atmosférica de la ciudad de Ayacucho con anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>), se realizó mediante el método de las bujías reactivas de peróxido de plomo ubicándose las bujías reactivas en diferentes lugares de la ciudad (Figura 4.1.1). Después de un tiempo de exposición de las bujías al aire, se analizó en el laboratorio la concentración de anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>).

La ubicación topográfica de la ciudad de Ayacucho hace posible que la concentración de anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>) se diluya en la atmósfera por el movimiento del viento de sur a norte (Tabla 4.3.1 y 4.3.2).

Utilizando un factor de correlación calculado (0.29214) para las condiciones ambientales de Ayacucho, se determinó la concentración del anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>) en la atmósfera de la ciudad de Ayacucho (0.003430457 ppm), valor debajo del estándar, 0.062015503 ppm (equivalente a 80 µg SO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> de aire).

Hace algunos años, el cielo de la ciudad de Ayacucho se cubre de un manto denso en horas de la mañana, indicando la existencia de una contaminación atmosférica creciente debido al smog por la presencia de vapores y otros gases.

**Palabra Clave:** Anhídrido sulfuroso, contaminación del aire, vientos.

## SUMMARY

The atmospheric contamination affects to millions of people in the world, especially to those which live in the big urban nucleus and in areas strongly industrialized with dense traffic of vehicles. The emission of powders and toxic gases deteriorates the environment giving place to unpleasant scents, lost of visibility and generating problems to human health, causing allergies and chronic pulmonary illness. The most vulnerable group are the children and old men who live constantly bombarded by polluting, like the sulphurous anhydride. The atmospheric contamination of Ayacucho city with sulphurous anhydride was realized using lead peroxides reactivates plugs, which were the method of located the plugs in different points of the city (Figure 4.1.1). Then after exposition of those reactive plugs at the atmospheric air were analyzed in the laboratory for determining sulphurous anhydride concentration. The topographical location of Ayacucho makes possible dilution of concentration of sulphurous anhydride in the atmospheric air due to wind flow from south to north point (Table 4.3.1 4.3.2). Using the correlation factor calculated (0.29214) for *Ayacucho environmental conditions*, it was determined the sulphurous anhydride (SO<sub>2</sub>) concentration in the atmosphere of Ayacucho It was of 0.003430457 ppm data below the standard value of 0.062015503 ppm (equivalent to 80 µg SO<sub>2</sub> /m<sup>3</sup> of air).

Since years ago the sky of Ayacucho city is covered early in the morning of a dense mantle of vapors and gases indicating the presence of a growing atmospheric contamination.

**Keyword:** Sulphurous anhydride, air contamination, wind

## **CAPÍTULO I**

### **1 PRESENTACIÓN Y GENERALIDADES**

#### **1.1 INTRODUCCIÓN**

La contaminación del aire en las grandes ciudades es consecuencia de los gases generados por los motores de combustión, aparatos domésticos de calefacción, las industrias, entre otras, que los liberan en la atmósfera, ya sea como gases, vapores o partículas sólidas capaces de mantenerse en suspensión, y que perjudican la salud y la vida de los seres humanos como las de los animales y plantas, de igual modo al ambiente inerte como en estructuras, monumentos y otros.

El aumento de anhídrido carbónico en la atmósfera está relacionado con los gases de combustión de carbón y petróleo, originando el calentamiento del aire y de los mares, produciéndose un desequilibrio químico en la biosfera y generando gran cantidad de monóxido de carbono, sumamente tóxico para los seres vivos.

La contaminación atmosférica se genera fundamentalmente de la contaminación de origen industrial por los gases de combustión que se liberan al ambiente; y los principales contribuyentes son las plantas termoeléctricas y el parque automotor. Igualmente existen factores contaminantes tóxicos tales como los metales plomo y mercurio entre otros.

El aire contaminado afecta diariamente a las personas manifestándose en signos de irritación de ojos y trastornos en las membranas conjuntivas, irritación en las vías respiratorias, agravación de enfermedades bronco-pulmonares, asimismo a los animales, plantas y construcciones por la presencia del SO<sub>2</sub> que genera “lluvia ácida”.

Existen acciones e implementación de medidas para minimizar la contaminación del aire, como el uso de combustible adecuado para la calefacción doméstica e industrial, uso de chimeneas con tirajes o filtros en condiciones de cumplir sus funciones, mantenimiento de los vehículos motorizados en buenas condiciones, no quemar hojas o basuras.

El Club de Roma señaló los límites del crecimiento<sup>1</sup> desenfrenado en los países industrializados, por su consumo excesivo de recursos y una peligrosa contaminación del medio ambiente, lo que pone en peligro la posibilidad de un desarrollo sustentable en el planeta.

## **1.2 OBJETIVOS**

El control de la contaminación atmosférica en la ciudad de Ayacucho, no podía estar desvinculada del contexto general. Parte de la identificación de una problemática integral mundial, sobre los factores de desarrollo e interacción de los aspectos de capital, movimiento y población, cuyos efectos a partir de las últimas décadas han venido incidiendo seriamente en las condiciones mínimas requeridas para el óptimo ejercicio de sus actividades productivas, comerciales y de traslado, condicionando la producción de componentes nocivos y tóxicos para la salud de los pobladores, y las generaciones venideras. El presente trabajo de investigación consistió principalmente en la evaluación de la contaminación del aire atmosférico en la ciudad de Ayacucho con anhídrido sulfuroso, SO<sub>2</sub>.

### **1.2.1 Objetivo General**

Evaluar la contaminación atmosférica con anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>) de la ciudad de Ayacucho.

---

<sup>1</sup> *Los límites al crecimiento* (*The Limits to Growth*) Informe encargado al Instituto Tecnológico de Massachussets ( MIT) por el Club de Roma que fue publicado en 1972, poco antes de la primera crisis del petróleo. La autora principal del informe fue Donella Meadows, biofísica y científica ambiental, especializada en dinámica de sistemas.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Determinar las fuentes críticas de emisión de contaminantes atmosféricos gaseosos, específicamente anhídrido sulfuroso, SO<sub>2</sub>, en Ayacucho.

Desarrollar una técnica para la medición cuantitativa del anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>) en el medio atmosférico de la ciudad de Ayacucho.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

#### **a) Ambiental**

La ciudad de Ayacucho, se encuentra diariamente sometida a diferentes contaminantes atmosféricos en desmedro de la calidad del aire y consecuentemente de la salud de sus habitantes.

Evaluar las fuentes críticas de emisión de contaminantes atmosféricos gaseosos, como el anhídrido sulfuroso, SO<sub>2</sub>, para conocer el nivel de contaminación y proponer una metodología preventiva y correctiva en cuanto a estos contaminantes y evitar efectos y daños en la salud de la población ayacuchana.

#### **b) Jurídica**

No obstante, de contar con la Ley General del Ambiente N° 28611 y Normas Conexas (ANEXO I), del 15 de setiembre de 2005, y existiendo una Comisión de Medio Ambiente en el Congreso de la República y Organismos como el Consejo Nacional del Ambiente (CONAM), Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA), Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), entre otras, mediante las cuales se busca la aplicación eficiente y efectiva de las normas en la prevención y conservación del medio ambiente, contando con la participación efectiva del Ministerio del Ambiente, es necesario contar con un marco institucional participativo y concertado de todos los sectores para implementar las políticas y estrategias de gestión de la calidad del aire en la jurisdicción de Ayacucho, en mérito a las normas vigentes.

### **c) Tecnológica**

**Institucional:** La limitada experiencia en el país sobre la gestión atmosférica, ha derivado en el comportamiento discrecional de sus habitantes y sectores sobre temas de contaminación ambiental, motivando conflictos intersectoriales.

**Técnica:** Las emisiones de gases del parque automotor y de la pequeña industria, de las lagunas de oxidación de la planta de tratamiento de aguas residuales “La Totorá”, los desechos urbanos, generan entre sus componentes de combustión o de fermentación, gases que contaminan el medio ambiente.

**Cuantificar** la cantidad de anhídrido sulfuroso, SO<sub>2</sub>, en la atmósfera de Ayacucho, utilizando métodos químicos analíticos adecuados.

### **d) Social**

La participación ciudadana en el proceso de mitigación de la contaminación atmosférica de la ciudad de Ayacucho, es determinante para garantizar el efecto multiplicador de las acciones de control atmosférico y ambiental.

Diseñar e implementar un programa comunicativo y de educación ambiental que propicie la participación ciudadana en la detección y control de la problemática ambiental

## **1.4 CONTAMINACIÓN AMBIENTAL**

La determinación e implementación de un programa sistemático de control de la contaminación atmosférica es un proceso lento, difícil, de costos relativamente altos, de definición política y administrativa de instrumentos nacionales como locales, y cuyos resultados no pueden ser preestablecidos con certeza, toda vez que la aplicación de las medidas técnicas y normativas deben ser homologadas a la voluntad popular y de los sectores institucionales de la sociedad involucrada.

Las experiencias resultantes, sobre contaminación ambiental, del esfuerzo global en éste campo han expuesto algunas condiciones mínimas requeridas para orientar el control de la calidad del aire, los que incluyen:

- El inventario exhaustivo de las fuentes de emisión de contaminantes,
- El estudio de antecedentes meteorológicos y geográficos del ámbito en estudio,
- El conocimiento de los efectos de los diferentes contaminantes sobre la salud humana,
- La estructuración de metodologías de control apropiadas, e implementación de tecnologías adecuadas en sus costos para la región, y
- El compromiso del gobierno local y nacional, población e instituciones internacionales comprometidas en el proceso.

En la medida en que estos requisitos sean incorporados en la planificación y gestión de la calidad ambiental, o estimados con precisión satisfactoria, será posible consolidar un programa de control ambiental adecuado.

#### **1.4.1 Fuentes de contaminación y efectos en la salud**

*[“El smog que respiramos todos los días”]*

Junto con el desarrollo de las economías mundiales, las nuevas tecnologías y los avances en variados aspectos que mejoran nuestra calidad de vida - también aparece el punto negro que se relaciona con todos estos fenómenos en las grandes ciudades - la contaminación ambiental (particularmente del aire) a ello se suman condiciones urbanas y topográficas propias de cada zona, que junto con factores meteorológicos han incidido en los altos índices de contaminación atmosférica registrados en los últimos años.

En la ciudad de Ayacucho se puede apreciar el smog a tempranas horas del día siendo más notorio en la época de los meses de verano.



## **Factores que inciden en la contaminación:**

### **Actividad industrial y parque automotor**

El aumento del consumo de combustibles fósiles por la industria, la concentración de la población en áreas urbanas, la continua y acelerada deforestación de bosques y tierras y el advenimiento de vehículos con motor de combustión han empeorado el problema de contaminación ambiental. Pero, sin lugar a dudas, los motores de gasolina y diesel han sido y serán los principales agentes contaminadores del aire, considerando que la emisión de CO<sub>2</sub> de un motor de gasolina es menor a la de un motor diesel (igualmente menos óxidos de nitrógeno, partículas y azufre, que son fáciles de controlar con filtros de partículas). Por cada litro de combustible quemado, un motor diesel genera aproximadamente 2.65 kg de CO<sub>2</sub>; y un motor de gasolina genera 2.37 kg de CO<sub>2</sub>. Sin embargo el rendimiento y consumo de combustible es lo contrario a sus emisiones.

La creciente actividad económica e incremento del parque automotriz que experimentó la región Ayacucho durante los últimos años tuvieron sus costos, se produjeron niveles de emisión de contaminantes en el entorno a los procesos de combustión usados principalmente por los vehículos motorizados, de hecho sea, en mal estado, por las pequeñas industrias y otros. Los planes de prevención y descontaminación recién están en la etapa inicial de su aplicación, como la implementación de la Fiscalía del Ambiente, y otros que contribuirán en el control y subsecuentemente la mitigación de la contaminación ambiental.

### **Población**

La evolución de la población y el crecimiento poblacional son consecuencia de varios factores interrelacionados. La alimentación, la generalización de la higiene, la sanidad, la difusión de medicamentos y en general el desarrollo de la tecnología han sido decisivos para el fuerte crecimiento de la población mundial que ha

pasado de los casi mil millones en el año 1800 a más de seis mil millones en el año 2000 y aproximadamente siete mil millones a finales de 2011<sup>2</sup>

El crecimiento poblacional ha producido una expansión horizontal de la ciudad de Ayacucho, principalmente hacia la periferia este, sur y noreste. Se plasmó una extremada segregación socio-espacial y funcional, que obliga a la población a desplazarse kilómetros de distancia al día. Ello, en conjunto con problemas estructurales de la ciudad y de la insuficiencia en el servicio de transporte, genera congestión vehicular que, a su vez, contribuye a aumentar los índices de contaminación atmosférica.

### Transporte urbano

En la sección 3, Parque Automotor y Diagnóstico Industrial de Ayacucho del Capítulo III, se presenta el tratamiento más detallado sobre el transporte urbano en Ayacucho, como son el parque automotor (Tabla 3.1.1.) y proyección al año 2012 (Figura 3.1.2.). Indicándose en el Plan de Desarrollo Institucional de la Municipalidad Provincial de Huamanga una saturación de más de 5500 unidades vehiculares para el año 2010, la adición de 1030 mototaxis formalmente inscritos en la SUNARP y otras 1000 mototaxis informales, condicionan un parque automotor caótico y altamente contaminante.

Tabla 1.4.1 a: Estimación de las emisiones del parque automotor de Lima-Callao  
Año: 2009

CATEGORÍA	PORCENTAJE DE EMISIÓN					
	PTS(*)	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	Plomo	COV(*)
Automóviles y station wagon	5	4	6	13	31	21
Taxis y moto - taxis	16	12	21	68	51	46
Pick up, rural y panel	21	19	11	13	16	16
Camionetas, buses y remolcadores	58	65	62	6	2	17
Emisiones (toneladas/año)	6,205	11,261	70,501	329,814	203	72,512

Fuente: Diagnóstico de las emisiones del parque automotor del área metropolitana de Lima y Callao – XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2009.  
<http://www.cepis.ops-oms.org/bvsaidis/impactos/vi-105.pdf>  
 (\*) PTS: Partículas sólidas totales, COV: Compuestos orgánicos volátiles

<sup>2</sup> [http://www.elpais.com/articulo/sociedad/ciudadano/7000/millones/elpepisoc/20110926elpepisoc\\_1/Tes](http://www.elpais.com/articulo/sociedad/ciudadano/7000/millones/elpepisoc/20110926elpepisoc_1/Tes)

Tabla 1.4.1.b: Aspectos ambientales del parque automotor de Lima-Callao  
Año: 2009

<b>ASPECTO AMBIENTAL</b>	<b>IMPACTO AMBIENTAL</b>
Consumo de combustible	Consumo de recurso no renovable
Emisiones de CO <sub>2</sub>	Cambio climático – Efecto Invernadero Contaminación del suelo (lluvia ácida)
Emisiones de NO <sub>x</sub>	Contaminación del suelo (lluvia ácida)
Emisiones de SO <sub>2</sub>	Contaminación del suelo (lluvia ácida)
Emisión de partículas en suspensión	Contaminación del aire y del suelo
Ruidos de motor	Contaminación sonora
Llantas usadas	Generación de residuos sólidos
Partes usadas	Generación de residuos sólidos
Consumo de lubricantes	Generación de residuos

Fuente: Diagnóstico de las emisiones del parque automotor del área metropolitana de Lima y Callao – XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2009.

La dispersión de contaminantes de una fuente depende de la cantidad de turbulencia en la atmósfera cercana. La turbulencia puede ser creada por el movimiento horizontal y vertical de la atmósfera. El movimiento horizontal o viento, cuya velocidad puede afectar en gran medida la concentración de contaminantes en un área. Mientras mayor sea la velocidad del viento, menor será la concentración de contaminantes. El viento diluye y dispersa rápidamente los contaminantes en el área circundante.

De la información presentada en la Tabla 1.4.1.a, se infiere que el transporte público (buses, automóviles, mototaxis, otras unidades) es factor contaminante del aire en Lima y Callao. En este sentido, la implementación de vías exclusivas para microbuses reduciría considerablemente embotellamientos, disminuyendo la emisión de contaminantes.

Por tanto el transporte continúa siendo el sector más contaminante y con impactos ambientales tal como se señala en la Tabla 1.4.1b.

Los principales problemas del transporte lo constituyen el número desmedido de vehículos, la concentración horaria y espacial de los viajes, las malas condiciones técnicas y mecánicas de vehículos, y la mala calidad del servicio de transporte público y el fenómeno “mototaxi”. En la región Ayacucho posiblemente no hubo el suficiente interés en preocuparse por la conservación del medio ambiente por lo que no se tiene mediciones de los contaminantes atmosféricos.

## Geografía y meteorología

Otro factor importante a considerar, es la condición geográfica y climática de la topografía de la ciudad de Ayacucho. Se ve afectada por una incipiente **inversión térmica** que actúa impidiendo que el aire de la cuenca se renueve con la frecuencia necesaria. En el período otoño - invierno las características climáticas de la cuenca presenta en general, condiciones desfavorables para la dispersión de contaminantes, las que están potenciadas por su topografía. Así, los cerros que rodean la planicie central imponen fuertes restricciones a la circulación de los vientos, y, por ende, a la renovación del aire al interior de la cuenca.

## Efectos de la contaminación

Un dramático ejemplo de estos efectos fue lo ocurrido en 1952 en Gran Bretaña<sup>3</sup>, donde el smog que cubría la ciudad mató casi 4000 personas en apenas dos semanas debido a un episodio crítico de contaminación, provocado por la combinación de una densa niebla y una baja capa de **inversión térmica** que impidió la normal dispersión de los contaminantes.



a) Planta generadora de Nuevo México emitiendo SO<sub>2</sub> y otros contaminantes.



b) Contaminación atmosférica severa en China, vista aérea



c) Smog en una ciudad industrial



d) Contaminación del aire por mala combustión

Figura 1.4.1 Formas de contaminación del aire

<sup>3</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Great\\_Smog\\_of\\_1952](http://en.wikipedia.org/wiki/Great_Smog_of_1952); <http://unabrevehistoria.blogspot.com/2008/07/el-gran-smog-de-londres-de-1952.html>

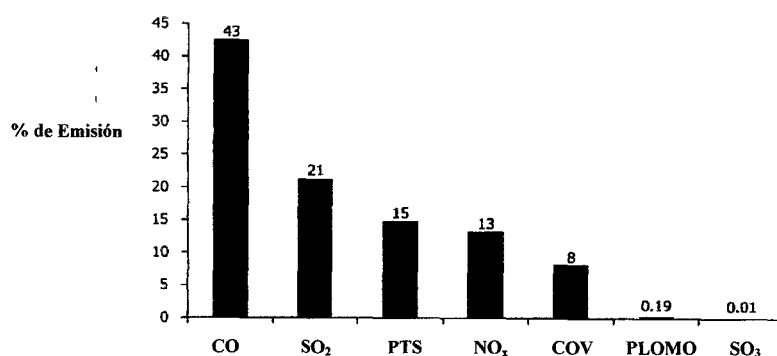


Figura 1.4.2: Contaminantes emitidos en la cuenca atmosférica de Arequipa, (Plan a Limpiar el Aire, Arequipa, 2005).

Tabla 1.4.2 Índice de la calidad del aire - advertencias sobre contaminantes específicos

Categoría de Salud	Ozono	Partículas Muy Pequeñas (PM2.5)	Partículas Pequeñas (PM10)	Monóxido de Carbono (CO)
<b>MUY PELIGROSO (201 a 300)</b>	Niños y adultos activos y personas con males respiratorios como el asma deben evitar todo esfuerzo al aire libre (participación en deportes difíciles o ejercicio); los demás, particularmente los niños, deben limitar el esfuerzo al aire libre.	Las personas con males respiratorios y cardíacos, los ancianos y los niños deben evitar toda actividad al aire libre; los demás deben evitar todo esfuerzo prolongado.	Las personas con males respiratorios, como el asma, deben evitar el esfuerzo al aire libre; los demás, en especial los ancianos y los niños, deben limitar el esfuerzo al aire libre.	Las personas que sufren enfermedades cardiovasculares, como la angina de pecho, deben evitar esfuerzos y las fuentes emisoras de CO, como el tráfico pesado.
<b>PELIGROSO (151 a 200)</b>	Niños y adultos activos y personas con males respiratorios como el asma deben evitar los esfuerzos prolongados al aire libre; los demás, como los niños, deben limitar el esfuerzo prolongado al aire libre.	Las personas con males respiratorios y cardíacos, los ancianos y los niños deben evitar los esfuerzos prolongados; los demás deben limitar el esfuerzo prolongado.	Las personas con males respiratorios, como el asma, deben evitar el esfuerzo al aire libre; los demás, en especial los ancianos y los niños, deben limitar el esfuerzo al aire libre.	Las personas que sufren enfermedades cardiovasculares, como la angina de pecho, deben limitar los esfuerzos moderados y evitar el tráfico pesado.
<b>PELIGROSO PARA GRUPOS SENSIBLES (101 a 150)</b>	Niños y adultos activos y personas con males respiratorios como el asma deben limitar el esfuerzo prolongado al aire libre.	Las personas con males respiratorios y cardíacos, los ancianos y los niños deben limitar el esfuerzo prolongado.	Las personas con males respiratorios, como el asma, deben evitar el esfuerzo al aire libre.	Las personas que sufren enfermedades cardiovasculares, como la angina de pecho, deben limitar los esfuerzos intensos y evitar el tráfico pesado.
<b>MODERADO (51 a 100)</b>	Las personas inusualmente sensibles deben considerar limitar el esfuerzo prolongado al aire libre.	Ninguno	Ninguno	Ninguno
<b>ACEPTABLE (0 a 50)</b>	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno

Fuente: [http://www.aqmd.gov/forstudents/aqi\\_espanol.html](http://www.aqmd.gov/forstudents/aqi_espanol.html) (2004)

En el caso de las partículas sólidas totales (PTS), éstas son generadas por las fuentes estacionarias del sector industrial (por emisiones fugitivas, por falta de implementación de equipos de control ambiental en las etapas de proceso y empleo de tecnologías antiguas, entre otras).

Cabe precisar, la existencia de empresas con sistemas de gestión ambiental voluntarios. Siendo el sector transporte responsable de la emisión de gases, tales como  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_2$

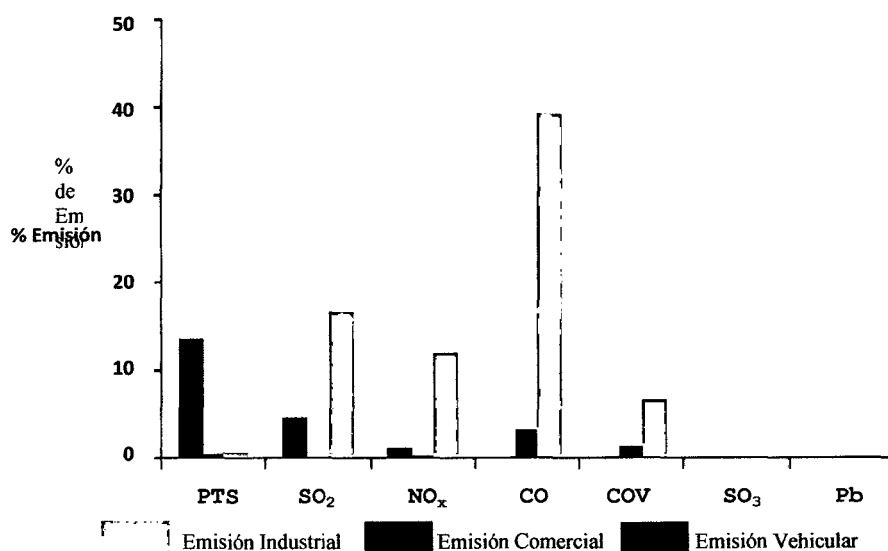


Figura 1.4.3: Emisiones en la cuenca atmosférica de Arequipa, (Plan a Limpiar el Aire, Arequipa, 2005).

## 1.5. POLÍTICA AMBIENTAL

*[“Menos azufre, cero plomo”]*

El Consejo Nacional del Ambiente, entiende el desarrollo sostenible, como un proceso de mejoramiento sostenido y equitativo de la calidad de vida de las personas, fundado en medidas apropiadas de conservación y protección ambiental, de modo de no sobrepasar su capacidad de recuperación ni de absorción de desechos.

a) Fundamentos de la política ambiental:

- Integración de las políticas económicas, sociales y culturales
- Mejora de la calidad de vida, preferentemente con énfasis en la población más vulnerable del país
- Superación de la pobreza
- Promoción de la institucionalidad de la gestión ambiental pública y privada que facilite el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, la diversidad biológica, la protección ambiental y el desarrollo de centros poblados y ciudades sostenibles

b) Objetivos:

- Fortalecer la institucionalidad de la gestión ambiental, optimizando la coordinación entre la autoridad ambiental nacional, las sectoriales, y los diversos niveles de gestión descentralizada, articulando políticas y programas ambientales de los sectores productivos y sociales, en el marco de un sistema nacional de gestión ambiental;
- Promover la participación responsable e informada del sector privado y de la sociedad civil en la toma de decisiones ambientales y el fomento de una mayor conciencia ambiental;
- Estimular la inversión ambiental y la transferencia de tecnología para la generación de actividades industriales, transporte y energías más.
- Promover y evaluar permanentemente el uso eficiente, la preservación y conservación del aire, evitando externalidades ambientales negativas.

c). Lineamientos (D.S. 022-2001-PCM):

- Mejora continua de la calidad de los combustibles.

- Ley 28054 de Promoción del Uso de Biocombustibles: promover el desarrollo del mercado de los biocombustibles sobre la base de la libre competencia y el libre acceso a la actividad económica, con el objeto de diversificar el mercado de combustibles, fomentar el desarrollo agropecuario y agroindustrial, generar empleo, disminuir la contaminación ambiental y ofrecer un mercado alternativo en la lucha contra las drogas.
- Ley 27133 (1999) referida a la Promoción del Desarrollo de la Industria del Gas Natural tiene por objeto “establecer las condiciones específicas para la promoción del desarrollo de la industria del gas natural, fomentando la competencia y propiciando la diversificación de las fuentes energéticas que incrementen la confiabilidad en el suministro de energía y la competitividad del aparato productivo del país”.

La política ambiental peruana se expresa en distintos niveles: el nacional, el sectorial, el regional y el local. En este sentido, existe una necesidad de armonizar las políticas sectoriales con la política nacional ambiental, coordinar la gestión intersectorial y la descentralización de capacidades de gestión ambiental.

a) Marco General de la Política Ambiental

b) Política Ambiental Sectorial

c) Gobiernos Locales y Ambiente

d) Financiamiento de las Actividades Ambientales

Tabla 1.5.1 Niveles máximos y mínimos de azufre en el combustible diesel, en América Latina, en partes por millón (ppm)

Año	Argentina	Brasil	Chile	Colombia	México	Paraguay	Uruguay
2008	2500/1500	2000/500	350/50	3000/500	500/300	4000/500	8000/500
2009	2500/ 50	2000/50	300 /50	2500/500	50/15	4000/500	8000/500
2010	50	50	50/10	500/50	50/15	4000/500	8000/500

Fuente: PETROBRAS: Seminario Ecombustible II "Tendencias globales para el combustible Diesel", junio 2009.



La tendencia observada en la Tabla 1.5.1 fue la disminución del nivel del contenido de azufre en el combustible diesel. México y Chile son los países que están logrando este propósito. Perú no está incluido en esta tabla, debido posiblemente a la falta de información.

Tabla 1.5.2 Sinopsis sobre el Estado del Ambiente

TEMA	ESTADO	CAUSA	AGENDA EN MARCHA Y PENDIENTE
<b>Conciencia Ambiental</b>	<p><b>Conciencia ambiental creciente</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hay creciente interés por el tema ambiental: a nivel escolar, académico, instituciones públicas, los medios, las ONG y las empresas.</li> <li>- La población identifica como problemas ambientales prioritarios la contaminación y el mal uso del agua (32%) y la contaminación de aire (25%).</li> <li>- El CONAM como institución rectora de la política ambiental ejecuta programas de educación ambiental tales como: RECICLA y GLOBE.</li> </ul>	<p><b>Incentivos para el desarrollo de una conciencia ambiental</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El tema ambiental cada vez tiene mayor presencia en las decisiones de los agentes económicos.</li> <li>- Las empresas ven en la conservación del ambiente una oportunidad para hacer negocio y cumplir con la responsabilidad social que les corresponde.</li> </ul>	<p><b>Conciencia ambiental: voluntad de cambio</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Las perspectivas de desarrollo de la conciencia ambiental si bien son favorables, exige un compromiso activo del número creciente de agentes participantes cada vez participa un mayor número de agentes en este tema y se va formando una corriente de interés común.</li> </ul>
<b>Aire</b>	<p><b>Deterioro de la calidad de aire</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El departamento de Lima concentra el 68% del parque automotor (PA) del país .</li> <li>- El PA tiene problemas de antigüedad y precariedad en el mantenimiento.</li> <li>- El 80% de la contaminación atmosférica de la ciudad de Lima la genera el PA.</li> <li>- La congestión del transporte también genera accidentes de tránsito y ruido.</li> </ul>	<p><b>Falta de organización del sector transporte para funcionar de manera consistente con el ambiente</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Las medidas adoptadas para facilitar el servicio de transporte no han tomado en cuenta la variable ambiental .</li> <li>- Ausencia de un diseño de rutas óptimas promueve la congestión.</li> <li>- Falta de vigencia de la regulación en cuanto emisiones y ruidos.</li> </ul>	<p><b>Inversiones y regulación consistente</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El crecimiento acelerado de las ciudades exige el desarrollo de infraestructura que facilite la racionalización del transporte.</li> <li>- Urgencia de la coordinación interinstitucional para promover el desarrollo de un servicio ordenado, eficiente y consistente con el ambiente.</li> </ul>

Fuente: Informe Nacional sobre el Estado del Ambiente-GEOPERU 2005-CONAM

### 1.5.1. Biósfera

Una atmósfera contaminada representa la existencia en el aire que respiramos de una mezcla de partículas sólidas, gotas de líquido y gases que normalmente no forman parte de su composición, además que dicha mezcla es variable en su origen, composición y tamaño, toda vez que las partículas en suspensión, especialmente las más pequeñas (diámetro entre 0,1  $\mu\text{m}$  y 2,5  $\mu\text{m}$ ) son la causa

principal del aumento de la morbilidad. Se encuentra una alta correlación con la producción o aumento de síntomas respiratorios, aparición de alteraciones de la función pulmonar, incremento en el consumo de fármacos broncodilatadores, incremento de afecciones asmáticas y otras con incrementos de ausentismo escolar, laboral y bajos rendimientos productivos.

**Contaminantes peligrosos para la salud humana:** *óxidos de azufre, material en partículas finas ( $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ ), monóxido de carbono, ozono, bióxido de nitrógeno, plomo, asbesto, benceno, arsénico inorgánico, mercurio y cloruro de vinilo.*

Esta asociación de factores climáticos con la polución y el aumento de la morbilidad según estudios realizados, también han generado resultados contradictorios, toda vez que no es posible separar las bajas temperaturas y las condiciones de humedad de otros factores propios de contaminación, como el aumento de dióxido de azufre y otros relativos a epidemias asociadas.

### **1.5.2. Efecto invernadero**

Cuando la radiación solar llega a la superficie de la Tierra, le aporta energía que eleva su temperatura, no toda esta radiación vuelve al espacio, ya que una parte es absorbida por la atmósfera, provocando un fenómeno similar al que mantiene la temperatura cálida en el interior de un invernadero.

En zonas de la Tierra cuya atmósfera tiene poca proporción de gases de efecto invernadero (especialmente vapor de agua), como en los grandes desiertos, las fluctuaciones de temperatura entre el día (absorción de radiación solar) y la noche (emisión hacia el cielo nocturno) son muy grandes.

La importancia de los efectos de absorción y emisión de radiación en la atmósfera son fundamentales para el desarrollo de la vida tal y como se conoce. De hecho, si no existiera este efecto la **temperatura media** de la Tierra estaría entre 30°C y 40°C más baja, situándose a casi 20°C bajo cero.

## Gases de efecto invernadero y la actividad industrial

Los *gases de efecto invernadero* o *gases invernadero*, son el vapor de agua ( $H_2O$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ), metano ( $CH_4$ ), óxidos de nitrógeno ( $NO_2$ ), ozono ( $O_3$ ), y clorofluorocarbonos (CFC).

Si bien todos ellos (salvo los CFC) son naturales, en tanto que ya existían en la atmósfera antes de la aparición del hombre, desde la Revolución Industrial y debido principalmente al uso intensivo de los combustibles fósiles en las actividades industriales y el transporte, se han producido sensibles incrementos en las cantidades de óxidos de nitrógeno y dióxido de carbono emitidas a la atmósfera, con el agravante de que otras actividades humanas, como la deforestación, han limitado la capacidad regenerativa de la atmósfera para eliminar el dióxido de carbono, principal responsable del efecto invernadero.

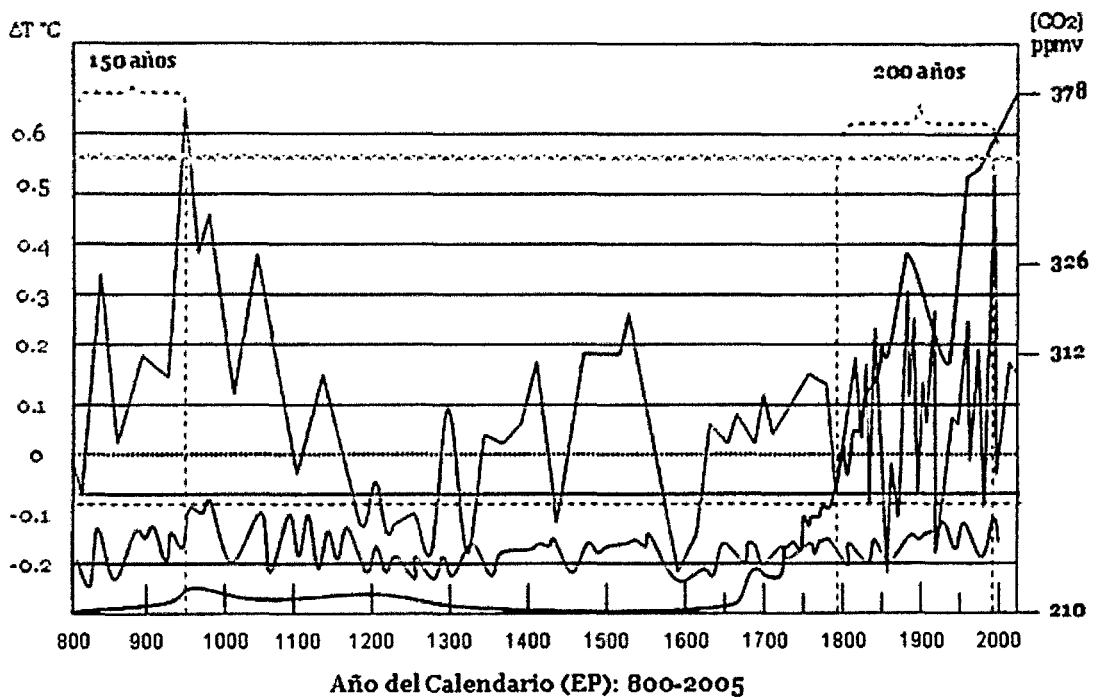


Figura 1.5.3 Variación de la temperatura global y de la concentración de dióxido de carbono presente en el aire de la tierra en los últimos 1205 años.

Source of Data: M.L.Khandekar et All. The Global Warning Debate: A Review of the State of Science. Pure appl. Geophys. 162(2005).K.J. Kreutz et all. Bipolar Changes in Atmospheric Circulation During the Little Ice Age.Science; Vol 277, Issue 5330, 1294-1296, 29 August 1997. Keith R. Briffa and Timorothy J. Osborn. PALEOCLIMATE: Blowing Hot and Cold. Science, Vol 295, Issue 5563, 2227-2228, 22 March 2002. NOAA.NASA.TIROS-Nt: <http://www.science.nasa.gov>.

Fuente: Biology Gabinet: Research and Advisory on Biology, [www.biocab.org/Global\\_Warning\\_sp.html#anchor\\_34](http://www.biocab.org/Global_Warning_sp.html#anchor_34)

En la Figura 1.5.3 la línea roja representa el cambio de la temperatura en grados Celsius; la línea azul corresponde al comportamiento del dióxido de carbono en ppmv ( $ppmv = \mu g \times mL^{-1}$ , la letra *v* al final se refiere a partes en volumen); la línea verde representa al ancho de los anillos en las muestras de los árboles que fueron evaluados. De la figura, se infiere, que en la edad media tomó 150 años de calentamiento global para alcanzar el pico más alto; en nuestra era industrial ha tomado 205 años. Significa que el calentamiento global actual se incrementa **más lentamente** que durante la edad media. Además, el calentamiento global actual es apreciablemente menor que el del período medioeval. El período caliente en la edad media tuvo una duración de 190 años, mientras que el pico máximo del calentamiento global en la era industrial mencionada tuvo una duración de sólo 3 años.

### **Protocolo de Kioto**

En 1974 los científicos Frank Rowland (estadounidense) y Mario Molina (mexicano) - ambos ganadores del premio Nobel de Química en 1995 - descubrieron la reducción del grosor en la capa de ozono, principal filtro en evitar la penetración de la radiación solar en la superficie terrestre. Actualmente la producción de los gases que provocan el **efecto invernadero** ha aumentado debido a la intervención humana.

El protocolo de Kioto es un convenio internacional que intenta limitar globalmente las emisiones de gases de efecto invernadero. El protocolo surge de la preocupación internacional por el calentamiento global que podrían incrementar las emisiones descontroladas de estos gases.

El protocolo de Kioto fue aprobado el 11 de octubre de 1997 en la ciudad japonesa del mismo nombre, el objetivo fue de conseguir reducir en un 5,2% las emisiones de gases de efecto invernadero globales sobre los niveles de 1990 para el periodo 2008-2012, ratificado por 163 países.

Los gases de efecto invernadero considerados en el protocolo de Kioto fueron:

- **Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>):** que proviene esencialmente de la quema de combustibles fósiles y los incendios forestales.
- **Metano (CH<sub>4</sub>):** se origina principalmente de los gases de digestión de rumiantes, del cultivo de arroz, de los vertederos de residuos municipales, del petróleo y del gas.
- **Halocarbonos (HFC y PFC):** son gases utilizados en sistemas de refrigeración y la producción de frío, los gases propulsores de aerosol.
- **Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O):** proviene de la utilización de fertilizantes nitrogenados y de determinados procesos químicos, combustión de petróleo, carbón a altas temperaturas ( Temperatura mayor a 800 ° C).
- **Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>):** utilizado en los transformadores eléctricos.

Estados Unidos de Norteamérica ha aceptado una reducción del 7%, Japón del 6% y la Unión Europea la reducción de un 8%. Rusia también ha ratificado el Protocolo de Kioto. En El caso de Perú que firmó el convenio el 13 de noviembre de 1998 y ratificado el 12 de setiembre del 2002, no tiene compromiso de mitigar los gases contaminantes posiblemente por no tener fuentes contaminantes de magnitud considerable.

### **1.5.3. Legislación ambiental**

#### **1.5.3.1 Sistema Regional de Gestión Ambiental**

El Sistema Regional de Gestión Ambiental constituye un conjunto integrado de componentes adoptados por una región para desarrollar, implementar, revisar y corregir la política ambiental regional y las normas que regulan su organización y funciones.

#### **Base legal**

Este Sistema se encuentra legalmente contemplado en el inciso b) del artículo 53° de la Ley N° 27867, Ley Orgánica de Gobiernos Regionales, así como en la Ley N° 28245 - Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental - SNGA.

## **Importancia**

Es importante para las regiones sobre todo por el ordenamiento que proporciona para llevar a cabo eficientemente la gestión ambiental regional.

El Ministerio del Ambiente y CONAM, con el objeto de facilitar a los Gobiernos Regionales la implementación de los Sistemas Regionales de Gestión Ambiental diseñó, publicó y distribuyó un documento orientador para su elaboración: la Guía del Sistema Regional de Gestión Ambiental.

### **1.5.3.2 Dispositivos legales nacionales, regionales – municipales, externas.**

#### **Dispositivos nacionales**

- a- Ley N° 28611. Ley General del Ambiente Parte Pertinente. Decreto Supremo N° 074-2001-PCM - Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire. **Publicado el 24 de junio de 2001**
- b- Decreto Supremo N° 069-2003-PCM (15/Jul/03) "Establecen Valor Anual de Concentración de Plomo". **Publicado el 15 de julio de 2003**
- c- Decreto Supremo N° 085-2003-PCM - Aprueban el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido. **Publicado el 30 de octubre de 2003**
- d- Decreto Supremo N° 010-2005-PCM (03/Feb/05) "Aprueban Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Radiaciones No Ionizantes" **Publicado el 03 de febrero de 2005**
- e- Decreto Supremo N° 002-2008 MINAM (31/Jul/08) "Aprueban Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua". **Publicado el 31 de julio de 2008**
- f- Decreto Supremo N° 003-2008 MINAM (21/Ago/08) "Aprueban Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Aire". **Publicado el 21 de agosto de 2008**

- g- Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM. Aprueban disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua. **Publicado el 19 de diciembre del 2009**

#### **Dispositivos regionales y municipales**

- a. Ordenanza Regional No. 016-03-GRA/CR, del 28 de noviembre del 2003, crea el Plan de Acción Ambiental y Agenda Ambiental Regional
- b. Decreto de Consejo Directivo N° 035-2003-CD/CONAM, GUÍA PARA LA CREACIÓN DEL SISTEMA REGIONAL DE GESTIÓN AMBIENTAL – SRGA, ACTUALIZADO AL 8 DE AGOSTO DEL 2006
- c. Decreto Regional No. 001-2006-GRA/PRES, del 23 de enero del 2006; sobre conformación de Grupo Técnico Regional sobre Calidad de Aire.
- d. Ley No. 27972 Ley Orgánica de Municipalidades concordante con la Ley del Sistema Nacional de Gestión Ambiental Ley No. 28245, su reglamento D.S. No. 008-2005-PCM Ordenanza Regional No. 016-03-GRA/CR, crea el Plan de Acción Ambiental y Agenda Ambiental Regional;

#### **Dispositivos externos**

- a- D.S. 046-93 EM y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA)
- b- DOCE N° L257 EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE, de 10 de octubre de 1996.
- c- DIRECTIVA 96/62/CE DEL CONSEJO, relativa a la EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE DEL CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA, del 27 de septiembre de 1996.

#### **1.5.4. Instituciones ambientalistas**

##### **El Consejo Nacional del Ambiente (CONAM)**

Es el organismo rector de la política nacional ambiental. Tiene por finalidad planificar, promover, coordinar, controlar y velar por el ambiente y el patrimonio natural de la nación. El Consejo se creó mediante Ley 26410 publicada en El Peruano el 22 de diciembre de 1994.

##### **EL Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA)**

Es el Organismo Público Descentralizado del Ministerio de Agricultura, creado por Decreto Ley N° 25902 el 27 de noviembre de 1992, encargado de realizar las acciones necesarias para el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables, cautelar la conservación de la gestión sostenible del medio ambiente rural y la biodiversidad silvestre.

##### **La Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA)**

Es el órgano técnico-normativo en los aspectos relacionados al saneamiento básico, salud ocupacional, higiene alimentaria, zoonosis y protección del ambiente, vela el cumplimiento de sus normas con los organismos públicos y privados que apoyan o tienen responsabilidades en el control del ambiente; coordina el marco técnico-normativo con los Institutos

#### **1.6. GASES DE COMBUSTIÓN**

##### **1.6.1 Antecedente contaminante del anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>).**

A continuación se presentan los valores promedios anuales del monitoreo de la calidad del aire en Lima y Callao durante el período de los años 2000-2007



Tabla 1.6.1. Estación Callao, Promedio Anual (2000 – 2007)

AÑO	CONCENTRACIÓN(ug/m <sup>3</sup> )*					
	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	PM <sub>2.5</sub>	PTS	PM <sub>10</sub>	Pb
2000	19,81	42,81	---	88,74	---	0,089
2001	13,25	21,89	25,44	69,76	---	0,072
2002	---	---	---	---	---	---
2003	25,29	13,71	40,04	137,15	---	0,193
2004	7,18	22,70	28,15	68,80	---	0,180
2005	13.12	15.25	35.62	75.79	---	0.12
2006	17.32	12.02	57.55	63.12	---	0.05
2007	12.41	10.15	37.14	---	41.72	---

Fuente: Informe Defensorial N° 136 de la Defensoría del Pueblo: Calidad del Aire y su Impacto en la Salud, 2008, (\*) El año 2002 no hubo medición

Tabla 1.6.2. Estación Lima Sur, Promedio Anual (2000 – 2007)

AÑO	CONCENTRACIÓN(ug/m <sup>3</sup> )					
	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	PM <sub>2.5</sub>	PTS	PM <sub>10</sub>	Pb
2000	22.67	60.81	---	176,46	---	0.100
2001	15.55	34.31	37.16	166.15	---	0.116
2002	10.49	17.75	40.99	150.19	---	0.090
2003	18,71	21,17	41,40	189,38	---	0,184
2004	15,86	28,61	37,06	173,69	---	0,182
2005	14.61	24.32	53.62	257.29	---	0.12
2006	19.81	33.83	58.23	177.12	---	0.07
2007	26.17	20.26	62.54	---	78.07	---

Fuente: Informe Defensorial N° 136 de la Defensoría del Pueblo: Calidad del Aire y su Impacto en la Salud, 2008

Tabla 1.6.3. Estación Lima Norte, Promedio Anual (2000 – 2007)

AÑO	CONCENTRACIÓN(ug/m <sup>3</sup> )					
	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	PM <sub>2.5</sub>	PTS	PM <sub>10</sub>	Pb
2000	24.88	107.87	---	249.56	---	0.290
2001	27.35	29.88	60.74	216.65	---	0.279
2002	20.98	24.59	49.13	219.08	---	0.192
2003	18,18	22,09	53,27	203,37	---	1,443
2004	---	---	65,45	196,58	---	0,213
2005	29.41	44.88	74.57	224.67	---	0.31
2006	64.19	13.91	97.39	213.68	---	0.25
2007	31.92	25.86	54.72	---	94.28	---

Fuente: Informe Defensorial N° 136 de la Defensoría del Pueblo: Calidad del Aire y su Impacto en la Salud, 2008

Tabla 1.6.4. Estación Lima Este, Promedio Anual (2000 – 2007)

AÑO	CONCENTRACIÓN(ug/m <sup>3</sup> )					
	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	PM <sub>2.5</sub>	PTS	PM <sub>10</sub>	Pb
2000	32.22	95.05	---	173.81	---	0.187
2001	25.85	41.12	43.67	140.35	---	0.170
2002	22.80	34.45	36.25	172.07	---	0.186
2003	36,09	44,46	47,60	236,90	---	0,242
2004	30,45	34,11	54,83	181,27	---	0,208
2005	30.35	37.07	46.77	163.98	---	0.14
2006	26.22	68.52	89.38	182.08	---	0.12
2007	16.91	20.57	59.72	---	90.98	---

Fuente: Informe Defensorial N° 136 de la Defensoría del Pueblo: Calidad del Aire y su Impacto en la Salud, 2008

Tabla 1.6.5. Estación Lima Centro, Promedio Anual (2000 – 2007)

AÑO	CONCENTRACIÓN(ug/m <sup>3</sup> )*					
	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	PM <sub>2.5</sub>	PTS	PM <sub>10</sub>	Pb
2000	126.75	254.94	---	209.62	---	0.281
2001	75.83	75.95	80.18	204.11	---	0.324
2002	---	---	---	---	---	---
2003	108.37	69.53	89.31	203.04	---	0.214
2004	87,56	81,45	83,64	221,13	---	0,362
2005	53.82	81.52	86.61	246.9	---	0.18
2006	56.71	50.72	85.14	106.46	---	0.11
2007	75.18	72.70	95.71	---	127.69	---

Fuente: Informe Defensorial N° 136 de la Defensoría del Pueblo: Calidad del Aire y su Impacto en la Salud, 2008, (\*) El año 2002 no hubo medición

### En la Oroya – Huancayo

La minería es un sector contaminante del aire en el Perú, las emisiones provenientes de las fundiciones, plantas de tratamiento de minerales, etc. de un conjunto de compañías mineras ubicados en Huancayo, están siendo evaluados y mitigados. (Tabla 1.6.6).

Tabla 1.6.6 Concentración de dióxido de azufre, según punto de monitoreo, 2001-2010 – Minería ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Punto de monitoreo	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
<b><u>BHP Tintaya S.A.</u></b>										
Campamento N° 2	...	...	...	...	...	16.00	39.20	116.00	49.15	42.10
<b><u>Compañía Minera Ares S.A.C.</u></b>										
Campamento Obrero	2.50	0.89	3.47	0.80	0.15	3.25	4.71	4.74	13.36	11.39
<b><u>Compañía Minera Milpo S.A.</u></b>										
Local IPSS	21.57	13.66	2.88	0.03	0.36	16.13	16.17	25.39	24.91	27.34
<b><u>Compañía Minera Poderosa S.A.</u></b>										
Costado Garita Control	27.88	1.48	15.20	4.37	18.11	0.28	6.63	0.20	1.55	...
<b><u>Compañía Minera Raura S.A.</u></b>										
Superintendencia de Minas	6.38	1.98	12.46	1.58	7.50	1.80	0.29	0.60	0.97	0.96
<b><u>Cía. Minera San Ignacio de Morococha S.A.</u></b>										
Posta Médica San Vicente	44.79	10.37	2.89	1.62	4.05	4.96	8.51	3.17	1.77	2.01
<b><u>Compañía Minera Santa Luisa S.A.</u></b>										
20 mt. al este de las oficinas	24.69	17.69	14.40	0.77	0.23	4.67	...	5.60	9.09	19.77
<b><u>Consorcio Minero Horizonte S.A.</u></b>										
Taller de mantenimiento, campamento poblado	...	...	1.50	50.00	...	187.04	32.21	23.22	29.52	82.29
<b><u>Doe Run Perú S.R.L.</u></b>										
Hotel Inca	460.26	430.21	386.74	522.35	411.36	360.85	469.16	480.83	116.04	4.80
Sindicato Obreros	507.48	413.10	416.24	451.39	505.17	532.01	738.20	731.52	225.18	10.84
Cushurupampa	433.38	365.36	358.47	416.48	364.40	408.19	541.13	a/	a/	a/
<b><u>Empresa Minera Iscaycruz S.A.</u></b>										
Chancadora primaria	48.81	5.98	12.64	6.69	8.21	3.57	8.43	13.00	10.75	4.00
<b><u>Lar Carbón S.A.</u></b>										
Garita Polvorín	11.10	14.40	27.00	...	...	...	...	...	...	...
<b><u>Minsur</u></b>										
Estación Calidad de Aire 1/	9.25	12.68	...	5.00	...	...	27.93	11.55	7.25	...
<b><u>Pan American Silver S.A.C.</u></b>										
A 100 m. barlovento de la cancha relaves	6.35	5.00	7.09	2.40	3.20	3.11	25.87	0.26	0.04	0.05
<b><u>Shougan Hierro Perú S.A.</u></b>										
Marcona	8.66	3.79	3.62	2.27	2.13	13.95	12.95	5.77	8.23	3.80
<b><u>Sociedad Refinería de Zinc Cajamarquilla S.A.</u></b>										
Radio-observatorio Jicamarca	166.98	82.86	58.57	80.95	92.29	94.76	125.40	0.04	96.21	...
Área administrativa	35.24	...	...	...	...	...	...	...	...	...
<b><u>Southern Perú Limited</u></b>										
Fundición Ilo (Ross Siding)	126.31	98.34	89.59	98.07	108.50	124.08	...	21.45	15.82	18.53
Refinería de Ilo (Town Site)	7.87	7.52	8.02	9.97	8.68	4.14	...	1.79	1.38	4.91

Nota: El monitoreo de calidad del aire fue realizado en áreas de influencia de las operaciones mineras.

Nivel máximo permisible de anhídrido sulfuroso o dióxido de azufre:  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de concentración anual;  $572 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de concentración diaria.

1/ Para el periodo 2007-2009 el punto de monitoreo fue Sotavento.

a/ Mediante R.M. N° 257-2006-EM/DM se desactivó el monitoreo de la calidad del aire.

Fuente: Ministerio de Energía y Minas (MEM) - Dirección General de Asuntos Ambientales.

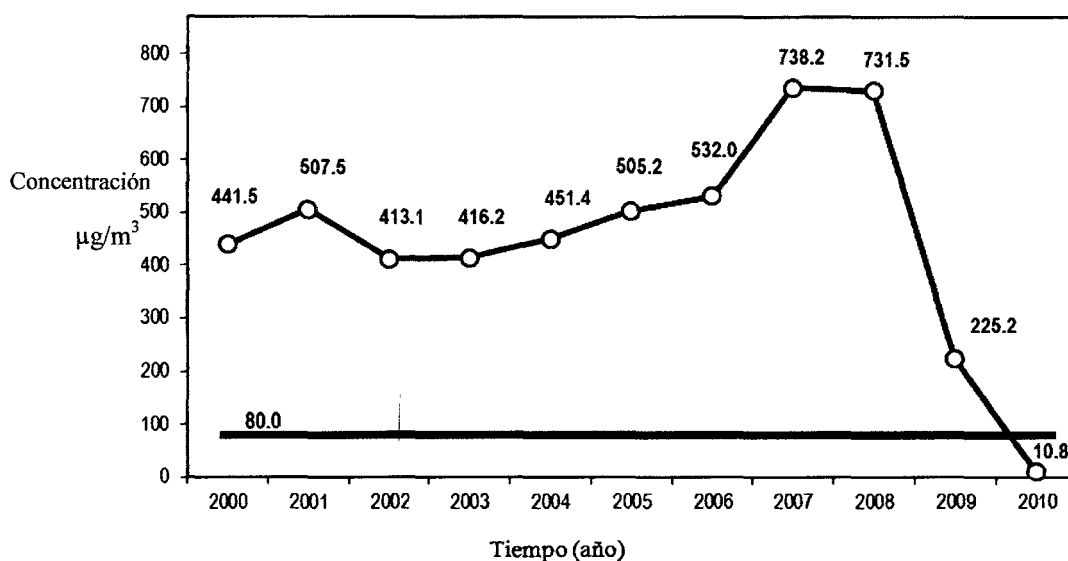


Figura 1.6.1 Concentración de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en la Estación Sindicato de Obreros - La Oroya, 2000-2010

## Transporte urbano

*[“Sobre ruedas anda la contaminación”]*

A pesar de todos los esfuerzos realizados por los organismos pertinentes, el transporte sigue siendo el sector más contaminante del aire en la región, al emitir material particulado respirable (MP<sub>10</sub>), óxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y monóxido de carbono (CO). Pero no contribuye significativamente en la emisión de óxido de azufre o anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>). Es importante adecuar los vehículos para el uso del gas licuado como combustible.

Uno de los principales efectos generados por las políticas de flexibilización de mercados aplicados en la década del 90, fue el considerable incremento del parque vehicular en el Perú. En los últimos 10 años, el parque automotor ha experimentado un inusual crecimiento no solo en volumen con relación a la demanda, sino también en la edad vehicular. Por lo que la importación de vehículos usados propició una oferta con mayor antigüedad y desconfort en el servicio de transporte público.

Tabla 1.6.7 Emisión de óxido de azufre, según fuente energética, 1994-2009.

<b>Fuente energética (base 10<sup>6</sup> kg)</b>			
<b>Año</b>	<b>Total</b>	<b>Carbón y derivados</b>	<b>Hidrocarburos líquidos</b>
1994	53.42	7.87	45.55
1995	64.53	7.63	56.9
1996	74.89	8.29	66.6
1997	68.19	8.58	59.61
1998	65.89	9.75	56.14
1999	84.03	9.66	74.37
2000	82.48	11.74	70.74
2001	73.71	10.35	63.36
2002	76.84	13.11	63.73
2003	69.64	12.62	57.02
2004	78.77	14.5	64.27
2005	73.15	16.12	57.03
2006	61.65	11.52	50.13
2007	66.61	17.95	48.66
2008	59.24	16.3	42.94
2009	56.89	16.8	40.09

Fuente: Ministerio de Energía y Minas (MINEM) - Oficina de Plancamiento, Inversiones y Cooperación Internacional, (2010)

La contaminación ambiental generada por la actividad del transporte, es un fenómeno que se presenta por las emisiones de gases tóxicos, la generación de ruidos, residuos sólidos y líquidos, que no solo trae como consecuencia el deterioro de la calidad de aire, sino que además, causa el deterioro de la infraestructura y monumentos público.

Tabla 1.6.8. Consumo de combustibles tradicionales en el sector transporte Perú ( TJ)\*, 1994-2009

Año	Total	Diesel	GLP	Gasolina motor	Petróleo Industrial	Turbo	GNV
1994	117 654	59 622	-	42 468	2 929	12 635	-
1995	127 861	67 823	-	42 760	1 757	15 521	-
1996	136 246	70 339	-	47 291	2 109	16 507	-
1997	135 424	74 725	-	42 342	1 937	16 420	-
1998	138 066	75 513	204	44 063	2 010	16 276	-
1999	145 701	80 268	418	44 851	3 032	17 134	-
2000	141 686	82 902	425	40 940	2 490	14 929	-
2001	133 838	78 526	390	37 473	2 000	15 449	-
2002	132 886	76 920	746	37 464	1 710	16 046	-
2003	137 880	85 682	820	35 277	1 325	14 776	-
2004	158 863	101 992	864	35 216	1 651	19 140	-
2005	146 047	95 648	1 164	34 520	1 228	13 485	2
2006	163 450	104 127	4 358	33 674	872	20 140	279
2007	157 616	107 127	7 076	33 454	742	7 298	1 919
2008	210 093	131 708	9 738	37 633	436	25 130	5 448
2009	228 789	140 065	10 454	44 295	220	24 554	9 201

(\*) TJ: Terajoule:  $1 \times 10^{12}$  joules.

Fuente: Ministerio de Energía y Minas (MINEM) - Oficina de Planeamiento, Inversiones y Cooperación Internacional; Perú Anuario Estadístico 2011.

**Nota:** De acuerdo al DS N° 021-2007-EM, a partir del año 2009, el combustible derivado de hidrocarburos y obtenido de procesos de refinación Diesel N° 2 cambia de denominación a Diesel B2, el cual contiene un 98% en volumen de Diesel N° 2 y 2% en volumen de Biodiesel B100 (combustible diesel derivado de recursos renovables que puede ser obtenido a partir de aceites vegetales o grasas animales).

Tabla 1.6.9: Perfil de emisión por tipo de combustible – (kg/km de operación)

EMISION	VEHÍCULO				
	Gas Natural	Gasolina 84	Gasolina 90	Gasolina 97	Diesel Euro3
Amoniaco	0.0000345	2.614E-05	2.614E-05	2.614E-05	9.998E-07
Benceno	7.617E-07	7.283E-06	7.283E-06	7.283E-06	1.81E-06
Cadmio	7.29E-10	1.332E-09	1.332E-09	1.332E-09	1.284E-09
Dióxido de carbono, fósil	0.1484547	0.1921858	0.19003	0.19003	0.17515
Monóxido de carbono, fósil	0.0004465	0.000984	0.000984	0.000984	0.0006104
Cromo	6.56E-09	9.572E-09	9.572E-09	9.572E-09	9.329E-09
Cromo VI		6.034E-12	6.034E-12	6.034E-12	5.547E-12
Cobre	1.09E-08	1.135E-07	1.135E-07	1.135E-07	1.052E-07
Monóxido de dinitrógeno	8.663E-07	2.659E-06	2.659E-06	2.659E-06	5.611E-06
Calor, residuos	3.2653	2.7213	2.7213	2.7213	2.5182
Plomo	3.65E-09	3.645E-09	3.645E-09	3.645E-09	3.651E-09
Mercurio		2.224E-12	2.224E-12	2.224E-12	1.109E-12
Metano, fósil	5.509E-05	5.42E-06	5.42E-06	5.42E-06	3.28E-06
Níquel	5.83E-05	1.006E-08	1.006E-08	1.006E-08	9.715E-09
Óxidos de nitrógeno	2.064E-05	0.0000513	0.0000513	0.0000513	0.0000518
COV/NM, compuestos Orgánicos volátiles de Origen no especificado, Distintos al metano	1.053E-05	0.00024	0.0001802	0.0001203	0.00013
HAP, hidrocarburos Aromáticos policíclicos	1.069E-09	4E-10	4E-10	4E-10	7E-10
Partículas, < 2.5 um	7.367E-06	8.48E-06	8.48E-06	8.48E-06	0.0000371
Partículas, > 10 um	0.000078	7.808E-05	7.808E-05	7.808E-05	0.0000793
Partículas, > 2.5 um, y < 10 um	0.0000134	1.355E-05	1.355E-05	1.355E-05	1.594E-05
Selenio	6.034E-10	6.034E-10	6.034E-10	6.034E-10	5.547E-10
Dióxido de azufre	9.412E-07	6.034E-06	6.034E-06	6.034E-06	5.547E-06
Tolueno	5.25E-06	1.046E-05	1.046E-05	1.046E-05	4.38E-07
Xileno	5.39E-06	1.046E-05	1.046E-05	1.046E-05	1.09E-06
Zinc	5.85E-07	6.457E-07	6.457E-07	6.457E-07	6.409E-07

Fuente: ECOINVENT 2008 y Tesis de Título de Ingeniera Industrial, Patricia Carol Pérez Palomino, PUCP, Mayo 2010.

## **CAPÍTULO II**

### **2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

#### **2.1 PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL ANHÍDRIDO SULFUROSO (SO<sub>2</sub>)**

##### **2.1.1 Estado de oxidación del azufre**

Los principales estados de oxidación del azufre son:  $-2$  (H<sub>2</sub>S, S<sup>-2</sup>),  $0$  (S<sub>8</sub>),  $+4$  (H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, SO<sub>3</sub><sup>-2</sup>, SO<sub>2</sub>) y  $+6$  (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, SO<sub>3</sub>), y se manifiestan en muchas sustancias importantes.

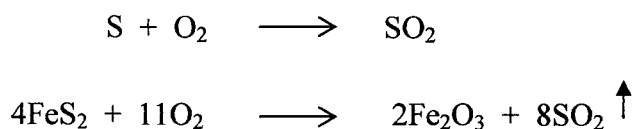
El azufre ocupa el Grupo IV de la Tabla Periódica de los Elementos, juntamente al Selenio y Teluro.

##### **2.1.2. Anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>) y el ácido sulfuroso**

El anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>) es un gas incoloro, no inflamable y de olor sofocante. Condensa (líquido incoloro) a  $-10$  °C y solidifica a  $-72$  °C. Es soluble en agua (85% a 25 °C) y en los solventes orgánicos.

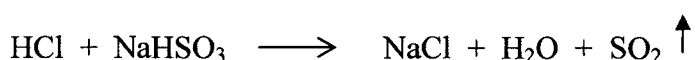


El anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>) es un gas que se forma en la combustión del azufre o de los sulfuros, como de la pirita:



es incoloro y tiene olor sofocante característico.

El anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>) se obtiene fácilmente en el laboratorio añadiendo un ácido fuerte al sulfito ácido de sodio sólido:



Puede purificarse y secarse haciéndolo pasar por ácido sulfúrico concentrado, y como es dos veces más denso que el aire, puede recogerse por desplazamiento de éste.

Cuando se disuelve anhídrido sulfuroso en agua, se obtiene una disolución de ácido sulfuroso, H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>. Este ácido y sus sales, los sulfitos, son agentes reductores energéticos. Forman ácido sulfúrico, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, y sulfatos al ser oxidados por oxígeno, halógenos, peróxidos de hidrógeno y agentes oxidantes análogos.

El anhídrido sulfuroso, SO<sub>2</sub>, se forma por la combustión del azufre, S, presente en el carbón y el petróleo, en porcentajes que varían entre un 0,1% y un 5%, obteniéndose SO<sub>2</sub> y SO<sub>3</sub> en una proporción que va de 40:1 a 80:1, respectivamente. El SO<sub>2</sub> es un gas incoloro que resulta irritante si su concentración es superior a 3 ppm. El SO<sub>2</sub> puede formar SO<sub>3</sub> en la atmósfera por la acción fotoquímica, así como por catálisis de las partículas en suspensión. Los óxidos de azufre se forman con la humedad ambiente entre el 5% y el 20% de los aerosoles urbanos, incrementando el poder corrosivo de la atmósfera, disminuyendo la visibilidad y provocando la lluvia ácida; si, además, la presencia de partículas es significativa, la salud de los seres vivos se ve seriamente amenazada. Se supone que más del 90% de la producción de óxidos de azufre en el hemisferio norte es de origen antropogénico, siendo el total mundial de

emisiones anuales 100-1000 GKg, de las cuales entre 120 GKg y 160 GKg lo son por acción del hombre (Kirkwood).

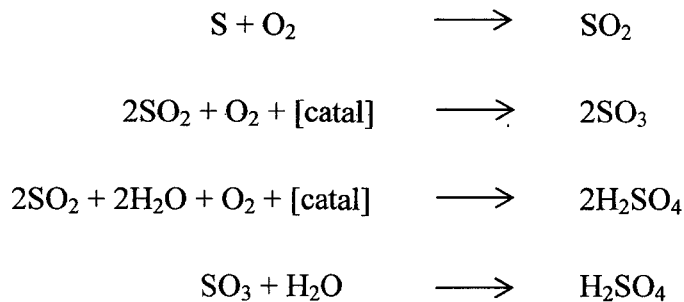
### Ficha técnica del anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>)

Nomenclatura IUPAC	Anhídrido sulfuroso
Otros nombres	Anhídrido sulfuroso, Dióxido de azufre
Fórmula semidesarrollada	SO <sub>2</sub>
<b>Propiedades físicas</b>	
Estado de agregación	Gas
Apariencia	Incoloro
Masa molecular	64,1 uma
Punto de fusión	198 K (-75.15 °C)
Punto de ebullición	263 K (-10.15 °C)
Temperatura crítica	? K (? °C)
Presión crítica	n/d atm.
Densidad	1,4 × 10 <sup>3</sup> kg/m <sup>3</sup>
Estructura cristalina	n/d
Viscosidad	n/d
Índice de refracción	n/d
<b>Propiedades químicas</b>	
Acidez (pK <sub>a</sub> )	n/d
Solubilidad	9,4 g en 100 g de agua
KPS	n/d
Momento dipolar	n/d D
<b>Termoquímica</b>	
$\Delta_f H^0_{\text{gas}}$	-296,84 kJ/mol
$\Delta_f H^0_{\text{líquido}}$	n/d kJ/mol
$\Delta_f H^0_{\text{sólido}}$	n/d kJ/mol
$S^0_{\text{gas, 1 bar}}$	248,21 J·mol <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>
$S^0_{\text{líquido, 1 bar}}$	n/d J·mol <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>
$S^0_{\text{sólido}}$	n/d J·mol <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>
E <sub>0</sub>	n/d Volt
Calor específico	n/d cal/g
<b>Peligrosidad</b>	
Punto de inflamabilidad	n/d
Temperatura de autoignición	n/d
Número RTECS	n/d
<b>Riesgos</b>	
Ingestión	Relativamente poco tóxico, puede causar náuseas, vómitos y esterilidad. Sin datos para exposición a largo plazo.
Inhalación	Irritación extrema.
Piel	Riesgoso comprimido y criogénico.
Ojos	Riesgoso comprimido y criogénico

Fuente: [www.es.wikipedia.org](http://www.es.wikipedia.org)

Valores en el SI y en condiciones normales (0 °C y 1 atm), salvo que se indique lo contrario.

Más del 50% de SO<sub>2</sub> es producido en calderas generadoras de vapor. Las reacciones observadas son:



Actuando de catalizador en la penúltima de ellas cloruros y sulfatos de Fe y Mn.

### 2.1.3. Trióxido de Azufre

El trióxido de azufre ( $\text{SO}_3$ ) es a condiciones normales un sólido incoloro de textura fibrosa. Es el producto de la oxidación del dióxido de azufre con oxígeno en presencia de un catalizador como el pentóxido de vanadio o de platino.

En presencia de agua reacciona violentamente dando lugar a la formación de ácido sulfúrico.

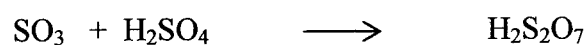
#### Propiedades fisicoquímicas

- Masa molecular: 80,06 g/mol
- Punto de fusión: 16,8 °C
- Punto de ebullición: 44 °C
- N° CAS: 7446-11-9

El trióxido de azufre,  $\text{SO}_3$ , se forma en cantidades muy pequeñas cuando el azufre arde en el aire. Ordinariamente, se prepara por oxidación del anhídrido sulfuroso por el aire, en presencia de un catalizador, cuya ecuación es:



También se disuelve rápidamente en el ácido sulfúrico, formando *oleum* o *ácido sulfúrico fumante*, que consta principalmente de ácido di sulfúrico,  $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7$  (también llamado ácido piro sulfúrico)



## 2.1.4. Emisiones naturales y humanas de SO<sub>2</sub>

Tanto las emisiones naturales como las humanas contribuyen a los niveles de contaminación atmosférica con anhídrido sulfuroso, (SO<sub>2</sub>). La combustión de carbón es la fuente principal con un alto porcentaje de azufre.

Es emitido el SO<sub>2</sub> por volcanes, fuentes termales y por la meteorización de minerales que contienen azufre, tales como el yeso, CaSO<sub>4</sub>, que es el más importante cuantitativamente y que está acelerado por procesos microbianos y la polución atmosférica acidificante.

Tabla 2.1.1 Contaminantes del aire con contenido de azufre

Compuesto	Fuente Principal	Azufre Producido (Tg <sup>-1</sup> )	Concentración Típica		Tiempo de Vida	Sumidero
			Natural	Contaminado		
Sulfuro de carbonilo (COS)	Suelos, Marismas, Quema de Biomasa	4.7	500 pptv	?	44 años	Fotólisis Océanos, Estratosfera
Disulfuro de carbono (CS <sub>2</sub> )	Océanos, Suelos	106	15-30 pptv	100-200 pptv	12 días	Por Fotólisis produce SO <sub>2</sub>
Disulfuro de dimetilo DMS ((CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S)	Descomposición de Algas en el Océano	27-56	<10 pptv	100 pptv	0.6 días	Deposición en Océano Oxidación a SO <sub>2</sub>
Sulfuro de hidrógeno (H <sub>2</sub> S)	Reducción Bacteriana, Suelos y Humedales	variable	30-100 pptv*	330-810 pptv	4.4 días	Fotólisis
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	Origen Humano, Volcanes, Oxidación de H <sub>2</sub> S	103	24-90 pptv	>5 ppbv	2-4 días	Deposición Seca y Húmeda, Oxidación a (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	Superficie Mar Oxidación desde SO <sub>2</sub>	38	0.01 m gs/m <sup>3</sup>	>2.5m gs/m <sup>3</sup>	1 semana	Deposición Seca y Húmeda

Fuente: Ciencias de la tierra y el medio ambiente, 1998, Luis Echarri Prim.

### **2.1.5. Reacciones del SO<sub>2</sub> en el agua**

El anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>) se disuelve rápidamente en agua para formar sulfito e hidrógeno sulfito.

Al oxidarse el sulfito, se forman los radicales libres HSO<sub>3</sub><sup>-</sup>, OH<sup>-</sup> y SO<sub>2</sub><sup>-</sup>, que pueden tener una amplia gama de consecuencias: rotura de cadenas de ADN, oxidación de los dobles enlaces de los ácidos grasos dentro de la membrana, y la conversión del aminoácido metionina en metionina sulfóxido. Además, el bisulfito y el sulfito son altamente reactivos, altamente nucleófilos de por sí; de ahí su uso en la preservación de la comida, su poder esterilizante usado por los enólogos, su fuerte capacidad mutagénica, que les permite convertir histidina a uracilo, su ataque a los puentes disulfuro de enzimas, al FAD, al FMN, al triptófano, a la tiamina, a la vitamina B (que por ello se debe añadir a alimentos tratados con SO<sub>2</sub>), etc.

#### **Reacción en las plantas**

El anhídrido sulfuroso depositado sobre las hojas de las plantas puede disociarse en cualquier película de agua y reaccionar con los componentes de cera de la cutícula foliar, dañándola. En estas circunstancias, aunque parte del gas puede entrar por esta vía, la mayor parte sigue entrando por los estomas. También puede estimular la producción de ceras protectoras en ciertas especies que con el tiempo incrementan la resistencia cuticular.

Presumiblemente, los cambios de pH y los incrementos de sulfito y bisulfito distorsionan los flujos de potasio, calcio, cloruro, malato y protones entre las células estomática.

## **2.2 CONTAMINANTES PELIGROSOS DEL AIRE (CPA)**

Los contaminantes peligrosos son compuestos cancerígenos y no cancerígenos que pueden causar efectos serios e irreversibles en la salud. En los Estados Unidos de Norteamérica se enumeraron 189 compuestos como contaminantes peligrosos del aire (CPA), incluidos el tetracloruro de carbono, cloro, óxido de

etileno, cadmio y manganeso. Se establecen límites numéricos que protegen la salud del hombre de cualquier efecto adverso. Estados Unidos ha fijado normas de emisión basadas en la salud solo para ocho contaminantes:

**Asbesto:** Se sabe que el asbesto produce cáncer en el hombre. Lamentablemente, su resistencia al fuego favoreció su empleo en numerosos materiales, tales como aislantes, pinturas, recubrimiento de freno de automóviles e incluso ropa.

**Cloruro de vinilo:** Se usa en la producción de plásticos y cloruro de polivinilo (PVC). La exposición al cloruro de vinilo puede dañar el hígado y otros órganos.

**Benceno:** El benceno es un compuesto cancerígeno usado en agentes desgrasantes, gasolina y solventes. Se han promulgado varias normas para controlar la emisión de benceno, incluidas las normas para la fuga de benceno en equipos, para contenedores de benceno y operaciones de transporte y disposición de desechos de benceno, y para plantas de recuperación de subproductos del coque.

**Arsénico:** El arsénico es también un agente cancerígeno. Se emplea en la fabricación de vidrio y en la fundición de metales. Las normas de emisión se establecieron para controlar la emisión de arsénico de las plantas de fabricación de vidrio, fundiciones de metales e instalaciones para la producción de arsénico.

**Berilio:** El berilio puede causar enfermedades del pulmón y también tiene efectos adversos sobre el hígado, bazo, riñones y glándulas linfáticas. Las fuentes de berilio incluyen las fundiciones de metal, plantas de cerámica e incineradores que queman desechos con berilio.

**Mercurio:** El mercurio puede tener efectos adversos sobre el cerebro y riñones. Las fuentes de mercurio incluyen la quema de combustibles fósiles, plantas de fabricación de baterías de mercurio y procesos de minería que emplean mercurio.

**Radón:** El radón es un elemento radiactivo natural. También se encuentra en materiales de construcción que contienen sustancias que emiten radón, como el yeso. Se sabe que el radón causa diversas formas de cáncer y es un contaminante

importante del aire de interiores. Hasta ahora se han establecido normas para controlar la emisión de radón en las minas subterráneas de uranio, canteras de yeso fosfórico y relaves de las minas y procesos del uranio.

**Radio nucleídos:** Los radio nucleídos son una categoría de materiales radiactivos diferentes del radón. Un radio nucleído es cualquier núcleo que emite radiación. Así como el radón, estos materiales pueden causar cáncer en los seres humanos.

## **2.3 GENERACIÓN DE ANHÍDRIDO SULFUROSO, (SO<sub>2</sub>).**

### **2.3.1 Anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>)**

El anhídrido sulfuroso es un gas incoloro que se forman al quemar azufre. El anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>) es el contaminante crítico que indica la concentración de anhídrido sulfuroso en el aire.

Las fuentes emisoras de SO<sub>2</sub> pueden ser naturales (producen el 55,2%), como la descomposición de la materia vegetal o el efecto de los volcanes, y antropogénicas (44,7%), como las centrales térmicas (70% de las emisiones antropogénicas), combustión de derivados del petróleo (16%), craqueo del petróleo (4%), la metalurgia (Oroya) y siderurgia (4,5 %) (Chimbote).

Las industrias pueden emitir SO<sub>2</sub> directamente o emitir H<sub>2</sub>S que se oxida a SO<sub>2</sub>. Los procesos en los que se emite H<sub>2</sub>S son obtención de gas natural, craqueo del petróleo, industria del papel (menos importante)

Las centrales térmicas son las grandes emisoras de anhídrido sulfuroso. El principal problema es que el SO<sub>2</sub> se genera diluido con otros gases, por lo que resulta difícil aislarlo.

La fuente primaria del anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>) es la quema de combustibles fósiles, en particular el carbón. Se ha denominado al anhídrido sulfuroso como un contaminante que *“pasa a través de”* porque la cantidad de anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>) emitido al aire es casi la misma cantidad presente en el combustible (la quema de cien kilos de carbón que contienen siete kilos de azufre produce la

emisión aproximada de 14 kilos de anhídrido sulfuroso, siete kilos de azufre y siete de oxígeno).

Se ha encontrado que el anhídrido sulfuroso ( $\text{SO}_2$ ) perjudica el sistema respiratorio, especialmente de las personas que sufren de asma y bronquitis crónica. Los efectos del anhídrido sulfuroso empeoran cuando se combina con partículas agua o humedad del aire. Esto se conoce como efecto sinérgico porque la combinación de sustancias produce un efecto mayor que la suma individual del efecto de cada sustancia.

El anhídrido sulfuroso ( $\text{SO}_2$ ) también es responsable de algunos efectos sobre el bienestar de las plantas, animales y construcciones o monumentos, en la formación de lluvia ácida perjudicando lagos, ríos, hábitat de la vida silvestre y degradando las construcciones o monumentos.

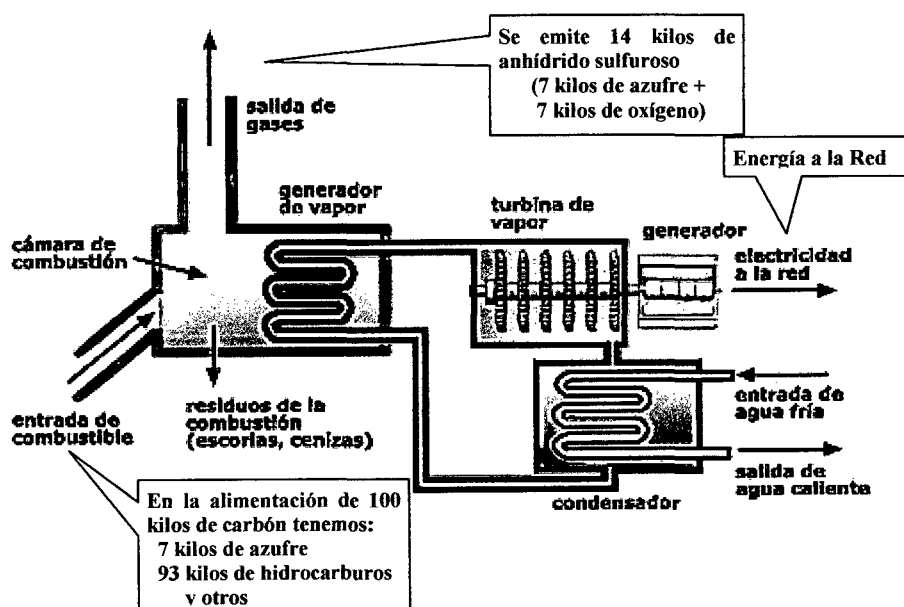


Figura 2.3.1 Emisión de anhídrido sulfuroso ( $\text{SO}_2$ ) en plantas térmicas.

## 2.4 GRADO DE PRESENCIA DE ANHÍDRIDO SULFUROSO ( $\text{SO}_2$ ) EN LA ATMÓSFERA

La concentración de  $\text{SO}_2$  mínima permitida en la atmósfera, es de un promedio anual de  $80 \text{ mg/m}^3$  y un promedio diario de  $365 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ . Este contaminante se



debe monitorear para su medición exacta y construir tablas o gráficos correspondientes. La importancia de mantener controlado la presencia del SO<sub>2</sub> radica en que éste es el precursor del material particulado fino (PM<sub>2.5</sub>), el que provoca serios daños a la salud humana.

Tabla 2.4.1 Composición del aire limpio y seco

<b>COMPONENTE</b>	<b>(%)VOLUMEN</b>	<b>COMPONENTE</b>	<b>(%)VOLUMEN</b>
Nitrógeno	78,084	Metano	0,0002
Oxígeno	20,9476	Oxido nitroso	0,00005
Argón	0,934	Ozono, verano	0-0,000007
		invierno	0-0,000002
Dióxido de Carbono	0,0314	anhídrido sulfuroso	0-0,0001
Neón	0,001818	Dióxido de nitrógeno	0-0,000002
Helio	0,000524	Amoniaco	0-trazas
Kriptón	0,000114	Monóxido de Carbono	0-trazas
Xenón	0,0000087	Yodo	0,000001
Hidrogeno	0,00005		

Fuente: [www.elmaky.com/ingenieria/composicion-del-aire-limpio-y-seco-cerca-del-nivel-del-mar.html](http://www.elmaky.com/ingenieria/composicion-del-aire-limpio-y-seco-cerca-del-nivel-del-mar.html), junio, 2000

Tabla 2.4.2 Clasificación de contaminantes según fuentes de emisión

<b>Fuente Emisora</b>	<b>Contaminante</b>	<b>Porcentaje Relativo</b>	<b>Total</b>
Transporte	CO	77,2	51,4
	Hidrocarburos	13,6	
	NO <sub>2</sub>	7,7	
	Aerosoles	0,8	
	SO <sub>2</sub>	0,7	
Combustión fija	SO <sub>2</sub>	55,0	15,7
	NO <sub>2</sub>	22,6	
	Aerosoles	16,3	
	CO	4,1	
	Hidrocarburos	2,0	
Industria	Aerosoles	36,4	14,1
	CO	30,3	
	SO <sub>2</sub>	18,9	
	Hidrocarburos	13,9	
	NO <sub>2</sub>	0,5	
Otras	CO	44,4	18,8
	Aerosoles	27,8	
	Hidrocarburos	22,4	
	NO <sub>2</sub>	4,9	
	SO <sub>2</sub>	0,5	

Fuente: Modelos de difusión atmosférica, Área de Proyectos de Ingeniería: Universidad de Oviedo-2004

En la Tabla 2.4.1 se presentan datos sobre la composición del aire limpio y seco; y en la Tabla 2.4.2 se listan los contaminantes del aire, según fuente de emisión, en la que el sector transporte es la fuente más contaminante.

## **2.5 ECOLOGÍA Y METEOROLOGÍA DE LA REGIÓN AYACUCHANA**

### **Ubicación geográfica**

El departamento de Ayacucho se encuentra ubicado en la región centro sur andina del país, en el área meridional de la cordillera de los Andes, a 2,746 m.s.n.m., entre los paralelos 12° 07'30" y 15° 37'00" Latitud sur y los meridianos 72° 50'19" y 75° 07'00" longitud oeste.

### **Topografía**

Su relieve es muy accidentado con pequeños valles y cruzado por dos cordilleras que lo dividen entre unidades orográficas; al noreste, selvático y tropical; al sur, altiplanicies y al centro la abrupta serranía, esto significa que su suelo se extiende por regiones de sierra y selva.

#### **2.5.1 Ecosistema**

Los ecosistemas son sistemas complejos como el bosque, el río o el lago, formados por una trama de elementos físicos (el biotopo) y biológicos (la biocenosis o comunidad de organismos). Un ecosistema es por definición un sistema, es decir un conjunto de elementos en interacción los unos con los otros, formando un todo coherente y ordenado. Es un sistema jerarquizado en que los elementos constitutivos son así mismo subsistemas estructurados. La naturaleza y la magnitud de los ecosistemas es variable. Un ecosistema es un sistema biológico formado por dos elementos indisociables, la **biocenosis** y el **biotipo**.

La **biocenosis** es el conjunto de organismos que viven juntos y el **biotipo** es el fragmento de la biósfera que proporciona a la biocenosis el medio abiótico indispensable. Un ecosistema presenta cierta homogeneidad topográfica,

climática, pedológica (es el estudio de los suelos en su ambiente natural), botánica y zoológica, que contiene recursos suficientes para mantener la vida<sup>4</sup>.

Ayacucho posee 27 zonas de vida (32% del total nacional) 104 zonas existentes en el planeta y una importante variedad genética que es aprovechada en forma de cultivo, crianza o manejo como: tubérculos y camélidos sudamericanos. También cuenta con buen potencial de recursos en el campo de la minería no metálica. La flora es constituida por plantas silvestres como el molle, chachas, cedro, nogal, tara, eucalipto, puya de Raimondi, lambras etc. En cuanto a la fauna existe alrededor de 150,000 camélidos. Las principales asociaciones vegetales, en Ayacucho, se encuentran en el Valle del Río Mayopampa, en las localidades de Manallasacc (la más accesible), Chanchayllo (el bosque más denso) y Vischongo (el bosque más extenso), en los distritos de Chiara y Vischongo, provincias de Huamanga y Vilcashuamán.<sup>5</sup>

Estos ecosistemas son muy variados y van desde ambiente muy áridos, como el desierto superárido, hasta los bosques muy húmedos, que corresponden a la región selvática, donde se aprecia una diversidad de hermosos paisajes, que cuentan con una gran riqueza florística.

La ecología estudia a la naturaleza como un gran conjunto en el que las condiciones físicas y los seres vivos interactúan entre sí en un complejo entramado de relaciones.

### **2.5.2 Funcionamiento del ecosistema**

El funcionamiento de todos los ecosistemas es parecido. Todos necesitan una fuente de energía que, fluyendo a través de los distintos componentes del ecosistema, mantiene la vida y moviliza el agua, minerales y otros componentes físicos del ecosistema. La fuente primera y principal de energía es el sol. En todos los ecosistemas existe, además, un movimiento continuo de los materiales. Los diferentes elementos químicos pasan del suelo, el agua o el aire a los organismos y

---

<sup>4</sup>DAJOZ, Roger; "Tratado de Ecología", 2002

<sup>5</sup>HOLDRIDGE, Leslie R; "Ecología basada en zonas de vida", 2000

de unos seres vivos a otros, hasta que vuelven, cerrándose el ciclo. En el ecosistema la materia se recicla y la energía fluye, generando organización en el sistema.

### **2.5.3 Estudio del ecosistema**

Presenta una orografía accidentada que agrava la transitabilidad en los periodos de lluvia, característica de los valles interandinos, dificultando la integración regional y la circulación de productos y personas. En la zona sur y centro, se configuran valles y altas mesetas mientras en el noreste su territorio colinda con la región amazónica (Valle del Río Apurímac y Mantaro).

Las características topográficas de la región Ayacucho, configuran un espacio sumamente accidentado, donde se encuentran dispersos altitudinalmente una *gran diversidad de pisos ecológicos y recursos naturales*, que van desde *500 m.s.n.m. (Valle del Río Apurímac) hasta los 5,000 m.s.n.m. (nevados de Ccarhuarazo, Sara Sara, Razhuilca)*, comprendiendo valles, quebradas y punas, con gran variedad de microclimas y zonas de vida natural (40 identificadas de las 84 que tiene el Perú, de las cuales 27 son de mayor importancia socioeconómica), que permiten el desarrollo de la enorme diversidad biológica existente.

Ayacucho cuenta con ecosistemas en los cuales se pueden desarrollar distintas actividades productivas: los pastos naturales tienen potencial ganadero; también encontramos ecosistemas con potencial agrícola para el cultivo de tuberosas (partes altas) y cereales (partes bajas); la presencia de cuerpos de agua ofrece potencial para la piscicultura y para la irrigación. Variedad de fauna existe un conjunto de humedales, estratégicos para la conservación de aves alto andinas, dado que son sitios de paso de aves migratorias. Resalta la presencia de guanacos, en especial, las vicuñas.

Los ecosistemas se estudian analizando las relaciones alimentarias, los ciclos de la materia y los flujos de energía.

#### **2.5.4. Situación actual de la ciudad de Ayacucho.**

##### **Clima**

La zona de estudio goza de un clima templado a cálido con una temperatura ambiental media anual del orden de 17° C, precipitación promedio multianual de 550 mm., humedad relativa media anual de 60% y valores de evaporación total media anual de alrededor de 1,800 mm., acorde a la información meteorológica registrada en la Estación Meteorológica de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

Al ser una región caracterizada por poseer amplias quebradas con amplios fondos planos presenta un conjunto de microclimas que varían de acuerdo al grado de altitud y que le permite poseer una gran diversidad biológica (destacando la diversidad de tubérculos y auquénidos), así el 45% de su territorio está conformado por zonas altas muy frías carentes de vegetación, el 24% por altas cordilleras nevadas y el 18% conformado por bosques subtropicales. A grandes rasgos su clima es templado cálido con una temperatura promedio de 16°C y con una humedad promedio del 56%. La época de lluvias comprende los meses de diciembre a marzo, cuando se producen normalmente huaycos y derrumbes, que dificultan la integración comercial de la región. Usualmente no suele suceder heladas, sin embargo, las temperaturas extremas mínimas ocurren durante los meses de mayo y junio con valores hasta de alrededor de -5° C pero que no tienen mayores efectos significativos en los cultivos de tipo agrícola.

**Suelos y pastos** La región cuenta con un total de 4,418 has. de suelos (que representan el 3.4% del total nacional) los cuales, al agruparlos bajo su capacidad de uso, reflejan la gran preponderancia de los que se encuentran bajo protección, que abarcan el 67.7% del total regional, seguido por aquellos para pastos, suelos para uso forestal y agrícola, respectivamente. Es importante mencionar que los suelos destinados para fines agrícolas y pastos se encuentran, al año 2000, en condición de sobre utilización en 45.7% y 9.2%, respectivamente, mientras que aún se cuenta con un 12.3% para los suelos de tipo forestal por utilizar, lo que sólo ha sido posible a costa de las áreas protegidas y de reservas de la región.

**Minería** Respecto al recurso minero, Ayacucho cuenta con una gran dotación de recursos minerales, destacando entre ellos el zinc y plomo. Asimismo se observa que posee un gran potencial en lo referente al oro, cobre y plata, tal cual muestra el cuadro adjunto. A pesar de ello, esta actividad económica es muy reducida en la región.

**Polución** Los ríos Alameda (que cruza la ciudad de Ayacucho), Huatatas y Muyurina se encuentran contaminadas. En el punto unión que es donde se encuentran con el efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) “La Totorá” con el río Alameda, se detecta una carga contaminante de coliformes fecales como se señala en la tabla 2.5.1 (valores para los años 2005 a 2010), estas aguas se unen posteriormente con el río Huatatas y Muyurina. La carga de coliformes fecales en la unión de ambos flujos está por encima del máximo permisible para uso en riego y/o en actividades recreativas, que es 1000 Coliformes Fecales [NMP / 100 mL].

Tabla 2.5.1 Coliformes Fecales (CF) [NMP/100 mL.] de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) “La Totorá”, 2005 - 2010

	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Salida PTAR	2.40E+05	8.04E+04	1.61E+05	1.93E+05	2.30E+05	2.41E+05
R. Alameda	1.36E+05	5.84E+05	1.30E+05	1.83E+06	2.70E+05	2.15E+05
Unión	7.70E+04	2.67E+05	2.39E+05	4.87E+05	4.73E+05	3.20E+05

Fuente: Gerencia Técnica PTAR - 2011

**Transporte** El parque automotor es el elemento de mayor contaminación de la atmósfera ayacuchana. Aproximadamente el 70% de las unidades tiene una antigüedad mayor de 15 años, como cataloga la Defensoría del Pueblo en el Informe Defensorial N° 136: Calidad del Aire y su Impacto en la Salud, además de deficiente mantenimiento vehicular.

El actual transporte urbano en la provincia de Huamanga tiene un conjunto de empresas de transporte urbano que presta servicios a la población ayacuchana, conformado por 18 líneas, que circulan por los principales distritos de la ciudad.

Existen empresas de servicio público de pasajeros interurbano que han registrado 379 unidades.

En cuanto a las empresas de servicio de transporte público en vehículos menores, referida básicamente a los “mototaxis” que circulan en la ciudad de Ayacucho, con personería jurídica y con la autorización de la Municipalidad Provincial de Huamanga y Distrital de Jesús de Nazareno, San Juan Bautista y Carmen Alto, dentro de su jurisdicción. Según datos de la Municipalidad (año 2010) existe un total 1030 mototaxis registrados legalmente, sin embargo, existe una cantidad de 1000 vehículos más aproximadamente operando informalmente, como se señala en el Plan de Desarrollo Institucional de la Municipalidad Provincial de Huamanga 2011-2014.

## **CAPÍTULO III**

### **3 PARQUE AUTOMOTOR Y DIAGNÓSTICO INDUSTRIAL DE AYACUCHO**

#### **3.1 VEHÍCULOS**

En el período de los años 2004-2010 el parque automotor de Ayacucho tuvo un comportamiento creciente; de 3882 unidades en el año 2004 se incrementó a 5716 unidades el año 2010, lo que representó un aumento del 47.24% como crecimiento vehicular, sin considerar los vehículos menores (Tabla 3.1.1).

Al comparar el año 2010 respecto al año 2009, se observa un incremento del 2.58%. del parque automotor de Ayacucho. Igualmente se observa el incremento de unidades de transporte de pasajeros con destino a Ayacucho.

Se determinó una tasa de 3.7% de crecimiento (proyección) vehicular (Tabla 3.1.2), para el año 2010 sobre la base de 5716 unidades. Se tuvo 5926 unidades el año 2011.



Tabla 3.1.1 Parque automotor y transporte de pasajeros estimado, cantidad de placas asignadas en el departamento de Ayacucho (2004-2010)

<b>DEPARTAMENTO AYACUCHO</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>
Parque Vehicular Estimado	3,882	3,919	3,969	4,153	5,404	5,572	5,716
Parque Vehicular Menores Mototaxis	-	17	40	50	765	44	212
Placas asignadas	133	120	134	271	1,360	279	260
Transporte de pasajeros estimado	829,360	854,808	837,837	845,554	835,862	738,539	693,940

Fuente: SUPERINTENDENCIA NACIONAL DE LOS REGISTROS PÚBLICOS –SUNARP,  
Elaboración: OGPP - Oficina de Estadística - MTC

En el caso de los vehículos menores (mototaxis) (Tabla 3.1.1), se refiere a vehículos registrados en la Superintendencia Nacional de Registros Públicos (SUNARP), haciendo un total al año 2010 de 1,128 unidades. La Municipalidad Provincial de Huamanga reportó 1030 unidades de los formalmente inscritos y 1000 unidades informales, sumando un total de 2030 mototaxis.

Tabla 3.1.2 Proyección del parque automotor del departamento de Ayacucho al año 2011

<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>TASA PROMEDIO ANUAL</b>
5,716	5,926	3.7

Fuente: SUPERINTENDENCIA NACIONAL DE LOS REGISTROS PÚBLICOS – SUNARP  
Elaboración: OGPP - Oficina de Estadística – MTC

En la Figura 3.1.1. se observa el comportamiento del parque automotor del departamento de Ayacucho durante el periodo de los años 2004 al 2010.

Según la Tabla 3.1.2 el año 2010 el parque automotor se encontraba saturado con más de 5500 unidades, de los cuales un gran porcentaje superaba los 15 años de operación y con un deficiente mantenimiento, que originaba de este modo la emisión de gases de combustión con un alto contenido de monóxido y el dióxido de carbono, anhídrido sulfuroso, etc. contaminantes de la atmósfera. Además, la población ayacuchana produjo 119.5 TM/día de residuos sólidos, el 60.48 % provenía de desechos domiciliarios y 24% de los mercados; de los cuales el

81.97% fue desecho aprovechable y el 11.27% desecho peligroso, tal como se muestra en el Plan de Desarrollo Institucional de la Municipalidad Provincial de Huamanga 2011-2014. El arrastre y depósito de tierra, arena, piedras, etc. en las calles de Ayacucho en época de lluvias y su posterior secado contaminan el ambiente, perjudicando el sistema respiratorio de los transeúntes. El uso indiscriminado de fertilizantes y pesticidas en la producción de alimentos trae como consecuencia la contaminación del suelo, aire, agua y los alimentos.

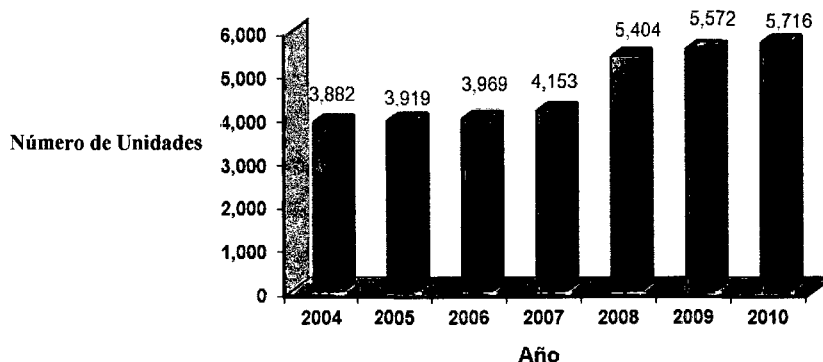


Figura 3.1.1. Parque vehicular de Ayacucho

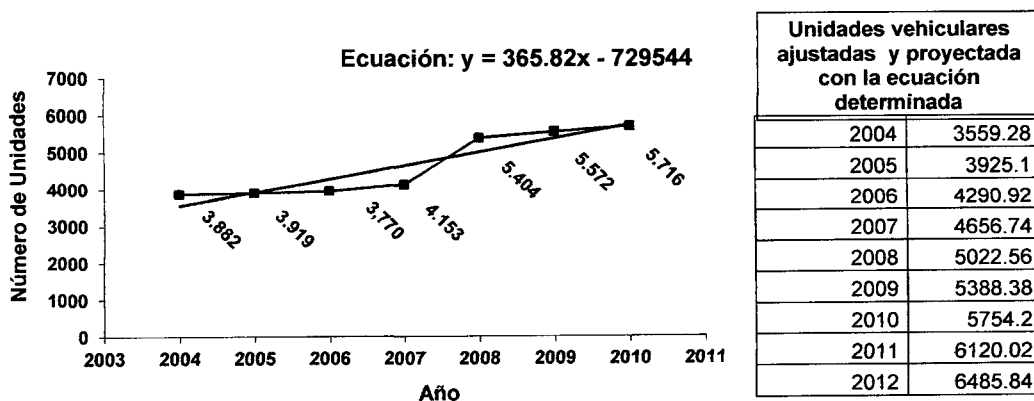


Figura 3.1.2. Proyección del Parque Automotor en Ayacucho

La población ayacuchana diariamente enfrenta una congestión vehicular que incrementa los contaminantes del aire. Se observa en las mañanas y tardes, en el ambiente como una opacidad o nubosidad creciente, una especie de “colchón” oscuro que es indicador del aumento progresivo en la contaminación atmosférica,

también se depositan sobre los muebles y otros enseres una capa de polvo fino, material particulado, en la ropa queda un huella de “ollín” producto de la mala combustión vehicular.

### 3.1.1 Población distrital de Ayacucho

Ayacucho, abarca una superficie de 43,814.80 km<sup>2</sup> con una densidad poblacional de 14.50 Hab/Km<sup>2</sup> al 2008, siendo a nivel nacional el octavo departamento en orden de extensión, correspondiendo el 88.7% a la región sierra y el 11.3% a la ceja de selva.

Debe observarse que zona urbana es la que soporta mayor densidad poblacional, dejando al sector rural casi despoblado, asimismo la división poblacional por sexo está aproximadamente al 50%, como se observa en la Tabla 3.1.4.

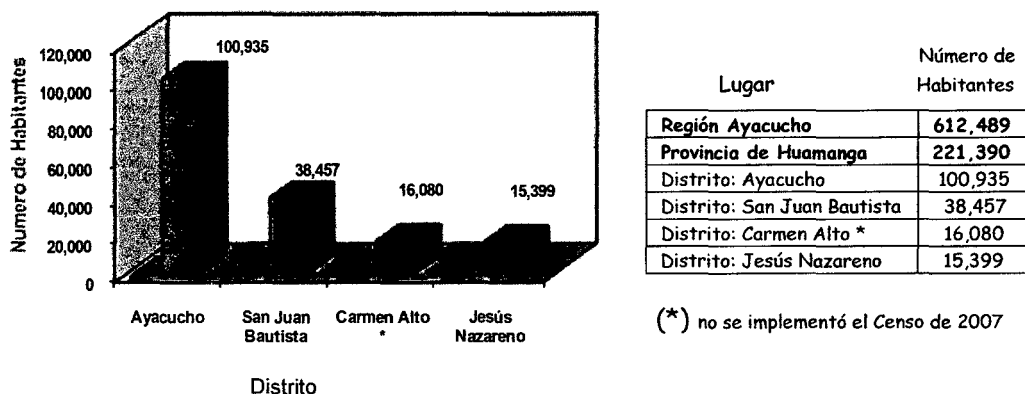


Figura 3.1.3 Población Distrital - Ayacucho

Fuente: INEI- Censos Nacionales 1971, 1981, 1993 y 2007

Según las proyecciones poblacionales del INEI, el 2010 el departamento contaría con 650 718 habitantes (2,2 por ciento del total nacional) siendo la provincia de Huamanga la que concentra la mayor población (38,6 por ciento del total departamental). Su última tasa de crecimiento inter censal del año 2007, es de 1,5 por ciento, además de tener una distribución casi equilibrada de la población según sexo.

Tabla 3.1.4 Población de la Provincia de Huamanga y sus Distritos, según sexo

Provincia y Distrito	Total	Hombre	Mujer
<b>Departamento Ayacucho</b>	<b>612 489</b>	<b>304 142</b>	<b>308 347</b>
<b>Huamanga</b>	<b>221 390</b>	<b>108 027</b>	<b>113 363</b>
Ayacucho	100 935	49 248	51 687
Acocro	8 953	4 433	4 520
Acos Vinchos	5 100	2 547	2 553
Chiara	6 307	3 102	3 205
Jesús Nazareno	15 399	7 455	7 944
Ocros	5 615	2 840	2 775
Pacaycasa	2 842	1 458	1 384
Quinua	6 115	2 931	3 184
San José de Ticllas	2 442	1 162	1 280
San Juan Bautista	38 457	18 684	19 773
Santiago de Pischa	1 467	702	765
Socos	6 903	3 346	3 557
Tambillo	5 068	2 569	2 499
Vinchos	15 787	7 550	8 237

Fuente: INEI- Censos Nacionales 1971, 1981, 1993 y 2007

### Gases de digestión humana

Los gases generados en la digestión humana están formados principalmente por dióxido de carbono, oxígeno, nitrógeno e hidrógeno y en ocasiones metano. Al igual que el hidrógeno la única fuente de metano (CH<sub>4</sub>) en los seres humanos es el metabolismo de las bacterias colónicas. La reacción química para producir metano, utiliza 5 moles de gas para 1 mol de CH<sub>4</sub> por lo que reduce notoriamente el volumen de gas que de lo contrario estaría presente en el colon. Alrededor de 1/3 de la población adulta tiene altas concentraciones de metanógenos y excreta apreciable CH<sub>4</sub>. La tendencia de un individuo de producir o no metano no es bien conocida y parece estar determinada por factores ambientales más que genéticos. Las deposiciones en estas personas tienen tendencia a flotar en el agua. Los gases en general son inodoros debiéndose el olor agresivo y la flatulencia a la acción bacteriana del intestino grueso que libera pequeñas cantidades de sulfuro de hidrógeno (típico olor a huevos podridos), metilmercaptano (olor a carne podrida), y escatol, una sustancia de muy mal olor.

Como se observa la contaminación del aire por parte de los gases de digestión humana es muy pequeña, respecto al sulfuro.

### 3.2 COMBUSTIBLES UTILIZADOS

En la ciudad de Ayacucho, operan más de 18 líneas de servicio de transporte urbano, con un total de 379 unidades, y la gran mayoría de estos vehículos sobrepasan los 15 años del tiempo de vida, lo que indica un incremento en la mayor contaminación ambiental, originando gran consumo de combustible motivado por la deficiente combustión en los motores. Este problema debe solucionarse realizando un control permanente del tiempo de vida de las unidades por las dependencias competentes tales como la Municipalidad, Policía de Tránsito, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, entre otros.

Tabla 3.2.1 Tipos de combustible que se usa en los hogares, respecto al total de viviendas en el departamento de Ayacucho.

Tipo de combustible	Total		Área urbana		Área rural	
	Absoluto	%	Absoluto	%	Absoluto	%
<b>Total</b>	<b>163 147</b>	<b>100.0</b>	<b>91 966</b>	<b>100.0</b>	<b>71 181</b>	<b>100.0</b>
Electricidad	310	0.2	293	0.3	17	0.0
Gas	35 956	22.0	33 973	36.9	1 983	2.8
Kerosene	648	0.4	486	0.5	162	0.2
Carbón	303	0.2	149	0.2	154	0.2
Leña	115 341	70.7	53 753	58.4	61 588	86.5
Bosta, estiércol	7 026	4.3	672	0.7	6 354	8.9
Otro	243	0.1	61	0.1	182	0.3

Fuente: INEI – Censos Nacionales 2007: XI de Población y VI de Vivienda.

El tipo de combustible más usado en las cocinas de los hogares ayacuchanos fue la leña. Lo utilizaron 115 mil 341 hogares (70,7%). El gas fue utilizado por 35 mil 956 hogares (22,0%). En el área urbana de Ayacucho, el 58,4% de los hogares recurrieron a la leña, seguido por el uso del gas, 33 mil 973 hogares (36,9%). Presenta un menor consumo la bosta o estiércol (0,7%), kerosene (0,5%), electricidad (0,3%). El combustible menos usado en los hogares urbanos de Ayacucho fue el carbón y otros combustibles entre 0,2% y 0,1%, respectivamente. En el área rural, igualmente la leña fue la más utilizada por el 86,5% de los hogares, seguida en menor porcentaje por la bosta o estiércol (8,9%) y gas (2,8%).

Tabla 3.2.2 Tipos de combustible que se usa en los hogares, respecto al total de viviendas, según provincia del Departamento de Ayacucho.

Provincia	Número de Vivienda	Energía o combustible que más utilizan para cocinar							No utilizan
		Electricidad	Gas	Kerosene	Carbón	Leña	Bosta, Estiércol	Otro	
TOTAL	163 147	310	35 956	648	303	115 341	7 026	243	3 320
Huamanga	55 464	175	22 651	271	98	29 905	1 132	37	1 195
Cangallo	9 828	6	423	11	14	8 155	1 117	1	101
Huancasancos	3 506	3	275	6	3	2 566	619	0	34
Huanta	23 210	33	3 944	97	47	17 985	631	160	313
La Mar	21 387	21	1 859	30	45	18 705	215	10	502
Lucanas	19 325	41	3 599	139	42	13 680	1 188	25	611
Parinacochas	8 221	10	1 760	50	27	5 047	1 134	4	189
Páucar del Sara Sara	3 264	5	593	11	1	2 455	98	3	98
Sucre	3 837	8	198	12	4	3 245	319	0	51
Víctor Fajardo	8 013	4	462	4	9	6 947	430	0	157
Vilcas Huamán	7 092	4	192	17	13	6 651	143	3	69

Fuente: INEI – Censos Nacionales 2007: XI de Población y VI de Vivienda.

A nivel de provincias, según datos de la Tabla 3.2.2, y respecto al uso de la leña, se infiere que después de Huamanga con 29 mil 905 hogares, las provincias que más lo utilizaron fueron La Mar (16,2%), Huanta (15,6%) y Lucanas (11,9%). Los que menos usaron la leña como combustible para cocinar fueron Huancasancos (2,2%) y Páucar del Sara Sara (2,1%). El gas en mayor porcentaje, fue empleado en los hogares de las provincias de Huamanga (63,0%), Huanta (11,0%) y Lucanas (10,0%); mientras que los hogares de las provincias de Páucar del Sara Sara (1,6%), Huancasancos (1,0%), Víctor Fajardo y Vilcas Huamán (1,3% cada uno) usan con menor frecuencia la electricidad.

### 3.3 ESTADÍSTICA INDUSTRIAL DE AYACUCHO

La región Ayacucho alcanza menos del 0.1% de las exportaciones totales y 1.06% del PBI nacional. Además, aglomera alrededor del 2.1% de la población del Perú. Como resultado, la pobreza alcanza al 72.7% de la población, del cual 30.9% son pobres extremos. Ayacucho exhibe una variedad importante de productos para exportación principalmente en la minería y sector agropecuario; destacando el cacao, la tuna, la cochinilla, el barbasco, la tara, la vicuña y las artesanías, entre otros.

Se debe prestar particular atención en la explotación de los recursos como la tara, artesanías, holantao y otros. El criterio de selección se basa en el análisis de la demanda externa, oferta y potencial exportador, generación de empleo y articulación empresarial. El desarrollo de la capacidad exportadora está afectado por limitaciones que requieren solución, como escaso acceso a los mercados financieros, falta de infraestructura adecuada, ausencia de organización empresarial, frágil integración y desarrollo tecnológico, débil apoyo institucional a las Pequeñas y Medianas Empresas (PYMES), baja capacidad de generar valor agregado, frágil organización en cadenas productivas y bajo nivel de productividad de los recursos humanos.

### **3.3.1 Actividad agrícola**

Se observa en la Tabla 3.3.2, que la actividad agrícola en la región de Ayacucho está centrada en cultivo de alfalfa, papa, maíz amiláceo, trigo y cebada, observándose la evolución productiva desde el año 2000 hasta el 2009.

Ayacucho por su ubicación geográfica, en la serranía del Perú, zona central, es poco favorecido con el recurso hídrico y fertilidad territorial pero aún así se observa que la actividad agrícola tiene representatividad nacional en las especies indicadas, bajo la utilización de técnicas tradicionales siguen explotando los recursos naturales de la región de Ayacucho, también se dedica una buena parte del tiempo al trabajo artesanal como la cerámica, talabartería, retablos, escultura y el negocio mercantil, etc., la carencia de recurso hídrico disminuye la producción ganadera, el desarrollo de la micro, pequeña, mediana y/o gran industria. Hace mucho tiempo fue descuidado esta zona de alguna preferencia gubernamental de impulsar el desarrollo técnico – económico, por todo ello los pobladores han desarrollado la manufactura artesanal y el comercio.

En la región Ayacucho se ha incrementado considerablemente el aprovechamiento de los recursos naturales, básicamente la tuna, cochinilla y la tara. La producción de la Tuna (Tabla 3.3.1), se muestra el rendimiento de la producción de tuna fruta; asimismo tenemos el rendimiento de la producción exportación de la Cochinilla y Carmín de Cochinilla (Tabla 3.3.4).

Tabla 3.3.1 Evolución de la producción de tuna durante los años 2000 al 2009

Concepto	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009*
Superficie (Has.)	2 974	2 499	2 697	2 494	2 539	2 557	2 538	2 646	2 952	2 592
Rendimiento (Tm/Ha)	7.97	5.26	5.39	5.10	5.27	5.28	5.44	5.46	4.75	5.60
Producción (Tm.)	23 687	13 142	14 527	12 826	13 368	13 503	13 815	14 438	14 009	14 515

(\*) Información de enero – setiembre 2009

Fuente: Dirección Regional de Agricultura – DIA, Ayacucho

Tabla 3.3.2 Producción de principales cultivos agrícolas durante los años 2000 - 2009 (toneladas)

CULTIVO	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009*
Arroz cáscara	3 841	1 392	901	1 109	1 025	845	1 253	856	912	679
Maíz amiláceo	13 922	13 723	10 344	15 627	12 220	13 710	13 757	14 022	16 623	16 594
Frijol G.S.	1 798	1 304	895	802	794	1 092	933	1 312	1 503	1 605
Papa	144 020	129 962	100 499	129 893	84 047	128 501	182 261	168 181	247 904	232 356
Trigo	10 291	9 399	6 403	8 465	6 726	7 593	8 903	9 387	10 173	10 325
Maíz ama.Duro	3 327	2 207	1 364	2 115	1 391	1 434	1 700	1 865	1 812	1 660
Café	4 715	3 547	3 649	4 142	4 260	4 073	4 221	4 435	4 423	4 433
Cebada grano	11 009	11 134	8 862	10 977	9 013	9 328	10 768	10 598	13 580	14 385
Quinua	1 444	1 144	752	1 070	908	1 001	1 368	1 209	1 721	1 771
Haba G.S.	2 640	2 869	1 978	3 836	3 236	3 727	4 192	4 020	5 447	5 222
Ajo	1 772	2 413	1 512	1 412	639	641	1 533	1 914	1 984	1 229
Cebolla	5 389	5 211	2 311	2 565	1 822	1 991	2 740	2 514	2 927	2 733
Camote	825	939	504	390	255	242	170	324	392	269
Yuca	18 484	23 692	13 638	7 854	6 623	6 316	8 488	8 496	9 640	8 564
Naranja	3 424	3 322	3 439	3 562	3 449	3 335	3 636	3 832	3 802	3 668
Plátano	4 425	2 515	2 741	3 210	3 648	3 708	3 893	6 096	6 377	5 199
Palto	1 223	1 368	1 438	1 726	1 725	1 928	1 810	2 085	2 272	2 455
Cacao	6 297	5 393	5 738	5 722	5 993	5 249	5 834	6 359	6 313	5 976
Arveja G.S.	1 780	1 891	1 389	2 077	2 303	2 386	2 689	2 840	3 561	3 651
Maíz choclo	6 172	5 767	3 871	6 103	4 201	4 927	5 189	6 427	7 128	7 995
Olluco	7 233	7 073	5 331	6 965	8 081	6 556	8 566	6 726	10 788	10 130
Achiote	211	81	85	84	96	124	133	172	190	111
Alfalfa	159 836	205 693	298 402	210 056	218 887	224 838	242 658	245 194	269 682	260 331
Papaya	2 620	727	1 168	1 153	1 185	1 525	1 378	1 935	2 550	1 905
Piña	4 423	2 035	2 634	2 576	2 759	2 498	2 846	3 301	3 283	930
Achita	320	429	182	231	---	---	---	---	---	---
Oca	5 984	5 837	4 780	4 343	5 544	5 349	4 872	3 733	5 737	5 307
Mashua	5 078	5 436	4 152	4 343	4 128	3 735	3 010	2 642	3 991	3 897

(\*) Información de enero a setiembre 2009

Fuente: Dirección Regional de Agricultura – DIA, Ayacucho. 2010

La actividad pecuaria tiene un avance considerable, veamos la Tabla 3.3.3., en a que destacan el ganado porcino, ganado vacuno, gran avance de alpacas y la producción de leche, lo que indica este último el uso de la leche y su procesamiento para la obtención de los derivados lácteos.



Tabla 3.3.3 Población pecuaria, según especie (2000 – 2009)

ESPECIE	POBLACIÓN PECUARIA									
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009**
Aves	749 000	751 000	698 000	614 000	566 000	591 000	584 000	596 000	553 000	650 200
Ganado Ovino	957 563	887 627	921 189	891 036	859 133	905 080	820 966	846 254	849 515	839 240
Ganado Porcino	150 475	139856	143148	141 982	152 582	158 020	147 505	156 990	164 001	160 482
Ganado Vacuno	418 384	417 623	423 593	424 671	407 412	445 510	402 448	418 853	422 321	433 280
Alpaca	160 384	165 691	171 950	196 356	192 507	193 467	156 155	166 666	191 739	203 016
Llama	122 952	113 039	124 128	128 356	127 097	128 288	119 003	129 320	134 210	121 678
Ganado Caprino	257 123	248 366	268 117	260 646	246 987	245 589	213 196	217 816	214 034	211 965
Ganado lechero	57 965	58 116	58 699	58 552	55 641	60 927	55 685	57 638	69 608	74 012
Prod. De Leche*	43 536	16 573	19 362	18 221	16 735	25 859	20 268	21 988	33 893	40 978

(\*): Miles de litros

(\*\*): Información enero – setiembre 2009

Fuente: Dirección Regional de Agricultura – DIA, Ayacucho 2010

Tabla 3.3.4. Exportación de cochinilla y carmín de cochinilla (1992 – 2008)

AÑO	TOTAL		COCHINILLA		CARMÍN DE COCHINILLA	
	Peso bruto (kg)	Valor FOB (US dólares)	Peso bruto (kg)	Valor FOB US dólares)	Peso bruto (kg)	Valor FOB (US dólares)
1992	372 218	15 193 523	217 267	3 561 234	154 951	11 542 289
1993	274 866	9 177 101	177 321	2 349 920	97 545	6 827 181
1994	127 058	10 524 941	3 098	520 459	123 960	10 004 482
1995	376 767	32 001 959	289 663	15 622 429	87 104	16 379 530
1996	436 288	33 430 100	379 000	26 212 100	26 500	7 218 000
1997	405 500	33 430 100	379 000	26 212 100	26 500	7 218 000
1998	427 700	16 022 700	386 500	11 362 200	41 200	4 660 500
1999	440 000	13 401 600	396 300	9 284 100	43 700	4 117 500
2000	433 051	10 204 417	361 572	5 988 249	71 479	4 216 168
2001	373 100	9 468 600	263 400	4 450 600	109 700	5 018 000
2002	442 800	9 785 300	295 500	4 262 000	147 300	5 523 300
2003	536 900	10 697 600	273 700	3 877 800	263 200	10 695 797
2004	507 026	16 002 629	260 636	5 306 832	246 390	10 695 797
2005 *	586 311	17 957 901	279 334	5 157 028	306 977	12 800 873
2006 *	557 436	19 185 981	197 835	3 613 285	359 601	15 572 697
2007 *	623 307	21 216 091	148 235	2 307 764	475 072	18 908 327
2008 *	565 628	14 790 130	173 615	2 937 523	392 013	11 852 608

(\*): Preliminar

Fuente: Instituto Nacional de Recursos Naturales

### 3.3.2. Actividad minera

La actividad minera en la región de Ayacucho no es significativa, pero explota plata, cobre, zinc, plomo y oro; como producción representativa y se pueda decir que Ayacucho contribuye con la minería peruana. Estos centros mineros se hallan fuera de la ciudad de Ayacucho, y la acción contaminante ambiental es relativamente nula.

Tabla 3.3.5 Producción minera de principales metales, según principales metales

PRODUCTO	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009*
Cobre (t)	125.0	127.0	15 548.0	16 261.0	153.0	349.5	434.1	523.4	448.3	619.7
Plomo (t)	2 903.0	4 559.0	4 650.0	2 406.6	2 848.6	5 242.3	6 164.4	5 979.8	6 971.6	3 981.5
Zinc (t)	4 938.0	8 506.0	6 705.0	7 101.0	9 360.5	10 412.8	15 528.6	20 309.3	21 493.2	18 639.0
Plata (kg)	3.5	4.5	22.4	17.3	17.0	8.6	8.6	32.5	150 319.8	201 020.7
Oro (kg)	995.0	34.0	9.0	19.0	17.2	27.0	272.0	1 696.2	4 327.1	3 408.7

t: tonelada; kg: Kilogramos

(\*): Información enero – setiembre 2009

Fuente: Ministerio de Energía y Minas – Dirección General de Minería-

La Tabla 3.3.5 muestra las cantidades comparativas de la producción minera de la región Ayacucho ante el Perú, nótese que la producción de plata ha repuntado fuertemente en el 2009, así también el zinc, plomo, pero es bajo el cobre. El caso del oro se mide en kilogramos de contenido fino.

### 3.3.3. Actividad de pesca

En la región Ayacucho se practica la pesca continental así denominada por la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO) a los ríos y lagos, dentro de esta actividad está la piscicultura actividad de crianza y pesca significativa de truchas habiendo recobrado importancia en los últimos años.

La producción de trucha, Tabla 3.3.6, en el periodo 2000-2009 tendió a un comportamiento de baja producción, de 82 mil 395 kg en el año 2000 disminuyó a 46 mil 942 kg para el año 2008 (disminución de 43,03%). En los últimos años la mayor producción se dio el año 2002 con 87 mil 747 kg, después se manifestó una tendencia a la disminución en su producción hasta el año 2007, recuperándose paulatinamente.

El precio de venta por kilo se mantuvo, desde el año 2000, en S/.8.00 el kg, para incrementarse a S/. 9.00, S/. 9,50, S/ 10,00 el kilogramo en los años 2007, 2008 y 2009, respectivamente, a la fecha es de S/. 13.00.

Existen extracciones de otros recursos hidrobiológicos en cantidades muy reducidas que no son consideradas estadísticamente.

Tabla 3.3.6 Producción y precio de truchas

VARIABLE	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009*
Producción (kg)	82 395.0	60 412.0	87 747.0	61 987.0	56 077.0	55 750.0	46 279.0	41 473.0	46 942.9	29 133.7
Precio Venta(S./kg)	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	9.00	9.50	10.00

(\*): Información enero – setiembre 2009

Fuente: Dirección Regional de Producción - Ayacucho

En el año 2004, del total de la producción de truchas a nivel de centro productor se tiene a la Estación Pesquera Ayacucho (EPA) con el 78,27%, seguido en menor producción por el Centro Piscícola de Tunsulla y Centro Piscícola de Lirio con 16,30% y 5,43% respectivamente. La poca, casi nula, capacidad hídrica en Ayacucho, por la ausencia de grandes ríos, lagunas, obstaculiza el desarrollo de la explotación de este recurso y de alguna forma organizada se implementan los criaderos de trucha.

Estos criaderos, inicialmente artesanales luego más sofisticados, con la ayuda y asesoramiento de entidades especiales y la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, llegan a marcar un hito en la estadística nacional en este rubro, por ello cabe mencionar este reporte del Instituto Nacional de Estadística e Informática dentro del rubro pesquería.

### 3.3.4. Negocios y movimiento turístico

En la Tabla 3.3.8 se observa que el año 2008, visitaron Ayacucho 138 mil 883 turistas de los cuales el 2,94% fueron visitantes extranjeros y con permanencia de 40.94 días promedio.

Los visitantes nacionales llegados de los diferentes departamentos del país fueron 132 mil 801, permaneciendo un promedio de 19.14 días.

En general el promedio de días que permanecieron los turistas nacionales y extranjeros, fue de 19,76 días.

A partir del año 2008, la visita y permanencia del turista extranjero y nacional se incrementó considerablemente de 1.63 a 19,76 días, lo que significó una mayor residencia en nuestra localidad, mayor uso de hospedajes, restaurantes, transporte y otros. Se registró mayor afluencia de turistas a los centros históricos e incremento en la organización de tours de visita.

Asimismo en la Tabla 3.3.7 se observa un incremento muy notorio de los establecimientos y servicios destinados al turista, de modo que el visitante esté satisfecho.

Tabla 3.3.7 Capacidad instalada de hospedaje, agencia de viaje, restaurantes, discotecas y peñas (2000 – 2009).

Rubro	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009*
Establecimientos de hospedaje	49	46	47	53	88	93	88	93	84	93
Habitación	890	848	853	924	1 425	1 528	2 215	1 725	1 638	1 898
Camas	1 677	1 583	1 521	1 713	2 521	2 634	3 916	3 026	2 638	3 223
Personal ocupado	178	170	192	209	281	290	429	385	342	354
Agencia de viaje	10	10	11	9	9	9	11	11	11	11
Restaurante	130	130	130	130	130	130	130	---	---	---
Discoteca	10	10	10	11	12	12	12	---	---	---
Peña	---	---	9	9	9	9	9	---	---	---

(\*): Información enero – setiembre 2009

Fuente: Dirección Regional de Comercio Exterior y Turismo – Ayacucho 2010

Esta actividad sustenta la creación o formación de toda una red de actividades, tales como la organización de grupos, movilidad local, declaración de zonas turísticas, circuitos, guías turísticas, alimentación, transporte nacional, hospedaje, lugares de esparcimiento, entidades de cambio monetario, etc. Por lo descrito se tiene una actividad compleja que puede llevar una ciudad a niveles económicos considerables. En los aspectos de consumo de combustible, esta actividad

contribuye a la contaminación ambiental, por que utiliza vehículos, cocinas, etc. aún que el nivel de contaminación sea mínimo como corresponde a una actividad creciente.

Tabla 3.3.8. Flujo turístico nacional y extranjero en los establecimientos de hospedaje, según modalidad (2000 – 2009)

Modalidad	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009*
<b>ARRIBO</b>										
Total	73 912	64 301	68 025	79 596	95 631	116 527	148 983	129 121	136 883	105 921
Nacional	70 213	60 721	64 387	74 151	91 269	112 519	142 872	125 501	132 801	102 325
Extranjero	3 699	3 580	3 638	5 445	4 362	4 008	6 111	3 620	4 082	3 596
<b>PERNOCTACIÓN</b>										
Total	118 543	103 840	111 904	135 711	155 934	186 493	243 065	210 758	225 638	166 413
Nacional	109 877	96 026	100 030	120 468	144 002	176 449	229 293	199 911	211 901	156 237
Extranjero	8 666	7 814	11 874	15 243	11 932	10 044	13 772	10 847	13 737	10 176
<b>PERMANENCIA**</b>										
Promedio	1.60	1.61	1.65	1.70	1.63	1.60	1.63	1.63	19.76	14.14
Nacional	1.56	1.58	1.55	1.62	1.58	1.57	1.60	1.59	19.14	13.74
Extranjero	2.34	2.18	3.26	2.80	2.74	2.51	2.25	3.04	40.94	26.25

(\*): Información enero – setiembre 2009

(\*\*): Unidades en días por persona

Fuente: Dirección Regional de Comercio Exterior y Turismo – Ayacucho 2010

### 3.3.5. Actividad financiera

La liquidez del sistema financiero es la obligación monetaria del sistema bancario, cooperativo, cajas, etc., con el sector privado o población a quien se dirige.

En el año 2008, tabla 3.3.9, como depósitos totales del sistema financiero alcanzó 136 millones 372 mil nuevos soles, que respecto al año anterior, 2007, significó un aumento de 65,46%.

Tabla 3.3.9 Créditos directos y depósitos de la banca múltiple (miles de soles)

VARIABLE	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009*
<b>Créditos directos</b>										
<b>Total</b>	<b>14 659</b>	<b>17 745</b>	<b>20 065</b>	<b>20 048</b>	<b>22 836</b>	<b>35 051</b>	<b>48 830</b>	<b>91 210</b>	<b>171 107</b>	<b>193 291</b>
Moneda nacional	12 654	15 725	18 115	18 154	20 036	30 131	40 797	67 510	126 568	148 101
Moneda extranjera	2 005	2 020	1 950	1 894	2 800	4 920	8 033	23 700	44 539	45 190
<b>Depósitos a la vista</b>										
<b>Total</b>	<b>18 513</b>	<b>11 855</b>	<b>8 467</b>	<b>13 088</b>	<b>13 934</b>	<b>11 616</b>	<b>11 832</b>	<b>19 586</b>	<b>30 286</b>	<b>35 153</b>
Moneda nacional	16 579	10 835	7 450	9 301	10 928	9 713	8 866	15 844	27 067	31 053
Moneda extranjera	1 934	1 020	1 017	3 787	3 006	1 903	2 966	3 743	3 220	4 100
<b>Depósitos de Ahorro</b>										
<b>Total</b>	<b>51 026</b>	<b>49 824</b>	<b>53 303</b>	<b>45 540</b>	<b>43 173</b>	<b>53 726</b>	<b>53 286</b>	<b>43 880</b>	<b>72 179</b>	<b>87 067</b>
Moneda nacional	16 106	18 408	21 534	19 822	23 305	31 568	32 085	26 055	45 589	58 892
Moneda extranjera	34 920	31 416	31 769	25 718	19 868	22 158	21 201	17 825	26 590	28 175
<b>Depósito a Plazo</b>										
<b>Total</b>	<b>15 962</b>	<b>15 513</b>	<b>18 640</b>	<b>16 516</b>	<b>14 555</b>	<b>14 826</b>	<b>12 232</b>	<b>18 954</b>	<b>33 907</b>	<b>29 498</b>
Moneda nacional	2 491	3 386	4 068	4 268	4 751	5 548	3 876	5 439	15 472	12 170
Moneda extranjera	13 471	12 127	14 572	12 248	9 804	9 278	8 356	13 515	18 435	17 327
<b>Depósitos Totales</b>										
<b>Total</b>	<b>85 501</b>	<b>77 192</b>	<b>80 401</b>	<b>75 144</b>	<b>71 662</b>	<b>80 168</b>	<b>77 350</b>	<b>82 420</b>	<b>136 372</b>	<b>151 718</b>
Moneda nacional	35 176	32 629	33 052	33 391	38 984	46 829	44 827	47 338	88 127	102 115
Moneda extranjera	50 325	44 563	47 358	41 753	32 678	33 339	32 523	35 082	48 245	49 602

(\*): Información enero –setiembre 2009

Fuente: Superintendencia de Banca y Seguros 2010

La banca ha tenido un crecimiento importante en Ayacucho, como se infiere de la Tabla 3.3.9 para el sistema financiero, se observa que como créditos directos o colocaciones, en el año 2008 ascendió a 171 millones 107 mil soles y en ahorros se tuvieron 72 millones 179 mil soles, observándose que las cantidades en todos los rubros prácticamente duplicaron lo del año anterior 2007.

Estas cifras indican un buen financiamiento en préstamos, dirigido a la actividad empresarial y comercial de Ayacucho, como reflowtamiento empresarial, adquisición de vehículos, etc.

### 3.3.6. Estructura productiva de Ayacucho.

El aporte de la región Ayacucho al PBI nacional es 0.9 %, lo que refleja la escasa producción generada en esta región. En cambio, la producción de la región Lima es 47.5 %, indicando una alta centralización de la economía nacional.

En los últimos censos se evidencia que entre 1981 y el 2007 la PEA de los sectores primarios ha sufrido una fuerte disminución del 74.3 % al 48.6 %, por efecto de la migración del campo a la ciudad; pero a pesar de ello, las actividades del sector primario siguen siendo la base de la economía regional, tanto por la magnitud de la PEA ocupada como por el PBI generado. En el sector agropecuario se encuentra cerca de la mitad de la PEA total, donde representa el 46,0 %, mientras que en las economías desarrolladas apenas 4,2% de la PEA se dedica a esta actividad. Ello evidencia el bajo nivel tecnológico alcanzado por este sector en Ayacucho y, consiguientemente, su bajo rendimiento en general<sup>6</sup>.

Tabla 3.3.10 Estructura Porcentual de la Población Económicamente Activa (PEA) y Producto Bruto Interno (PBI) por Actividad - Región Ayacucho

PBI por ramas de actividad	1981		1993		2007	
	PEA	PBI	PEA	PBI	PEA	PBI
Agricultura y pesca	72.5	28.2	58.3	25.4	46.0	20.9
Minería e hidrocarburos	1.8	3.7	2.0	4.4	2.6	6.7
Industria manufacturera	2.7	8.1	3.2	8.8	3.8	10.7
Electricidad, agua	0.0	0.1	0.0	0.3	0.1	0.5
Construcción	3.0	9.6	5.2	10.0	4.7	11.8
Comercio	8.1	10.5	9.2	12.5	11.9	14.2
Servicios	11.9	39.8	22.1	38.6	30.9	35.2
<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>

Fuente: INEI, Censos de Población 1981, 1993 y 2007  
INEI, Cuentas Nacionales 1981, 1993 y 2007

Las cifras anteriores indican que la economía en el área rural estuvo basada en la actividad agropecuaria tradicional y de baja productividad. En cambio, la

<sup>6</sup> Plan Estratégico Institucional del Gobierno Regional de Ayacucho 2011-2014

economía del área urbana operó en el comercio y la prestación de servicios; las actividades industriales y artesanales representaron sólo el 3.8 % de la PEA.

### **3.4 PROYECCIÓN INDUSTRIAL DE AYACUCHO**

En contraste con la alta tasa de pobreza, la región Ayacucho cuenta con diversos recursos naturales, culturales e históricos, los cuales hasta la fecha no están siendo aprovechados adecuadamente. Los recursos con potencial para el desarrollo regional son:

- Suelos con potencial para la agricultura
- Suelos con potencial para pastos naturales
- Suelos con potencial forestal
- Recursos hídricos
- Biodiversidad
- Recursos mineros
- Culturas vivas (artesanía, gastronomía, folklore, medicina tradicional, etc.)
- Complejos arqueológicos (Wari - Chanka)
- Arquitectura colonial
- Paisaje natural y clima saludable

Estos recursos no han sido localizados y evaluados para fines de planificación del desarrollo regional. En tal sentido, es prioritaria la elaboración de la zonificación ecológica y económica, a fin de orientar adecuadamente la inversión pública.

La inversión privada en la región Ayacucho se debe básicamente a la Micro y Pequeña Empresa. Ayacucho, registra la mayor cantidad de Pequeñas y Medianas Empresas (PYMES) en el Sector Comercio (66%), en comparación del sector Industria 11%, Servicio 19% y Construcción Inmobiliaria 4%. siendo las Pequeñas y Microempresas una fuente importante de generación de trabajo y de ingresos para el erario local y nacional que necesita un especial tratamiento<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> Plan de Promoción de Inversiones de la Región de Ayacucho - 2008



El sector comercio tiene en las Pequeñas y Medianas Empresas, la línea de abarrotes, su representante más importante (14.2%) del total, esto se ve reflejado en la abundante existencia de tiendas tanto bodegas como mayoristas, seguido de las ferreterías (7.8%). En el sector de servicios igualmente forma la línea más representativa esto en los servicios generales con un 9.9%, que a su vez engloba a restaurantes, recreos, hoteles, peluquerías, talleres de reparación y mantenimiento de vehículos; entre otros.

En el sector de industria, resalta la participación de los talleres de metal – mecánica 9.9%, seguido por la carpintería de madera 7.8%, ocupando el tercer lugar las panaderías y las confecciones ambas con 3.5%.

Tabla 3.4.1 Gobierno Regional de Ayacucho: Gastos según naturaleza y unidad ejecutora (miles de nuevos soles)<sup>8</sup>

UNIDAD EJECUTORA	2010												2011
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene
<b>GASTOS CORRIENTES</b>	<b>35 264</b>	<b>30 884</b>	<b>29 993</b>	<b>32 127</b>	<b>33 835</b>	<b>35 918</b>	<b>39 883</b>	<b>34 731</b>	<b>37 729</b>	<b>38 826</b>	<b>42 031</b>	<b>56 308</b>	<b>32 979</b>
Sede Central	1 462	1 584	1 560	1 524	1 534	2 228	1 826	1 757	1 593	1 442	6 253	3 319	1 204
Proyecto Especial Río Cachi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Programa de apoyo – AGORAH	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Proyecto Prider	0	0	0	30	8	9	14	4	14	15	41	74	0
M. Agricultura	869	849	731	915	791	781	897	765	829	754	788	1 055	688
M. Transportes	393	370	522	418	462	496	541	638	869	712	689	1 860	65
M. Educación	25 438	20 704	18 974	21 162	22 631	23 666	27 375	22 798	24 109	26 771	23 861	32 954	26 132
M. Salud	7 102	7 377	8 206	8 078	8 408	8 737	9 230	8 770	10 315	9 132	10 399	17 045	4 890
<b>GASTOS DE CAPITAL</b>	<b>2 026</b>	<b>12 563</b>	<b>9 092</b>	<b>26 262</b>	<b>35 567</b>	<b>21 857</b>	<b>7 314</b>	<b>14 287</b>	<b>17 366</b>	<b>8 692</b>	<b>32 752</b>	<b>21 262</b>	<b>49</b>
Sede Central	1 956	12 278	5 116	23 558	31 880	18 600	5 165	12 053	14 459	5 611	28 947	6 271	0
Proyecto Especial Río Cachi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Programa de Apoyo – AGORAH	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Proyecto Prider	70	140	1 299	1 985	1 323	847	578	718	994	1 563	1 351	6 674	49
M. Agricultura	0	0	0	700	1 973	1 997	1 069	1 221	1 403	856	1 185	1 463	0
M. Transportes	0	134	43	2	185	134	179	202	177	153	186	636	0
M. Educación	0	11	2 630	9	186	139	74	44	165	279	156	393	0
M. Salud	0	0	3	7	18	139	250	48	168	229	926	5825	0
<b>TOTAL</b>	<b>37 290</b>	<b>43 447</b>	<b>39 085</b>	<b>58 389</b>	<b>69 401</b>	<b>57 776</b>	<b>47 198</b>	<b>49 018</b>	<b>55 095</b>	<b>47 518</b>	<b>74 783</b>	<b>77 570</b>	<b>33 028</b>

Fuente: Gobierno Regional de Ayacucho  
Elaboración: BCRP Sucursal Huancayo 2011

La mayor inversión está en los sectores de transportes, salud y saneamiento, educación y cultura, agrario y administración y planeamiento, (Tabla 3.4.2).

<sup>8</sup> Síntesis Económica de Ayacucho – Enero 2011, Gobierno Regional de Ayacucho, BCR-Sucursal Huancayo

Tabla 3.4.2 Gobierno Regional de Ayacucho: Programa de Inversiones (miles de nuevos soles)

FUNCION	2010												2011
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene
<b>Administración y Planeamiento</b>	0	26	133	356	2 506	439	158	507	424	595	705	1 503	0
Agraria	70	1 471	1 327	8 898	11 175	2 883	1 973	2 570	2 323	2 391	2 391	6 875	49
Protección y Previsión Social	0	8	73	107	148	219	145	85	193	192	118	171	0
Defensa y Seguridad Nacional	0	0	0	25	56	4	10	40	12	18	86	288	0
Educación y Cultura	0	73	3 436	6 908	8 208	1 695	799	2 254	2 136	1 138	2 313	740	0
Energía y Recursos Minerales	0	400	596	542	709	1 884	361	0	84	9	292	66	0
Industria, Comercio y Servicios	0	112	137	127	177	216	204	203	146	384	466	449	0
Pesca	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	86	0
Salud y Saneamiento	0	0	238	2 985	6 810	3 376	1 235	6 279	4 343	2 224	25 180	7 562	0
Trabajo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	158	0
<b>Transportes y Comunicaciones</b>	<b>1 956</b>	<b>472</b>	<b>3 152</b>	<b>6 315</b>	<b>5 698</b>	<b>1 738</b>	<b>2 427</b>	<b>2 340</b>	<b>3 395</b>	<b>1 741</b>	<b>1 102</b>	<b>3 202</b>	<b>0</b>
Vivienda y Desarrollo Urbano	0	0	0	0	80	0	2	10	0	0	100	162	0
<b>TOTAL</b>	<b>2 026</b>	<b>2 563</b>	<b>9 092</b>	<b>26 262</b>	<b>35 567</b>	<b>12 456</b>	<b>7 314</b>	<b>14 287</b>	<b>13 055</b>	<b>8 692</b>	<b>32 752</b>	<b>21 262</b>	<b>49</b>

Fuente: Gobierno Regional de Ayacucho  
Elaboración: BCRP Sucursal Huancayo 2011

### 3.4.1 En Agricultura:

La superficie sembrada en la región de Ayacucho en el año 2010 fue de 91 mil 143 hectáreas, correspondiendo 18 mil 79 hectáreas al maíz amiláceo seguido de 17 mil 655 hectáreas para la papa, 12 mil 705 hectáreas para cebada grado, 9 mil 454 hectáreas para el trigo, 5 mil 761 hectáreas para haba grano seco y 4 mil 207 hectáreas para arveja grano seco, siendo éstos los cultivos más representativos en función a la superficie sembrada.

Tabla 3.4.3 Producción de principales cultivos sector agrario - Ayacucho

CULTIVO	Producción (TM)		CULTIVO	Producción (TM)	
	Año 2010	Año 2011		Año 2010	Año 2011
ALFALFA	319,564	321,547	CAÑA DE AZUCAR (PARA FRUTA)	1,401	1,453
PAPA	191,923	137,887	AJO	1,354	1,292
OTROS PASTOS	75,052	73,466	MELOCOTONERO	1,166	1,272
AVENA FORRAJERA	33,808	30,821	ARROZ CASCARA	980	769
MAIZ AMILACEO	16,260	10,412	COL O REPOLLO	915	852
TUNA	16,250	15,795	ZAPALLO	750	620
CEBADA GRANO	13,467	7,394	CAÑA DE AZUCAR(para alcohol)	701	715
OLLUCO	9,844	6,869	PACAE O GUABO	694	721
TRIGO	9,326	5,964	LIMON SUTIL	682	661
CUBE O BARBASCO	9,112	8,816	GUINDO	653	683
MAIZ CHOCLO	8,836	6,947	MANI PARA ACEITE	510	220
YUCA	7,986	6,930	MANZANO	494	483
PLATANO	6,548	6,362	CHIRIMOYA	461	475
CACAO	6,263	6,180	CAMOTE	439	486
OCA	5,269	3,983	AVENA GRANO	413	514
HABA GRANO SECO	5,011	3,746	LUCUMA	404	396
PALTO	4,540	4,638	MANDARINA	374	380
CAFE	4,441	4,373	BETARRAGA	347	283
NARANJO	3,791	3,759	MANGO	341	336
MASHUA O IZANO	3,697	2,911	COLIFLOR	276	273
ARVEJA GRANO SECO	3,610	2,089	HIGUERA	269	265
HABA GRANO VERDE	3,442	3,388	TANGELO	265	266
CEBOLLA	3,253	2,486	FRIJOL DE PALO GRANOSECO(01)	239	261
PINA	3,205	3,151	APIO	223	159
PASTO ELEFANTE	3,045	3,129	ACHIOTE	217	230
ARVEJA GRANO VERDE	3,021	2,744	LIMA	214	212
QUINUA	2,368	1,444	NISPERO	205	217
TOMATE	2,346	1,353	PORO	196	137
PAPAYA	2,183	2,201	PALILLO O CURCUMA	194	210
ZANAHORIA	2,099	1,866	CAIGUA	165	168
MAIZ AMARILLO DURO	2,080	2,064	ACHITA, KIWICHA, O AMARANTO	164	55
CALABAZA	1,813	1,434	LECHUGA	144	164
FRIJOL GRANO SECO	1,650	1,562	COCOTERO	136	137
MAIZ MORADO	1,648	1,516	NABO	122	122
CEBADA FORRAJERA	1,481	713	CHOCHO O TARHUI GRANO SECO	114	326

Fuente: EJECUCION Y PERSPECTIVAS DE LA INFORMACION AGRICOLA CAMPAÑA AGRICOLA: 2010-2011; Oficina de Estudios Económicos y Estadística Agraria

### 3.4.2 En pesquería:

La proyección de la pesca continental en cuanto a la trucha, corroborado por los datos de la tabla 3.3.6 Producción y Precio de Trucha, la tendencia productiva fue de baja producción en el lapso de los años 2000 al 2008, pero la información brindada por Direcciones Regionales de Producción (DIREPRO) y Empresas Acuícolas es una producción de truchas el año 2009 de 97.32 toneladas y para el

2010 de 67.96 toneladas. Entonces existe una producción irregular para proyectarse a futuro.

La pesca continental, comprende la captura de peces en lagos, ríos, lagunas, etc., también incluye la explotación de los criaderos de peces y granjas piscícolas destinados al consumo humano directo, así como la captura de peces ornamentales.

### **3.4.3 Producción minera:**

La actividad minera del departamento de Ayacucho en el año 2001 aportó el 0,27% a la producción minera del país y el 1,85% a la producción departamental.

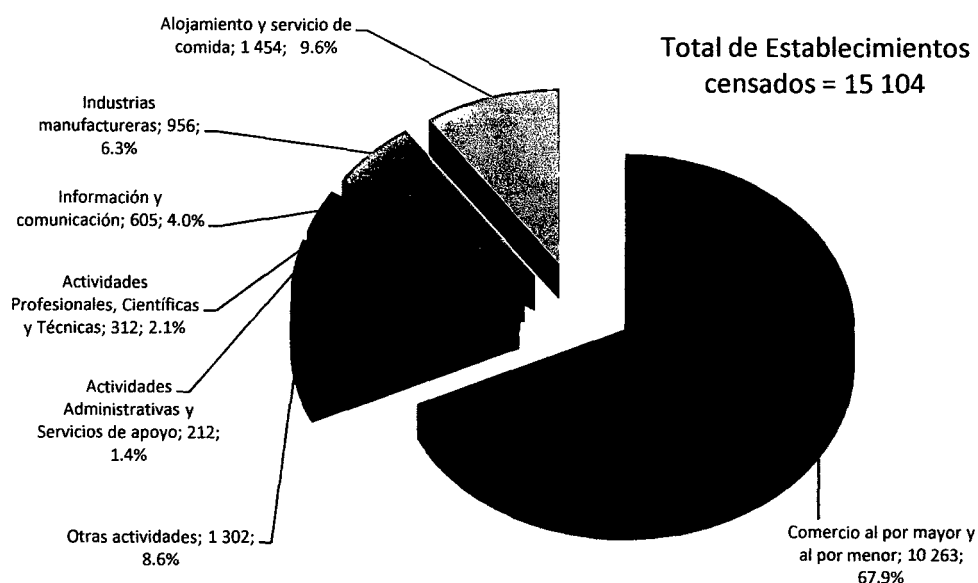
La producción minera de principales metales, durante el año 2008, en el departamento de Ayacucho se tiene el zinc con 21 mil 493 toneladas; plomo y cobre con 6 mil 971 y 448.3 toneladas respectivamente. En tanto, la plata fue de 150 mil 319 Kg y el oro en 4 mil 327Kg (Tabla 3.3.5).

Comparando el año 2008 respecto al año 2000 existe un incremento considerable en los niveles de producción de los metales tratados.

### **3.4.4 Actividad manufacturera:**

Abarca diferentes etapas de transformación de los productos de extracción, el procesamiento de productos semielaborados hasta la elaboración de productos complejos, resultado de prolongados y complicados trabajos de alta tecnología, incluyéndose en esta categoría, los procesos simples de transformación básica como el pilado de arroz, café y el beneficiado de animales.

Durante el año 2008, los establecimientos censados alcanzaron a 15 mil 104. 67.9% corresponde a la actividad de comercio al por mayor y menor, 9.6% a servicio de alojamiento y comida y el 6.3% a industrias manufactureras.



Fuente: INEI – IV Censo Nacional Económico 2008

Figura 3.4.1 Establecimientos censados, según actividad económica – 2008

Tabla 3.4.4 Medianas y Pequeñas Empresas (MYPE) por Actividad - Ayacucho

<b>Líneas de Producción Industrial Otros</b>	<b>Cantidad</b>
Agricultura, Ganadería, Caza y Silvicultura	334
Pesca	7
Exploración de Minas y anteras	38
Industrias manufactureras	784
Suministro, electricidad, gas y agua	1
Construcción	292
Comercio, reparación de vehículos	5,033
Hoteles y restaurantes	887
Transportes, almacenamiento	988
Intermediación financiera	16
Actividades inmobiliarias, empresariales y alquileres	960
Enseñanza	118
Servicios sociales y de salud	124
Otras actividades, etc.	2,064
<b>Total</b>	<b>11,541</b>

FUENTE: SUNAT: Registro único de contribuyentes – 2009

Elaboración: PRODUCE-DGMYPE-C/Dirección de Desarrollo Empresarial.

## CAPITULO IV

### 4 ZONAS DE MUESTREO DE ANHÍDRIDO SULFUROSO (SO<sub>2</sub>)

#### 4.1 SISTEMA DE MUESTREO <sup>9</sup>

Se trabajó en función a las condiciones atmosféricas de la ciudad de Ayacucho que son los siguientes parámetros <sup>10</sup>:

1. Temperatura ambiente
2. Presión atmosférica
3. Humedad relativa
4. Velocidad y orientación del viento
5. Condiciones climáticas (nublado, con alguna nubosidad, con sol, etc.).

Los valores de estos parámetros fueron obtenidos de la Estación Meteorológica de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, lo que permitió analizar y evaluar la información horaria y diaria de las condiciones climáticas de la ciudad de Ayacucho.

---

<sup>9</sup> DIRECCIÓN GENERAL DE SALUD AMBIENTAL, Protocolo de Monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos, 2005

<sup>10</sup> QUISPE PAREDES, L. "INVESTIGACIÓN – Monitoreo de Dióxido de Azufre en el Aire Contaminado, mediante las Bujías Reactivas de Peróxido de Plomo", Revista Técnico – Científica TECNIA Vol. 3, Publicación de la Universidad Nacional de Ingeniería – Lima – Perú, 1986

#### 4.1.1. Estaciones de Muestreo

Se realizó el muestreo inicial implementado 4 estaciones (Protocolo de Monitoreo de DIGESA por tener el número de habitantes menor a un millón <sup>11</sup>), con las siguientes ubicaciones:

- Zona Residencial (Estación # 1, E1)
- Zona Comercial Popular (Estación # 2, E2, y Estación # 3, E3)
- Zona Periférica (Estación # 4, E4)

A continuación se presenta un plano de la ciudad de Ayacucho con la ubicación de las estaciones de muestreo. La Figura 4.1.1 muestra los puntos de monitoreo del contaminante gaseoso, anhídrido sulfuroso, SO<sub>2</sub>, en el aire. Se ubicaron las estaciones principalmente en función de la congestión vehicular. Las zonas de muestreo están indicadas como E1, E2, E3 y E4.

En una segunda etapa de muestreo se incrementaron dos estaciones, ambas en la zona Comercial Popular, por lo que se señala en el mapa como E5 y E6. El monitoreo en esta oportunidad se desarrolló en las mismas condiciones iniciales de trabajo y tiempo de exposición.

- Zona Residencial (Estación # 1, E1)
- Zona Comercial Popular (Estación # 2, E2, Estación # 3, E3, Estación #5, E5, y Estación #6, E6)
- Zona Periférica (Estación # 4, E4)

---

<sup>11</sup> DIRECCIÓN GENERAL DE SALUD AMBIENTAL, Protocolo de Monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos, 2005

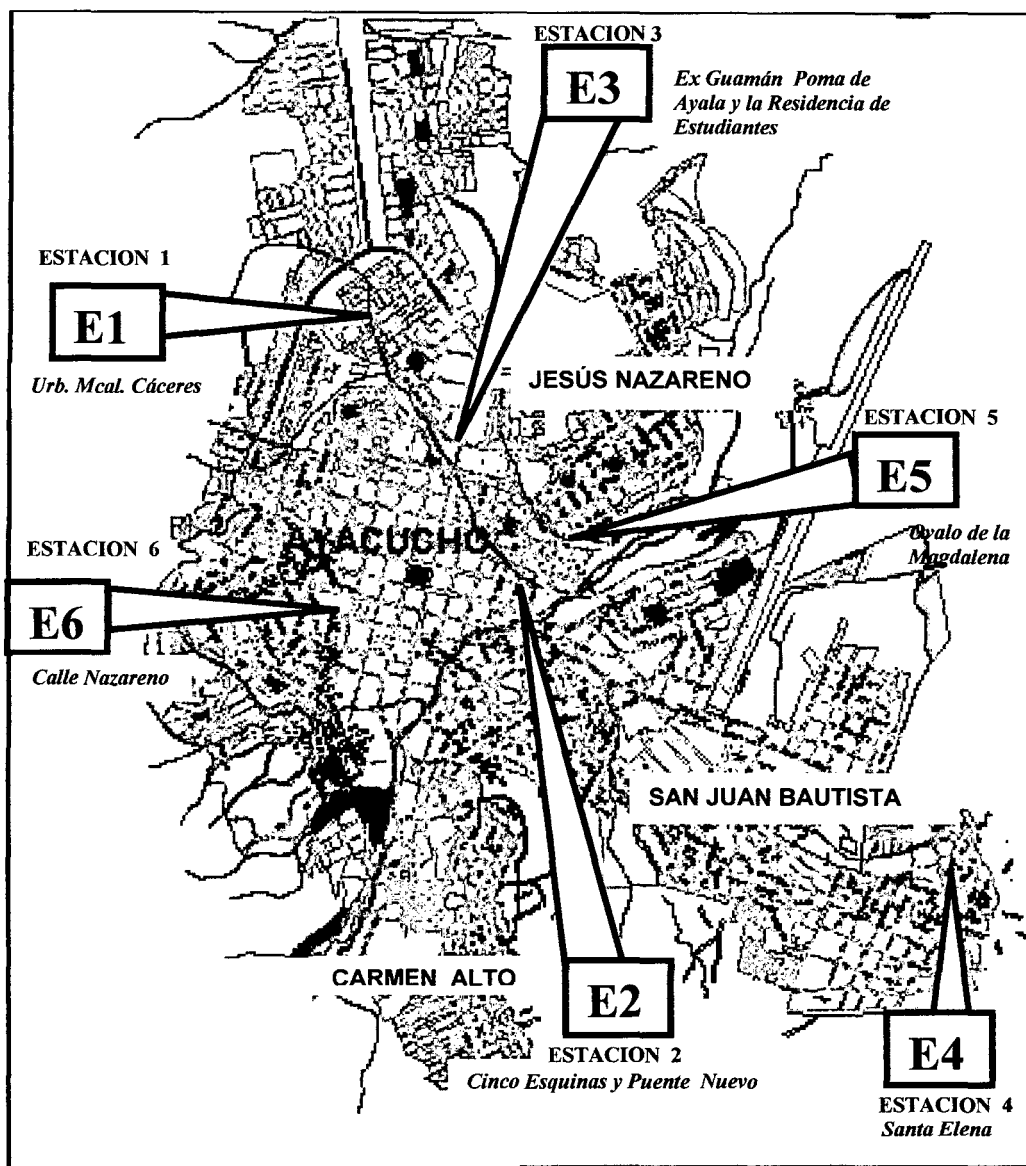


Figura 4.1.1 Ubicación de las Estaciones de Monitoreo de Anhídrido Sulfuroso, SO<sub>2</sub>, en Ayacucho

## 4.2 ZONAS DE MUESTREO

### 4.2.1 Muestreo y Análisis del Aire

Un sistema de monitoreo de la contaminación del aire considera la recolección o muestreo de contaminantes del aire ambiental y de fuentes específicas; el análisis o medición de la concentración de los contaminantes; y la notificación y uso de la



información recopilada. El muestreo y análisis del aire ambiental y de la emisión de las fuentes puntuales son importantes por varias razones.

Los datos del aire ambiental se usan para determinar el cumplimiento de las normas de calidad del aire. Emplean también para diagnosticar las condiciones de un área antes de construir una nueva fuente de contaminación, para desarrollar modelos de dispersión de contaminantes, para realizar estudios científicos y para evaluar la exposición humana a contaminantes y el daño al medio ambiente.

Los datos de emisiones de fuentes puntuales se emplean para determinar el cumplimiento de los reglamentos de contaminación del aire, la eficacia del control de la contaminación del aire, la eficiencia de producción y para apoyar la investigación científica.

Etapas del monitoreo del aire:

1. Recolección de muestras
2. Análisis de muestras
3. Notificación y uso de la información recopilada

Las instituciones responsables del monitoreo de la calidad del aire, generalmente designan los métodos de referencia para el muestreo y análisis de los contaminantes y de las fuentes de emisión. Los métodos especifican procedimientos precisos que se deben seguir para cualquier actividad de monitoreo relacionada con el cumplimiento de la reglamentación.

Estos procedimientos orientan el muestreo, análisis, calibración de instrumentos y cálculo de las emisiones. La elección del método específico de análisis depende de un número de factores, siendo los más importantes las características químicas del contaminante y su estado físico sólido, líquido o gaseoso. Los métodos de referencia se diseñan para determinar la concentración de un contaminante en una muestra. La concentración se expresa en términos de masa por unidad de volumen, usualmente en microgramos por metro cúbico ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

En la Tabla 4.2.1. se presenta los métodos de análisis de diferentes contaminantes del aire.

En el desarrollo del presente trabajo se implementaron seis estaciones de muestreo y los datos meteorológicos obtenidos se emplearon en la evaluación del aire. El método utilizado para la captura de anhídrido sulfuroso, (SO<sub>2</sub>), del aire en la atmósfera de la ciudad de Ayacucho fue el de las **Bujías Reactivas de Peróxido de Plomo**<sup>12</sup>. Durante la exposición de las bujías reactivas, el peróxido de plomo reacciona con el SO<sub>2</sub> del aire formando sulfatos, posteriormente en el laboratorio se separan los sulfatos para determinar el grado de sulfatación, expresado en mg SO<sub>2</sub> / 100 cm<sup>2</sup> / día, siendo éste una magnitud referencial del grado de contaminación del aire con SO<sub>2</sub>. La concentración se determinó por el método analítico de espectrofotometría. Se calculó la concentración en partes por millón a partir del índice de sulfatación, multiplicando este índice por el respectivo **factor de correlación**.

Tabla 4.2.1 Métodos de medición y análisis de contaminantes del aire

MÉTODO	PRINCIPIO	CONTAMINANTE
Ionización de llama	Responde en proporción al número de átomos de carbono en la muestra de gas	COV(*)
Absorción infrarroja	La muestra absorbe la radiación en la región infrarroja del espectro, se mide la diferencia en la absorción. Se usa otras regiones del espectro, por ejemplo UV	Monóxido de carbono
Absorción atómica	La muestra absorbe la radiación; la radiación emitida depende de los átomos presentes.	Plomo
Espectroscopia de fluorescencia	La muestra excitada puede re emitir el exceso de energía excitada	Ozono, NO <sub>2</sub>
Recolección de partículas	Gravimetría: la masa de material particulado se determina por el peso	PM <sub>10</sub>
Espectrofotometría	Se forma soluciones coloreadas mediante la mezcla de los reactivos con los contaminantes	SO <sub>2</sub>

(\*) COV : Contaminante orgánico volátil.

El valor que se emplea, generalmente, como factor de correlación es de 0.025, pero es posible calcular el factor de correlación, porque ésta depende de las dimensiones de las bujías y condiciones climáticas en el periodo de muestreo.

<sup>12</sup>QUISPE PAREDES, L. "INVESTIGACIÓN – Monitoreo de Dióxido de Azufre en el Aire Contaminado, mediante las Bujías Reactivas de Peróxido de Plomo", Revista Técnico – Científica TECNIA Vol. 3, Publicación de la Universidad Nacional de Ingeniería – Lima – Perú, 1986

- **ZONA RESIDENCIAL:** 01 Estación, Código E1
- **ZONA COMERCIAL POPULAR:** 04 Estaciones, Códigos E2, E3, E5 y E6
- **ZONA RURAL o PERIFÉRICA:** 01 Estación, Código E4

### **4.3 UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO**

Las estaciones de muestreo se ubicaron en lugares de mayor tráfico vehicular. Los lugares seleccionados fueron Puente Nuevo – 5 Esquinas, Ex Planteles Guamán Poma de Ayala, Calle Nazareno, Ovalo de la Magdalena, Santa Elena (zona periférica) y la Urbanización Mariscal Cáceres (zona residencial).

#### **4.3.1. Dirección y velocidad del viento**

Los valores promedios de la velocidad del viento en la ciudad de Ayacucho, tienen la característica de mantenerse constante durante el transcurso de los años por la geografía en la que se halla asentada la ciudad.

De las tendencias del viento durante el año 2010 (Tabla 4.3.1), se infiere que entre los meses de febrero y diciembre la dirección del viento está orientada al noreste y en el mes de enero al noroeste, debido al corredor formado por los cerros Campanayoc y La Picota, que sirve de dirección al flujo de aire, el cerro de Acuchimay participa canalizando la vía para el movimiento del viento. También se tienen las hondonadas de la cuenca del río Alameda por el sur y por el norte la zona de Mollepata. Todo ello forma un corredor para el flujo del viento.

Durante los meses de toma de muestras, casi en todas, se observó en horas de la mañana hasta el medio día la no existencia de viento, conociéndose este estado como calma (C). Los vientos se presentan en horas de la tarde hacia el inicio de la noche.

Tabla 4.3.1 Dirección y velocidad, promedio mensual del viento, según departamento (m/s)

Departamento	2010											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Amazonas	S-2	S-2	W-3	W-4	W-2	W-4	W-3	W-4	W-4	W-3	S-2	S-2
Áncash	N-2	N-1	N-1	NE-1	NE-2	N-2	N-2	N-2	N-2	N-1	N-1	N-1
Apurímac	NE-2	N-2	N-3	NE-2	NW-2	E-2	SSW-2	NE-2	N-2	NE-4	NE-3	NW-2
Arequipa	WSW-5	W-4	WSW-4	WSW-4	WSW-4	WSW-4	WSW-4	WSW-4	WSW-4	WSW-5	WSW-5	WSW-5
Ayacucho	NE-2	N-3	N-2	N-3	N-3	N-2	N-3	N-2	N-3	N-4	N-3	N-3
Cajamarca	S-2	S-2	E-1	E-1	S-1	SE-1	S-2	S-2	SE-1	S-1	S-1	S-6
Cusco	NE-1	NE-1	NE-1	NE-1	NE-2	NE-2	NE-2	NE-2	NE-3	NE-3	NE-2	NE-2
Huancavelica	E-6	W-6	E-6.0	E-7	E-8	E-3	E-4.2	E-3	E-3	E-2	E-3	W-2
Huánuco	NE-4	NE-4	NE-4	NE-4	NE-4	NW-4	N-5	NW-4	NW-4	N-4	NW-3	NW-3
Ica	SE-6	SE-7	SE-6	SE-6	SE-6	SE-6	SE-6	SE-6	SE-7	SE-7	SE-6	SE-6
Junín	SE-2	NW-2	SE-2	SE-2	W-2	SE-2	SE-2	SE-2	SE-2	W-2	NE-2	SE-2
La Libertad	S-4	S-3	S-4	S-4	S-3	S-3	S-4	S-4	S-4	S-4	S-4	S-4
Lima	SW-2	SW-2	SW-2	SW-2	SW-1	SW-1	SW-9	SW-1	SW-1	SW-1	SW-1	SW-1
Moquegua	SW-2	SW-2	S-2	SW-2	SW-1	SW-1	SW-1	SW-1	SW-1	SW-2	SW-2.7	SW-2
Pasco	NE-2	NE-2	NE-2	NE-2	NE-2	NE-2	NE-3	NE-3	NE-3	NE-2	NE-2	NE-2
Piura	S-2	S-2	S-2	S-2	S-2	S-2	S-3	S-3	S-3	S-3	S-3	S-2
Puno	E-2	E-2	E-2	E-2	E-2	E-2	E-2	E-2	E-3	E-2	E-2	E-2
San Martín	NW-1	W-1	E-1	NE-2	E-2	E-2	E-2	E-2	E-2	E-2	E-2	NW-2
Tacna	SW-3	SW-3	SW-3	SW-2	SW-2	SW-2	SW-2	SW-2	SW-2	SW-2	SW-3	SW-3
Tumbes	SW-1	NW-1	NW-2	SW-2	NW-1	NW-1	SW-1	NW-1	SW-1	NE-1	SW-1	NW-1
Ucayali	N-7	N-6	N-1	E-6	E-5	E-7	E-9	N-7	N-8	N-8	N-1	N-1

N: Norte, S: Sur W: Oeste E: Este y C-O: Permanencia del viento en la zona de emplazamiento

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).- Anuario Estadístico Ambiental 2011 INEI

En la Tabla 4.3.2 se muestra la tendencia del viento en el Perú, particularmente para Ayacucho, en la que se observa que la dirección anual del viento fue al Norte (N) durante el periodo de los años 1998 - 2003, cuya velocidad fue de 2 m/s; los años 2004 al 2006, la dirección del viento fue al Nor-Este (NE) con velocidad entre 3 m/s a 1 m/s; asimismo para los años 2008 al 2009 la velocidad fue de 3 m/s. En el año 2010 la dirección fue Norte (N) con velocidad de 3 m/s.

De estos datos se concluye que la dirección normal del viento en Ayacucho es al Norte y Nor-Este con velocidades que oscilan de 2 m/s a 3 m/s.

Tabla 4.3.2 Dirección y velocidad, promedio anual del viento, según departamento, 1998-2010

Departamento	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Amazonas	W-3	W-3	W-3	W-4	W-3	...	W-5	...	W-3	W-3	W-3	W-3	W-3
Áncash	N-1	N-1	C-0	N-1	N-1	N-1	N-4	N-3	N-1	NE-2	N-2	N-2	N-3
Apurímac	...	SSW-2	SSW-1	SSW-1	SSW-1	NNW-1	NNW-3	...	SW-2	S-2	N-2	N-3	NE-2.3
Arequipa	WSW-5	N-5	N-5	WNW-5	W-4	W-4	W-1	WNW-4	NW-4	W-4	W-5	W-4	WSW-4
Ayacucho	N-2	N-2	N-2	N-2	N-2	N-2	NE-3	NE-4	NE-1	W-1	NE-3	NE-3	N-3
Cajamarca	SE-1	S-2	S-2	S-2	S-2	S-1	S-2	...	...	S-1	S-1	S-2	S-1
Cusco	NE-2	NE-2	NE-2	NE-2	NE-1	NE-1	NE-3	...	NE-2	NE-2	NE-2	NE-2	NE-2
Huancavelica	S-5	E-6	E-5	E-4	E-5	E-5	...	E-5	E-5	E-6	E-7	E-7	E-5
Huánuco	NW-3	N-3	N-4	N-4	N-3	N-3	...	N-5	E-3	NE-4	N-4	N-4	NW-4
Ica	SE-1	SE-1	NW-2	SE-4	SE-3	SE-3	NW-3	SE-3	SE-3	SE-3	SE-3	SE-5	SE-5
Junín	SE-1	SE-2	SE-2	SE-2	SE-2	W-2	NW-3	SE-3	W-2	SE-2	SE-2	W-2	SE-2
La Libertad	W-3	W-3	W-3	W-4	W-4	W-5	...	...	SW-1	S-3	S-3	S-3	S-4
Lambayeque	S-5	S-6	S-5	S-5	S-5	S-5	S-3	...	...	...	...	...	...
Lima	SW-1	SW-1	S-1	S-1	SW-1	SW-1	SW-1	SW-1	SW-1	SW-1	SW-1	SW-1	SW-1
Loreto	SE-2	SE-3	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Madre de Dios	...	...	SW-2	SW-2	NE-2	NE-2	NE-4	...	NW-3	W-3	W-3	NE-3	...
Moquegua	SW-2	SW-2	SW-2	SW-2	SW-2	SW-2	SW-3	SW-3	SW-2	SW-2	SW-2	SW-2	SW-2.4
Pasco	NE-3	NE-3	NE-3	NE-3	NE-3	NE-3	NE-3	NE-3	NE-2	NE-2	NE-2	NE-2	NE-2
Piura	S-2	S-3	S-3	S-3	S-2	S-2	S-3	...	S-2	S-3	S-2	S-2	S-2
Puno	E-2	E-2	E-2	E-2	E-2	...	E-3	E-3	E-2	E-2	W-2	E-2	E-2
San Martín	W-2	E-2	W-2	W-2	W-2	W-2	E-5	E-4	E-2	E-2	E-2	E-2	E-2
Tacna	SSW-3	SW-3	SW-3	SW-3	SSW-3	SW-3	SW-3	SSW-3	SW-2	SW-2	SW-2	SW-2	SW-2
Tumbes	NW-2	NW-2	NW-2	NW-2	NW-1	NW-1	NW-2	NW-2	NW-1	...	NE-1	SW-1	NW-1
Ucayali	NE-2	NE-2	NE-1	E-1	E-1	E-1	E-2	W-2	E-1	E-1	E-1	N-1	N-1

N: Norte

SSW: Sur - sudoeste

S: Sur

WNW: Oeste - noroeste

C-O: Permanencia del viento en la zona de emplazamiento.

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).- Anuario Estadístico Ambiental 2011 INEI

**Dirección de viento, con datos obtenidos y procesados de la Estación Meteorológica de la UNSCH, para algunos meses del año 2005 y año 2010**

Tabla 4.3.3 Datos de velocidad y dirección del viento – enero 2005

Dirección	Enero 2005: 7.00 Hr	Enero 2005: 13.00 Hr	Enero 2005:19.00 Hr
C(*)	31	24	22
N	0	0	0
NE	0	4	0
E	0	0	0
SE	0	1	4
S	0	0	2
SW	0	2	2
W	0	0	0
NW	0	0	1
TOTAL	31	31	31

Datos procesados en la Estación Meteorológica – UNSCH (\*) C: Calma.

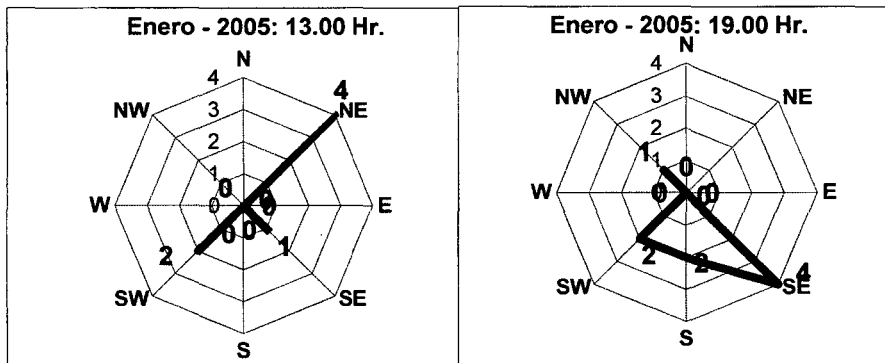


Tabla 4.3.4 Datos de velocidad y dirección del viento – abril 2005

Dirección	Abril 2005: 7.00 Hr	Abril 2005: 13.00 Hr	Abril 2005: 19.00 Hr
C(*)	30	27	24
N	0	0	1
NE	0	1	0
E	0	1	0
SE	0	0	2
S	0	0	0
SW	0	1	1
W	0	0	0
NW	0	0	2
TOTAL	30	30	30

Datos procesados en la Estación Meteorológica – UNSCH (\*) C: Calma.

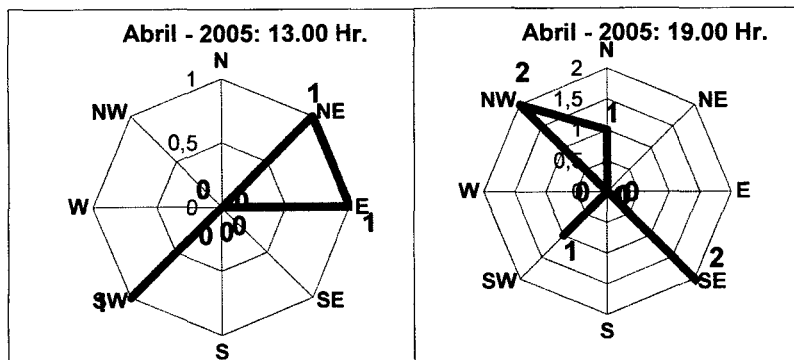


Tabla 4.3.5 Datos de velocidad y dirección del viento – julio 2005

Dirección	Julio 2005: 7.00 Hr	Julio 2005: 13.00 Hr	Julio 2005: 19.00 Hr
C(*)	31	27	29
N	0	1	0
NE	0	1	0
E	0	2	0
SE	0	0	0
S	0	0	0
SW	0	0	1
W	0	0	0
NW	0	0	1
TOTAL	31	31	31

Datos procesados en la Estación Meteorológica – UNSCH (\*) C: Calma.

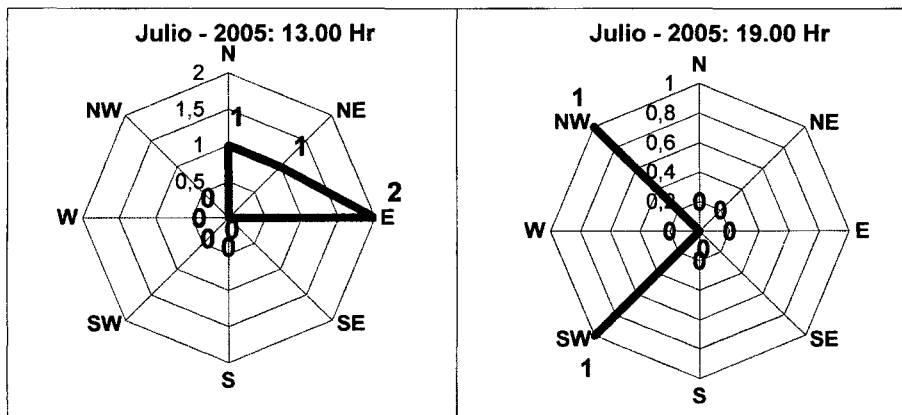


Tabla 4.3.6 Datos de velocidad y dirección del viento – octubre 2005

Dirección	Octubre 2005: 7.00 Hr	Octubre 2005: 13.00 Hr	Octubre 2005: 19.00 Hr
C(*)	31	20	21
N	0	3	2
NE	0	4	1
E	0	0	0
SE	0	1	2
S	0	0	0
SW	0	0	1
W	0	0	0
NW	0	3	4
TOTAL	31	31	31

Datos procesados en la Estación Meteorológica – UNSCH (\*) C: Calma.

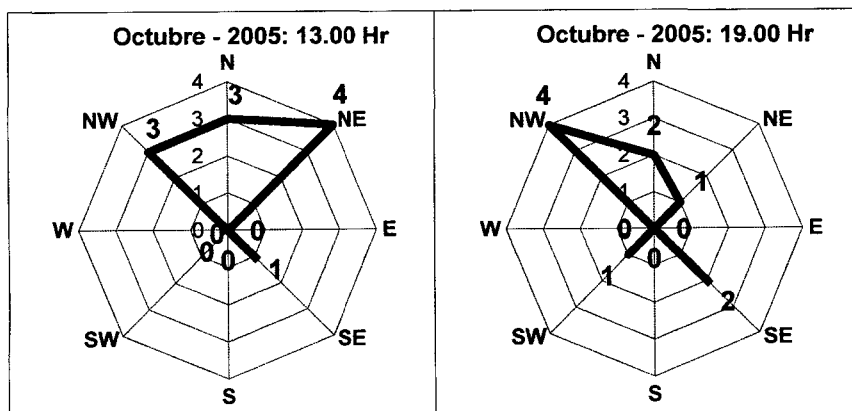


Tabla 4.3.7 Datos de velocidad y dirección del viento – enero 2010

Dirección	Enero 2010: 7.00 Hr	Enero 2010: 13.00 Hr	Enero 2010: 19.00 Hr
C	29	0	9
N	1	2	2
NNE	0	4	1
NE	0	9	3
ENE	0	9	0
E	0	2	1
ESE	1	1	1
SE	0	0	3
SSE	0	2	2
S	0	0	0
SSW	0	0	0
SW	0	0	1
WSW	0	0	3
W	0	0	0
WNW	0	0	3
NW	0	2	0
NNW	0	0	2

Datos procesados en la Estación Meteorológica – UNSCH (\*) C: Calma.

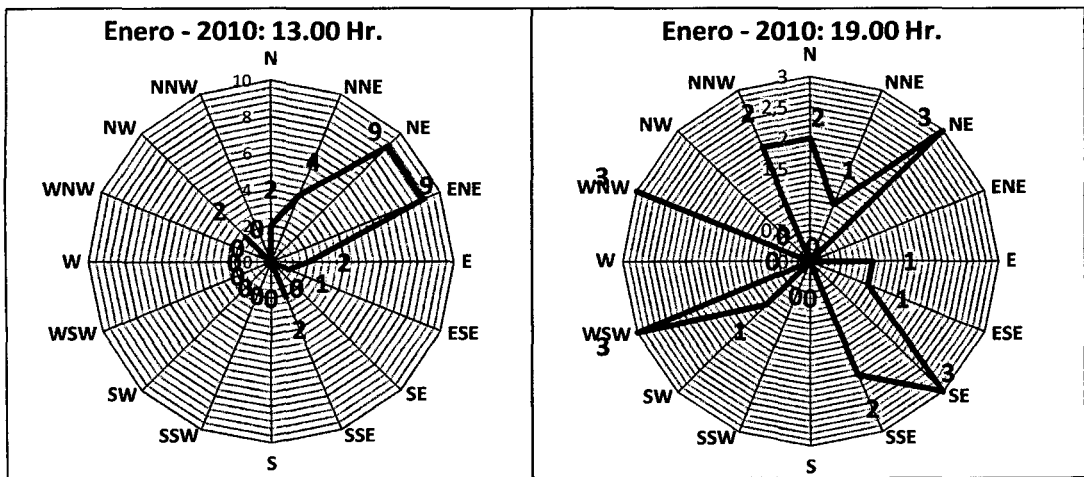


Tabla 4.3.8 Datos de velocidad y dirección del viento – mayo 2010

Dirección	Mayo 2010: 7.00 Hr	Mayo 2010: 13.00 Hr	Mayo 2010: 19.00 Hr
C	18	0	23
N	0	3	0
NNE	3	1	0
NE	3	7	1
ENE	5	3	0
E	2	6	0
ESE	0	4	1
SE	0	4	0
SSE	0	0	2
S	0	1	0
SSW	0	0	0
SW	0	0	0
WSW	0	1	1
W	0	0	1
WNW	0	1	1
NW	0	0	1
NNW	0	0	0

Datos procesados en la Estación Meteorológica – UNSCH (\*) C: Calma.



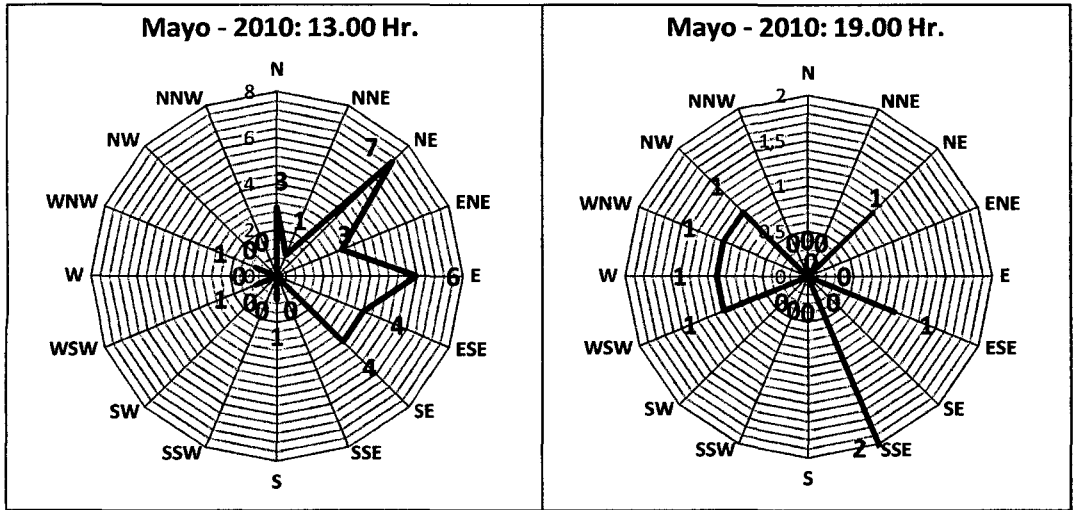


Tabla 4.3.9 Datos de velocidad y dirección del viento – **setiembre 2010**

Dirección	Setiembre 2010: 7.00 Hr	Setiembre 2010: 13.00 Hr	Setiembre 2010: 19.00 Hr
C	10	0	10
N	1	1	0
NNE	2	4	0
NE	5	2	1
ENE	9	4	1
E	2	6	0
ESE	1	2	0
SE	0	1	0
SSE	0	2	1
S	0	0	1
SSW	0	0	0
SW	0	1	1
WSW	0	1	0
W	0	0	0
WNW	0	2	0
NW	0	2	8
NNW	0	2	7

Datos procesados en la Estación Meteorológica – UNSCH (\*) C: Calma.

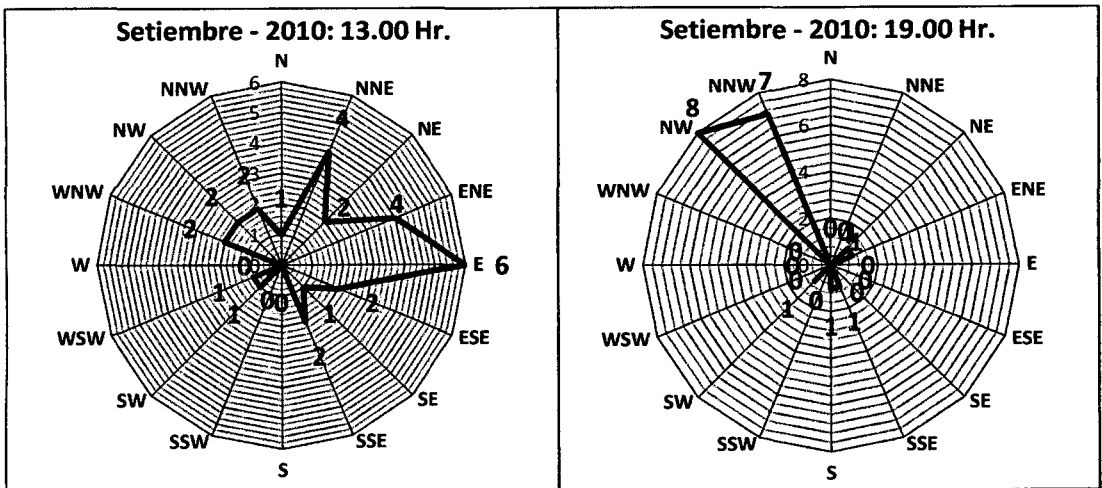
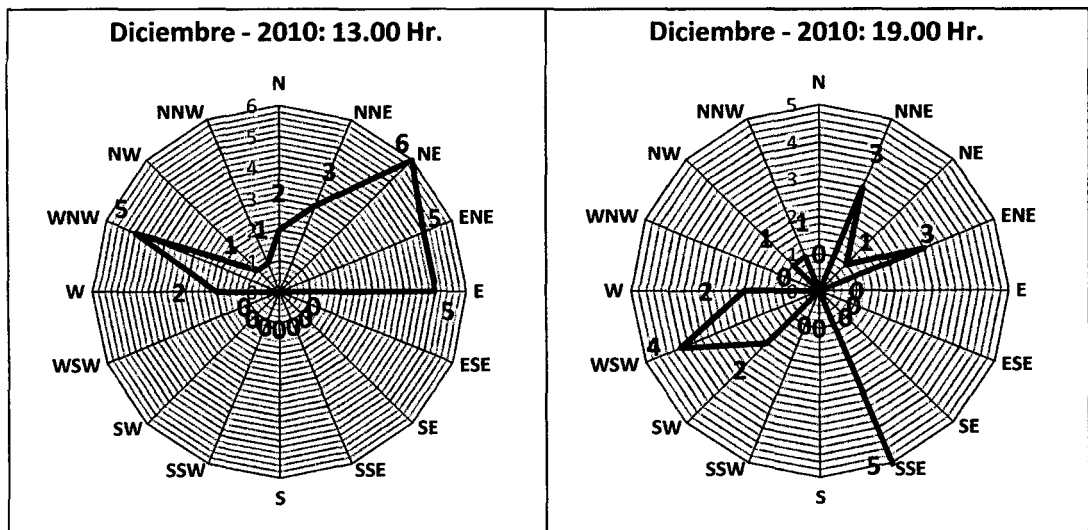


Tabla 4.3.10 Datos de velocidad y dirección del viento – **diciembre 2010**

Dirección	Diciembre 2010: 7.00 Hr	Diciembre 2010: 13.00 Hr	Diciembre 2010: 19.00 Hr
C	19	1	9
N	1	2	0
NNE	2	3	3
NE	4	6	1
ENE	3	5	3
E	1	5	0
ESE	0	0	0
SE	1	0	0
SSE	0	0	5
S	0	0	0
SSW	0	0	0
SW	0	0	2
WSW	0	0	4
W	0	2	2
WNW	0	5	0
NW	0	1	1
NNW	0	1	1

Datos procesados en la Estación Meteorológica – UNSCH (\*) C: Calma.



En la figura 4.3.1 se señala la trayectoria del viento, que fluye hacia el norte (N) y al noreste (NE). El flujo de aire proviene del sureste y suroeste. Debe considerarse que la formación geográfica en la que se encuentra la ciudad de Ayacucho es como un callejón conformado por los cerros circundantes facilitando de este modo el flujo de aire en la dirección descrita.

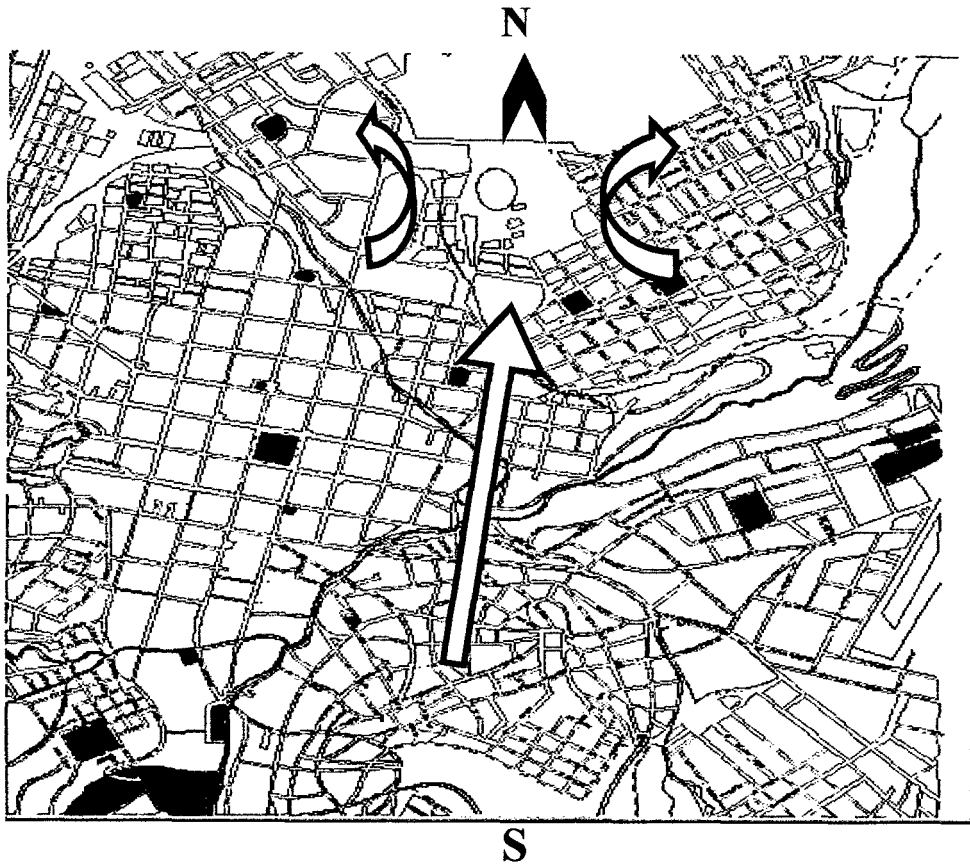


Figura 4.3.1 Dirección de vientos en la ciudad de Ayacucho

#### 4.3.2. Localización de las Estaciones de Muestreo

En la Figura 4.1.1, se señalan los lugares de instalación de las 6 estaciones de muestreo en la ciudad de Ayacucho; distribuidas para captar el nivel de contaminación del aire con anhídrido sulfuroso, a condiciones tales como la mayor congestión vehicular, media congestión, zona residencial y periférico, debe considerarse que los contaminantes no están en forma estática en un sector, sino que van diluyéndose paulatinamente y seguirá, el flujo del viento.

## CAPITULO V

### 5 PROCESAMIENTO ANALÍTICO DE MUESTRAS DE ANHÍDRIDO SULFUROSO (SO<sub>2</sub>) RECOLECTADOS

#### 5.1 MONITOREO DE ANHÍDRIDO SULFUROSO (SO<sub>2</sub>) EN EL AIRE CONTAMINADO DE AYACUCHO UTILIZANDO BUJÍAS REACTIVAS DE PERÓXIDO DE PLOMO

##### Planeamiento y ejecución del trabajo

Se utilizaron 4 estaciones de muestreo en una primera etapa, posteriormente en una segunda etapa se incrementaron a 6; además de datos meteorológicos. En la captura del SO<sub>2</sub> del aire se utilizó el método de las Bujías Reactivas de Peróxido de Plomo. En el laboratorio se analizaron las muestras, determinándose el grado de sulfatación expresado en mg SO<sub>3</sub> / 100 cm<sup>2</sup> / día, siendo éste una magnitud referencial del grado de contaminación por SO<sub>2</sub>.

Se determinó la concentración del SO<sub>2</sub> en partes por millón a partir del índice de sulfatación, multiplicando este valor por el *factor de correlación*. El factor de correlación se calcula para cada muestra, porque depende de las dimensiones de las bujías y condiciones climáticas durante el periodo de muestreo.

La zona de muestreo fijada se esquematizó en la Figura 4.1.1

Estación 1 (E1): A una cuadra hacia el norte del Centro Preuniversitario – UNSCH, en la Urbanización Mariscal Cáceres. (Residencial)

Estación 2 (E2): En el Puente Nuevo – Cinco Esquinas. (Popular)

Estación 3 (E3): Zona de los ex - Planteles de Aplicación Guamán Poma de Ayala (Popular)

Estación 4 (E4): Terminal de la Línea de Transporte Urbano - Santa Elena (Periférico.

Estación 5 (E5): Av. Mariscal Cáceres (Óvalo de la Magdalena) (Popular)

Estación 6 (E6): Primera cuadra de la Calle Nazareno (Popular)

El periodo de exposición de las bujías reactivas de peróxido de plomo para la determinación de SO<sub>2</sub> fue de 17 días. La sulfatación se determinó por el método de espectrofotometría.

### **Cálculo del Índice de Sulfatación y del Factor de Correlación**

Los resultados experimentales indicaron que el monitoreo con bujías reactivas de PbO<sub>2</sub> en el aire de la ciudad de Ayacucho, fue una alternativa viable, que ofrecía ventajas en simplicidad y costos.

#### **a) El Factor de Correlación (Fc)**

El factor de correlación (Fc), permite que conocida la cantidad de sulfato formado en cada 100 cm<sup>2</sup> de superficie de la bujía y por día, se estime la concentración promedio de SO<sub>2</sub> en el aire al que se ha expuesto la bujía durante un periodo determinado. El factor en sí incluye parámetros meteorológicos promedios, geometría de la bujía y dinámica de flujo gaseoso del SO<sub>2</sub> en el aire.

La ecuación matemática utilizada para determinar la concentración promedio (C) de SO<sub>2</sub>, es la que fue desarrollada por S.F. Liang, C.V. Sternling y T.R. Galloway<sup>13</sup>, cuya expresión es:

$$C = \frac{1.186 \times 10^{-4} (273.16 + t^{\circ}) \phi}{p \cdot D_{1,2} \cdot Nsh} \cdot Is = Fc * Is \quad (1)$$

Donde :

C	= concentración promedio de SO <sub>2</sub> en el aire, en ppm.
Is	= grado de sulfatación, en mg SO <sub>3</sub> / 100cm <sup>2</sup> / día
φ	= diámetro externo de la bujía, en cm
t°	= temperatura promedio para el periodo de monitoreo, en °C
p	= presión barométrica promedio para el periodo de monitoreo, en atm.
D <sub>1,2</sub>	= coeficiente de difusión de SO <sub>2</sub> en el aire, en cm <sup>2</sup> / s
Nsh	= Número de Sherwood
Fc	= Factor de correlación

El factor de correlación Fc, queda definido por :

$$Fc = \frac{1.186 \times 10^{-4} (273.16 + t^{\circ}) \phi}{p \cdot D_{1,2} \cdot Nsh} \quad (2)$$

En el proceso de sulfatación (conversión de SO<sub>2</sub> a SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, en la superficie de la bujía) se considera que la capa de aire contaminado con SO<sub>2</sub> en contacto con la superficie activa de la bujía se renueva muy rápidamente, de modo tal, que no se genera un gradiente de concentración entre ella y el resto de la masa gaseosa.

La gran cantidad de partículas de PbO<sub>2</sub> presente en la superficie de la bujía y en contacto con el aire, hace que la superficie activa se mantenga prácticamente constante durante el muestreo y monitoreo; y que por lo tanto la transferencia de masa del aire a la bujía sea proporcional a la difusibilidad volumétrica del SO<sub>2</sub>, al Número de Reynolds y al Número de Schmidt.

A continuación se describe el procedimiento de cálculo para las variables incluidas en el factor de correlación.

#### **b) Difusibilidad del anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>) en el Aire (D<sub>1,2</sub> – D<sub>SO<sub>2</sub>, Aire</sub>**)

Para el cálculo de la difusibilidad del anhídrido sulfuroso en el aire, se emplea la ecuación de Gilliland, cuya expresión es :

<sup>13</sup> QUISPE PAREDES, L. "INVESTIGACIÓN – Monitoreo de Dióxido de Azufre en el Aire Contaminado, mediante las Bujías Reactivas de Peróxido de Plomo", Revista Técnico – Científica TECNIA Vol. 3, Publicación de la Universidad Nacional de Ingeniería – Lima – Perú, 1986

$$D_{1,2} = \frac{4.2 \cdot 10^{-3} \cdot T^{3/2}}{P(V_1^{1/3} + V_2^{1/3})^2} \sqrt{\frac{1}{M_1} + \frac{1}{M_2}} \quad (3)$$

Donde :

$D_{1,2}$  = difusibilidad del SO<sub>2</sub> en el aire, en cm<sup>2</sup>/s

T = temperatura, en °K

M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> = peso molecular de aire y SO<sub>2</sub> respectivamente.

V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub> = volumen molar de aire y SO<sub>2</sub> respectivamente, licuados en sus puntos de ebullición normal, en cm<sup>3</sup>/mol-g

Reemplazando valores para el caso de SO<sub>2</sub> en el aire:

$$D_{1,2} = \frac{2.26 \cdot 10^{-5} \cdot T^{3/2}}{P} \quad (4)$$

### c) Viscosidad Cinemática del Aire (v)

Se calcula mediante la ecuación

$$v = \frac{\mu}{d} \quad (5)$$

donde :

v = viscosidad cinemática del aire en cm<sup>2</sup>/s (Stoke)

μ = viscosidad absoluta del aire en poise (dinas. s/cm<sup>2</sup>)

d = densidad del aire, en g/cm<sup>3</sup>

### d) Número de Reynolds (N<sub>Re</sub>)

El número de Reynolds se calcula mediante la ecuación :

$$N_{Re} = \frac{V\phi}{v} \quad (6)$$

Donde :

N<sub>Re</sub> = Número de Reynolds

V = velocidad promedio del viento que incide en la bujía, cm/s

Ø = diámetro de la bujía, en cm

v = viscosidad cinemática del aire, en cm<sup>2</sup>/s

### e) Número de Schmidt (N<sub>SC</sub>)

Se calcula mediante la ecuación :

$$N_{SC} = \frac{v}{D_{1,2}} \quad (7)$$

Donde :

N<sub>SC</sub> = Número de Schmidt

v = viscosidad cinemática, cm<sup>2</sup>/s

D<sub>1,2</sub> = difusibilidad del SO<sub>2</sub> en el aire, cm<sup>2</sup>/s

El valor del  $N_{SC}$  prácticamente es una constante para un sistema dado.

### f) Número de Sherwood ( $N_{sh}$ )

El número de Sherwood para una superficie cilíndrica como el que corresponde a la bujía reactiva de peróxido de plomo, incluye dos factores geométricos de la superficie: el diámetro y la altura del cilindro (bujía), y los números de Schmidt y Reynolds, a la potencia 1/3 y 1/2 respectivamente.

$$N_{Sh} = \frac{2}{\left(\frac{\phi}{2h} + 1\right) \cdot \ln\left(1 + \frac{2h}{\phi}\right)} + 0.6 N_{SC}^{1/3} N_{Re}^{1/2} \quad (8)$$

Donde :

$N_{Sh}$  = Número de Sherwood  
 $\phi$  = diámetro de la bujía, en cm  
 $h$  = altura efectiva de la bujía (pasta de  $PbO_2$ ), en cm  
 $N_{sc}$  = Número de Schmidt  
 $N_{Re}$  = Número de Reynolds

## 5.2 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### 5.2.1 Preparación de Bujías de Peróxido de Plomo

Según la American Society for Testing and Materials, (ASTM), el periodo para determinar  $SO_2$  por el Método de las Bujías Reactivas de Peróxido de Plomo debe ser 1 mes (30 días) por gravimetría, pero también se determina la sulfatación por espectrofotometría y requiere de menor tiempo de exposición al aire de las bujías reactivas (1 o 2 semanas).

El Método de las Bujías Reactivas de Peróxido de Plomo, se basa en la sulfatación causada por el contaminante  $SO_2$  al reaccionar con la pasta del peróxido de plomo ( $PbO_2$ )

La bujía es un cilindro de policloruro de vinilo (PVC) recubierta con gasa de algodón con un área de  $100 \text{ cm}^2$ , con pasta reactiva de  $PbO_2$ .



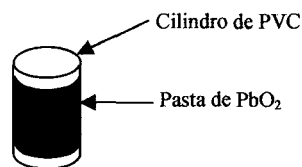


Figura 5.2.1 Bujía reactiva de peróxido de plomo

La bujía recién preparada debe permanecer en un desecador con sílicagel por aproximadamente 12 horas, para luego ser expuesta al aire en la estación predeterminada. La bujía reactiva de peróxido de plomo consiste en un cilindro soporte de policloruro de vinilo enchaquetada con tres vueltas de gasa médica sobre el que se ha depositado una pasta de  $\text{PbO}_2$  con mucílago de goma arábica. El mucílago es una masa gelatinosa que se prepara dispersando 1,0 g de goma arábica en 10 mL de alcohol etílico absoluto; diluyendo a 100 mL de volumen final con agua bidestilada.

Para preparar la pasta se toma 5 mL de mucílago, se mezcla con 0,5 mL de glicerina pura y se homogeniza con 8.5 g de  $\text{PbO}_2$  de alta pureza

La pasta se aplica uniformemente mediante un pincel sobre una gasa de tipo medicinal, enrollada en 3 capas sobre el cilindro soporte de la bujía. Después de 12 horas de secado, en un desecador con gel de sílice, la bujía está lista para su uso. (Figura 5.2.2)

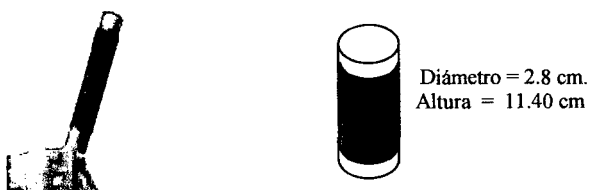


Figura No. 5.2.2 Bujía reactiva de  $\text{PbO}_2$  expuesta al aire

### 5.2.2 Colocación y retiro de bujías

Las bujías reactivas de peróxido de plomo, fueron instaladas en dispositivos especiales que los protegieron de la acción de agentes externos.

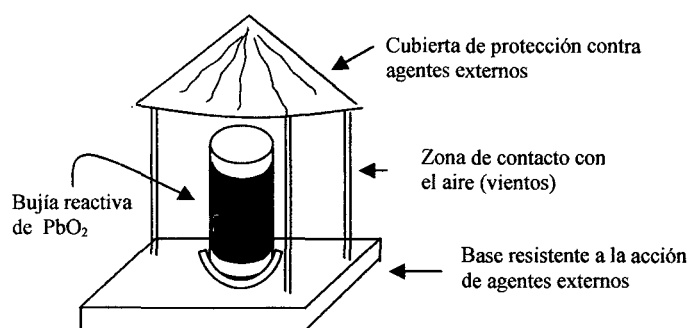


Figura 5.2.3 Caseta con bujía reactiva de peróxido de plomo, para su exposición al aire

Luego del tiempo necesario de exposición, las bujías se retiraron cuidadosamente, reemplazándolas con otras, finalmente fueron trasladados al laboratorio para la determinación espectrofotométrica del grado de sulfatación de la bujía y subsecuentemente determinar el índice de sulfatación (IS).

Calculado el valor del IS y los valores de velocidad del viento, temperatura y presión atmosférica, durante el periodo de muestreo, se determinó el valor de la concentración promedio del  $SO_2$  en partes por millón (ppm) usando el factor de correlación ( $F_C$ ) calculado mediante un programa de computadora para cada uno de los casos.

Este método de muestreo se fundamenta en que el  $SO_2$  del aire reacciona con el  $PbO_2$ . La pasta reactiva contiene no menos de 8 g de  $PbO_2$ , asegurándose de esta manera que la superficie esté libre y continua para la reacción con  $SO_2$ .

La exposición de las bujías al aire dura entre 15 a 20 días, luego debidamente aislados en bolsas plásticas se retira y preservan hasta el momento del análisis.

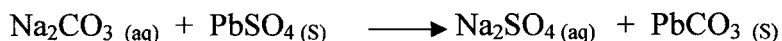
Las bujías se colocaron a una altura aproximada de 4 metros, instalándolos adecuadamente y lejos del alcance de las personas (especialmente niños) dado el carácter tóxico del reactivo utilizado.

Se debe tener mucho cuidado para desensamblar la bujía expuesta. Se debe proteger en una bolsa de plástico, considerando la seguridad pertinente del analista tales como guantes, mascarilla y otros dispositivos y luego transportarlos al laboratorio para el correspondiente análisis químico.

### 5.2.3 Tratamiento químico de las bujías después de la exposición

La bujía expuesta a la mezcla aire - SO<sub>2</sub>, de concentración desconocida, se colocó en un beaker de 250 mL, humedeciéndose la pasta de PbO<sub>2</sub> con agua bidestilada para desprenderla conjuntamente con la gasa enrollada en el cilindro soporte.

Se procuró que todo el material contenido en la gasa sea removido. Se descartó la gasa y se trató el material colectado en el beaker (aproximadamente 100 mL), con 2,5 g de carbonato de sodio anhidro y se sometió a ebullición por 30 minutos para promover que el carbonato de sodio reaccione con el sulfato de plomo (insoluble) y formar sulfato de sodio y carbonato de plomo (insoluble)



Una vez enfriado el contenido del beaker, se filtró. El líquido filtrado se neutralizó con ácido clorhídrico concentrado a pH 3 ó 4 con 7.0 mL de HCl concentrado.

Se procedió a la evaporación de cada filtrado hasta aproximadamente 40 mL con el objetivo de remover el CO<sub>2</sub>. Se transfirió a una fiola de 50 mL y se completó el volumen con agua desionizada.

Se realizó el mismo proceso para la bujía sin exposición al aire, cuya solución se utilizó como “blanco” en la calibración del espectrofotómetro.

De este modo se obtuvo la solución final para la determinación de sulfato por el método espectrofotométrico.

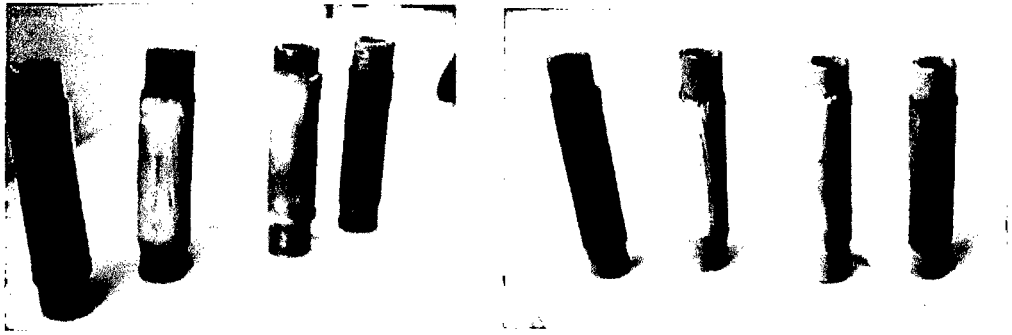


Figura 5.2.4 Bujías removidas luego de ser expuestas al aire (nótese la diferencia de tonalidad en el color). El tono más oscuro tuvo poca sulfatación y el más claro mayor sulfatación

#### 5.2.4 Método espectrofotométrico

Consiste en formar una suspensión coloidal de sulfato de bario mediante la adición de cloruro de bario a las **soluciones muestra** conteniendo sulfato y la determinación del porcentaje de transmitancia (%T) en un espectrofotómetro.

En un segundo ensayo se utilizó el espectrofotómetro Jenway en lugar del espectrofotómetro Spectronic 20. En ambos casos se registraron lecturas en términos de absorbancia.

Con los valores de porcentaje de transmitancia se calcularon los valores de absorbancia ( $A = 2 - \log (\%T)$ ), por cuanto el valor de  $A$  es proporcional a la cantidad de precipitado formado, por tanto es proporcional a la cantidad de sulfato formado en la solución muestra.

La concentración de sulfato en la muestra se determinó extrapolando o interpolando el valor de la absorbancia en la *curva de calibración*.

#### *Procedimiento*

De la solución final obtenida luego del tratamiento químico de las bujías, se tomó 2 ml. con una pipeta y se trasvasó a una fiola de 25 ml. Se agregó 2,5 ml. de solución de glicerina-alcohol 1:2 (v/v) como dispersante y finalmente se enrasó la fiola.

Se agregó mediante un dosificador 2 porciones (aproximadamente 230 mg) de cristales de  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (el dosificador carga aproximadamente 0.1155g de  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  con un rango de error de  $7 \times 10^{-4}$  g)<sup>14</sup>. Se agitó vigorosamente la disolución de los cristales y se dejó en reposo durante 15 minutos. Finalmente se formó una suspensión coloidal de  $\text{BaSO}_4$ .

Se colocó una pequeña cantidad de esta solución en la celda y se registró el valor del porcentaje de transmitancia a 500 nm de longitud de onda en el espectrofotómetro (previamente calibrado a 100% de transmitancia con la solución “blanco”)

Se calculó la absorbancia y se determinó el valor de concentración de sulfato (expresado en valores de  $\text{SO}_3$ ), utilizando la curva de calibración.

A partir de las cantidades de  $\text{SO}_4^{-2}$  encontradas (expresado como  $\text{SO}_3$ ), se determinaron los respectivos grados de sulfatación o índices de sulfatación (IS) expresado en mg de  $\text{SO}_3$  por  $100 \text{ cm}^2$  de área reactiva de  $\text{PbO}_2$  y por el tiempo de exposición de la bujía al  $\text{SO}_2$  expresado en días.

### **5.2.5 Preparación de soluciones para determinar la curva de calibración**

#### *- Solución glicerina – alcohol 1:2 (v/v)*

Se mezcló en una probeta con tapa de 100 mL., un volumen de 10 mL. de glicerina con 20 mL. de alcohol etílico absoluto.

#### *- Solución patrón de sulfato*

Se disolvió 0.8871 g de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  anhidro con  $\text{H}_2\text{O}$  bidestilada y se completó el volumen a 500 mL.

Contiene esta solución 1,1998 mg  $\text{SO}_4^{-2}$ / mL; equivale a 1,00 mg  $\text{SO}_3$ / mL., esta relación está en función a los pesos moleculares de  $\text{SO}_4^{-2}$  y  $\text{SO}_3$

---

<sup>14</sup> QUISPE PAREDES, L. “INVESTIGACIÓN – Monitoreo de Dióxido de Azufre en el Aire Contaminado, mediante las Bujías Reactivas de Peróxido de Plomo”, Revista Técnico – Científica TECNIA Vol. 3, Publicación de la Universidad Nacional de Ingeniería – Lima – Perú, 1986

*- Solución de trabajo de sulfato*

Se diluyó 25 mL de la solución patrón a 500 mL con H<sub>2</sub>O bidestilada, esta solución contiene 50,0 µg SO<sub>3</sub>/ mL

*- Procedimiento de preparación de la curva de calibración*

Se midieron exactamente 2, 4, 6, 8, y 10 mL de la solución de trabajo de sulfato, respectivamente, en fioles de 25 mL debidamente marcadas. En otra fiola de 25 mL marcada como “blanco” se adicionó una pequeña cantidad de agua bidestilada.

Se adicionó a cada fiola 1 gota de HCl (c) y 2,5 mL de la solución glicerina – alcohol, se homogenizó. Se enrasaron los volúmenes de las fioles añadiendo agua bidestilada y adicionando a cada una de ellas aproximadamente 200 mg de cristales de BaCl<sub>2</sub>.2 H<sub>2</sub>O mediante un dosificador (dos porciones), se agitaron hasta total disolución.

Se dejaron en reposo por 20 minutos y se procedió a la lectura de la absorbancia a 500 nm de longitud de onda. Con los datos obtenidos se construyó la curva de calibración (concentración versus absorbancia). Además se obtuvo la ecuación de la curva de calibración por el método de ajuste de curvas.

### **5.3 RESULTADOS EXPERIMENTALES**

Los resultados experimentales fueron obtenidos de la implementación de las estaciones E1, E2, E3, E4, E5 y E6. En cada lote se procedió a realizar 4 lecturas de absorbancia y/o transmitancia en el espectrofotómetro y luego se calcularon los promedios para cada estación de muestreo. Los valores se reportan en el Tabla 5.3.3

El primer lote correspondió al monitoreo realizado con cuatro estaciones. Las lecturas se efectuaron en el espectrofotómetro Spectronic 20, registrándose las lecturas como %T. Mientras que en los otros dos lotes que fueron monitoreados

con seis estaciones se midieron en el espectrofotómetro Jenway 6400 Spectro Photometer, registrándose las lecturas como absorbancias, (Tablas 5.3.2 y 5.3.3).

Tabla 5.3.1 Datos Meteorológicos Promedios de Ayacucho

Número de muestras	Velocidad de Viento (Km/h)	Temperatura (°C)	Presión (atm.)
6	2.53944	16.0	0.7211

En la Tabla 5.3.1 se consignan datos meteorológicos de importancia de Ayacucho para su utilización en el presente trabajo.

Tabla 5.3.2 Valores de transmitancia calculados para las primeras 4 muestras de las estaciones<sup>(\*)</sup>

Muestra y Lugar	%T (observado)	A <sup>c</sup> (calculado)
<b>E1: Residencial</b>	91.00	0.0409580
A una cuadra hacia el norte del Centro Preuniversitario – UNSCH, Urbanización Mariscal Cáceres.	93.00	0.0315171
	84.50	0.0731430
	96.00	0.0177290
	<b>Promedio</b>	<b>91.125</b>
<b>E2: Popular</b>	76.50	0.1163390
Puente Nuevo – Cinco Esquinas.	78.60	0.1045770
	81.50	0.0888420
	80.90	0.0920510
	<b>Promedio</b>	<b>79.375</b>
<b>E3: Popular</b>	92.40	0.0343280
Zona de los ex - Planteles de Aplicación Guamán Poma de Ayala.	77.50	0.1106980
	89.00	0.0506100
	91.00	0.0409580
	<b>Promedio</b>	<b>87.475</b>
<b>E4: Periférico</b>	91.60	0.0381050
Terminal de la Línea 1 en Santa Elena	95.00	0.0222760
	93.90	0.0273340
	93.00	0.0315170
	<b>Promedio</b>	<b>93.375</b>

(\*) Valores promedio de 4 lecturas de transmitancia para cada muestra, utilizando el equipo Spectronic-20.

Tabla 5.3.3 Valores de absorbancia registrados en las suspensiones coloidales obtenidas de las bujías.

Muestra y Lugar	Absorbancia (4 bujías) Spectronic 20	Absorbancia (6 bujías) Jenway 6400 (1er. ensayo)	Absorbancia (6 bujías) Jenway 6400 (2do. ensayo)	Absorbancia Promedio por Estación Jenway 6400
<b>E1: Residencial</b> A una cuadra hacia el norte del Centro Preuniversitario – UNSCH, Urbanización Mariscal Cáceres.	0.0409580	0.04100	0.04200	
	0.0315171	0.03500	0.03700	
	0.0731430	0.03700	0.03600	
	0.0177290	0.03900	0.04000	
<b>Promedio</b>	<b>0.0403620</b>	<b>0.03800</b>	<b>0.03875</b>	<b>0.038375</b>
<b>E2: Popular</b> Puente Nuevo – Cinco Esquinas.	0.0116339	0.09900	0.11000	
	0.1045770	0.11000	0.09800	
	0.0888420	0.10900	0.10700	
	0.0920510	0.10500	0.10800	
<b>Promedio</b>	<b>0.1003160</b>	<b>0.10575</b>	<b>0.10575</b>	<b>0.10575</b>
<b>E3: Popular</b> Zona de los ex - Planteles de Aplicación Guamán Poma de Ayala	0.0343280	0.06100	0.06100	
	0.1106980	0.05900	0.06000	
	0.050610	0.05700	0.05600	
	0.0409580	0.06100	0.05900	
<b>Promedio</b>	<b>0.0581160</b>	<b>0.05950</b>	<b>0.05900</b>	<b>0.05925</b>
<b>E4: Periférico</b> Terminal de la Línea 1 de ransporte en Santa Elena	0.0381050	0.02800	0.02800	
	0.0222760	0.02700	0.02600	
	0.0273340	0.02500	0.02700	
	0.0315170	0.02700	0.02500	
<b>Promedio</b>	<b>0.0297690</b>	<b>0.02675</b>	<b>0.02650</b>	<b>0.026625</b>
<b>E5: Popular</b> Av. Mariscal Cáceres (Óvalo de la Magdalena)	No monitoreado	0.05000	0.05100	
	No monitoreado	0.05100	0.04900	
	No monitoreado	0.05200	0.05000	
	No monitoreado	0.05000	0.05100	
<b>Promedio</b>		<b>0.05075</b>	<b>0.05025</b>	<b>0.05050</b>
<b>E6: Popular</b> Primera cuadra de la Calle Nazareno	No monitoreado	0.09800	0.09900	
	No monitoreado	0.09900	0.09900	
	No monitoreado	0.09600	0.09800	
	No monitoreado	0.09700	0.09800	
<b>Promedio</b>		<b>0.09750</b>	<b>0.09850</b>	<b>0.09800</b>

Se realizaron 4 lecturas para cada ensayo y subsecuentemente se promediaron los valores. No se reportan datos para las estaciones E5 y E6 en el primer ensayo porque el presente estudio se inició considerando 4 estaciones (E1, E2, E3 y E4).



## Curva de Calibración

Tabla 5.3.4 Valores y promedios de absorbancia y concentración para la curva de calibración.

<b>C(SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>), µg</b>	<b>%T (registrado)</b>	<b>A<sup>c</sup> (calculada)</b>
100	95.0	0.022276
100	96.0	0.017729
100	96.5	0.015473
100	97.0	0.013228
<b>Promedio</b>	<b>96.125</b>	<b>0.017164</b>
200	89.0	0.050610
200	88.5	0.053057
200	89.5	0.048177
200	90.0	0.045758
<b>Promedio</b>	<b>89.250</b>	<b>0.049392</b>
300	82.5	0.083546
300	82.0	0.086186
300	83.5	0.078314
300	81.5	0.088842
<b>Promedio</b>	<b>82.375</b>	<b>0.084205</b>
400	75.0	0.124939
400	77.0	0.113509
400	73.5	0.133713
400	77.5	0.110698
<b>Promedio</b>	<b>75.750</b>	<b>0.120617</b>
500	68.0	0.167491
500	71.0	0.148742
500	63.0	0.200659
500	72.0	0.142668
<b>Promedio</b>	<b>68.500</b>	<b>0.164309</b>

Las curvas de calibración se construyeron con los valores de absorbancia en función de la concentración de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>(µg).

El procedimiento para obtener los datos y elaborar la curva de calibración está descrita en el rubro 5.2.5. Los datos promedios de la Tabla 5.3.4, se utilizaron para obtener la Figura 5.3.1a.

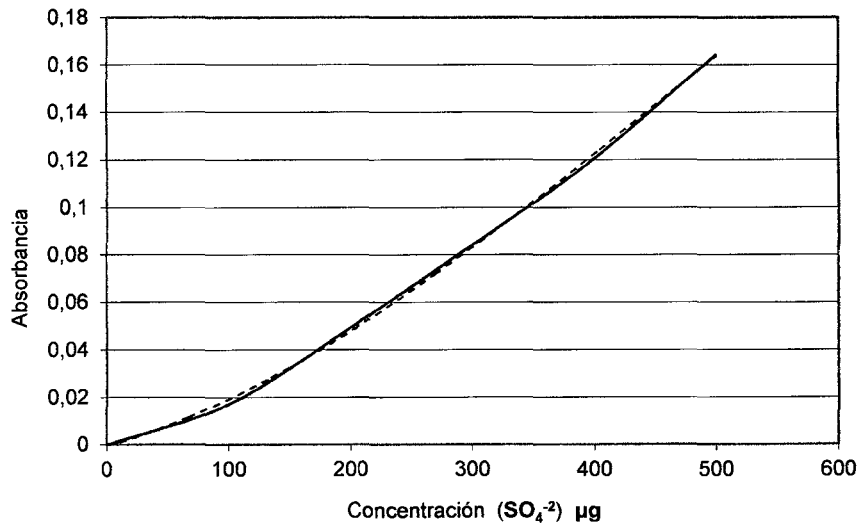


Figura 5.3.1a Curva de Calibración

Cambiando las coordenadas, ubicando la absorbancia en el eje “x” y efectuando el ajuste de curva, se obtiene el Figura 5.3.1b.

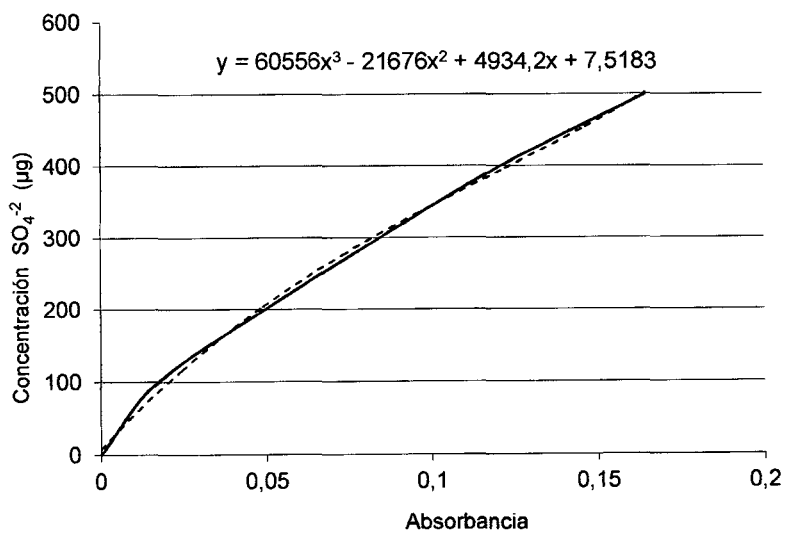


Figura 5.3.1b Curva de Calibración con ecuación de ajuste y ejes invertidos

Utilizando la Figura 5.3.1b y la ecuación de ajuste de curva, se halló la concentración de  $\text{SO}_4^{-2}$  en las soluciones y se calcularon los índices de sulfatación en las muestras (Tabla 5.3.5).

Tabla 5.3.5 Índice de sulfatación en soluciones de muestras problemas

Muestra	A	Concentración $\text{SO}_4^{-2}$ ( $\mu\text{g}$ )	Índice de Sulfatación (IS)
Ensayo con Spectronic – 20			
E1	0.040362	175.34206	0.00859699
E2	0.100316	345.49731	0.01693967
E3	0.058116	232.95048	0.01142152
E4	0.029769	136.79291	0.00670693
Primer Ensayo con Jenway 6400			
E1	0.03800	167.04058	0.008189970
E2	0.10575	358.51995	0.017578165
E3	0.05950	237.12055	0.011625980
E4	0.02675	125.15674	0.006136410
E5	0.05075	210.01632	0.010297060
E6	0.09750	338.67222	0.016605030
Segundo Ensayo con Jenway 6400			
E1	0.03875	169.69417	0.008320070
E2	0.10575	358.51995	0.017578165
E3	0.05900	235.61887	0.011552350
E4	0.02650	124.17955	0.006088500
E5	0.05025	208.41221	0.010218411
E6	0.09850	341.10268	0.0167241995
Promedio de Ensayos			
E1	0.03903733	168.36944	0.0082551220
E2	0.10393870	358.51995	0.0175781650
E3	0.05887200	236.37040	0.0115891960
E4	0.02767300	124.62080	0.0061101341
E5	0.05050000	209.21504	0.0102577740
E6	0.09800000	339.88842	0.0166646650

## 5.4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

a) Para el monitoreo y obtención de los valores de la concentración de anhídrido sulfuroso, SO<sub>2</sub>, del aire de la ciudad de Ayacucho, se utilizó el método de Monitoreo con Bujías Reactivas de Peróxido de Plomo, desarrollado en tres ensayos. En el primer ensayo se utilizaron 4 bujías de muestreo, correspondientes a las Estaciones E1, E2, E3, y E4, (Figura 4.1.1). El segundo y tercer ensayo estuvieron compuestos de 6 bujías correspondientes a las Estaciones E1, E2, E3, E4, E5, y E6.

b) Se utilizaron los espectrofotómetros Jenway y Spectronic 20, para medir la absorbancia y/o transmitancia de las soluciones de las muestras, cuyos valores posteriormente fueron utilizados para calcular la concentración de SO<sub>2</sub> (Figuras A4.5 y A4.6 del Anexo IV y detalle en el rubro 5.2.3).

c) Para la toma de muestras con el método de bujías reactivas de peróxido de plomo, se establecieron en la ciudad de Ayacucho tres zonas, en función a la actividad vehicular:

Zona Popular : con gran cantidad de movimiento vehicular y comercial

Zona Residencial : con mediana actividad vehicular

Zona Periférica : con poca actividad vehicular

d) Ubicación de las bujías reactivas de peróxido de plomo

Zona Periférica : Terminal de la Línea 1 de Transporte Urbano en Santa Elena.

Zona Popular : Puente Nuevo-5 Esquinas, Calle Nazareno, Ovalo de la Magdalena y Ex Planteles Guamán Poma de Ayala.

Zona Residencial : Centro Preuniversitario de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga y la Urbanización Mariscal Cáceres

Los tiempos de exposición de las bujías fueron de 17 días, con un área de exposición de 100 cm<sup>2</sup> en cada bujía, (área que contenía el reactivo de peróxido de plomo). Las bujías son mostradas en las Figuras 5.2.1, 5.2.2 y 5.2.4, con un diseño de diámetro de 2.8 cm y altura de 11.40 cm y con un total de 100 cm<sup>2</sup> de área reactiva.

e) Los valores promedio de las concentraciones de anhídrido sulfuroso, SO<sub>2</sub>, se obtuvieron del promedio de lecturas de cada muestra (separadamente para Spectronic-20 y Jenway 6400), para homogenizar los resultados. Los promedios finales por estación de monitoreo fueron (Tabla 6.3.1):

Estación	Concentración de SO <sub>2</sub> (ppm)
E1	0.002511525
E2	0.004948755
E3	0.003336683
E4	0.001959363
Promedio	0.0031890815

1) [Spectronic – 20]

Estación	Concentración de SO <sub>2</sub> (ppm)
E1	0.002411651
E2	0.005135285
E3	0.003385668
E4	0.001785015
E5	0.002996706
E6	0.004868415
Promedio	0.003430457

2) [Jenway 6400]

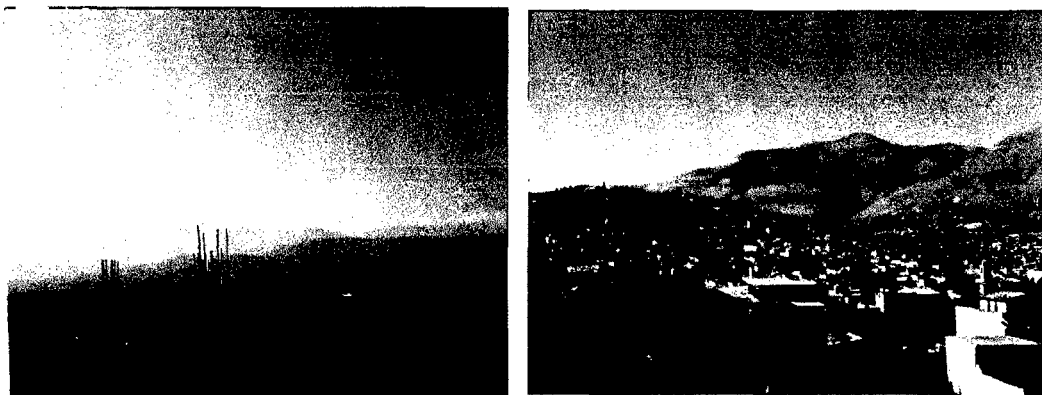
La variación de valores entre las estaciones, muestra que la contaminación en las estaciones E2, E3 (con Spectronic – 20) y E2, E3 y E6 (con Jenway 6400) fueron altas, los mismos que están en función del movimiento vehicular y su correspondiente congestión.

Asimismo observamos que los promedios de concentración de SO<sub>2</sub> obtenidos, en ambos casos (0.0031890815 y 0.003430457), son muy próximos lo que indica que los equipos utilizados (Spectronic – 20 y Jenway 6400) son de confianza.

- f) La construcción de la curva de calibración fue de mucha importancia, porque sirvió para determinar la concentración de sulfato en la solución problema, para ese efecto se midieron 2, 4, 6, 8, y 10 mL de la solución de trabajo de sulfato, y en otra fiola marcada como “blanco” se adicionó una pequeña cantidad de agua bidestilada, a todos se adicionó HCl (c), solución glicerina–alcohol, agua bidestilada y aproximadamente 200 mg de cristales de BaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O, se agitó y se dejó en reposo, luego se procedió a la lectura de la absorbancia a 500 nm de longitud de onda. Con los datos obtenidos se construyó la curva de calibración (concentración versus absorbancia).
- g) Con los datos de la curva de calibración se pudo hacer un ajuste polinomial de 3° grado mediante un método numérico de modo se tenga una ecuación representativa para calcular la concentración de sulfato en la solución problema conociendo su absorbancia. La ecuación obtenida para este procedimiento es:  $y = 60556x^3 - 21676x^2 + 4934.x + 7.518$ , (Figura 5.3.1b).
- h) Para el cálculo del índice de sulfatación fue necesario determinar las concentraciones del sulfato con la ecuación de ajuste de la curva de calibración, y graficar la curva de calibración. Luego se calcula el índice de sulfatación en función a 100 cm<sup>2</sup> de área reactiva y el tiempo de exposición en días (Tabla 5.3.5).
- i) Los valores que se muestra en la Tabla 6.3.1, se encuentran por debajo del estándar de la Organización Mundial de la Salud (OMS), Estándares de la Calidad Ambiental del Aire (ECA Perú: DS 003-2008-MINAM) que es igual a 80 µg SO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>de aire (Tabla III.1) igual a 0.062015503 ppm de SO<sub>2</sub> (densidad del aire = 1.29 kg/m<sup>3</sup> y 1 ppm = 1 mg/kg), por lo que el promedio

determinado del contaminante  $\text{SO}_2$  para la ciudad de Ayacucho fue de 0.003430457 ppm, cuyo valor está por debajo del estándar de 0.062015503 ppm.

- j) Las curvas representantes de los valores promedio de contaminación con  $\text{SO}_2$  de las diferentes estaciones (Figura 6.3.2), se presenta para un ensayo en 4 estaciones (trabajado con Spectronic – 20) y el promedio de dos ensayos en 6 estaciones (trabajado con Jenway 6400), cuyo curva de proyección tiene una tendencia ascendente ligera, que indica el incremento de la contaminación del aire con anhídrido sulfuroso en la ciudad de Ayacucho.
- k) El método de las Bujías Reactivas de Peróxido de Plomo, funciona y muestra los resultados, tal como se ha planeado y obedece a la formulación matemática con la que se trabajó.
- l) Las condiciones meteorológicas en la ciudad de Ayacucho no tuvieron cambios bruscos o inesperados, por lo general es apacible en cuanto a los vientos, temperatura, nubosidad, brillo solar, de modo que la velocidad del viento tiende a mantenerse casi constante en toda la temporada anual, con relativa calma en la mayor parte del día, (rubro 4.3.1) y sus correspondientes gráficos de la tendencia del viento, obteniéndose una trayectoria del viento de sur a norte (Figura 4.3.1); la velocidad del viento tiene importancia porque éste se encarga difundir a mayor o menor velocidad la concentración de los contaminantes luego de la emisión.
- m) La ciudad de Ayacucho a tempranas horas del día presenta una capa de smog que al transcurrir la mañana desaparece (fotografías), este hecho asevera la existencia de contaminación del aire, validando la obtención de los resultados sobre el contaminante anhídrido sulfuroso,  $\text{SO}_2$ .



Fotografía: Presencia de smog en la ciudad de Ayacucho

- n) Se requiere contrastar los resultados obtenidos mediante otros métodos analíticos, porque en aspecto de conservación del ambiente, así como la determinación de los contaminantes del aire, agua y suelo, las instituciones, autoridades y sociedad civil están comprometidos para realizar campañas a favor de la conservación ambiental.
- o) El proceso de determinación, manipulación, cálculo y manejo de reactivos para el monitoreo de anhídrido sulfuroso en el aire de la atmósfera de la ciudad de Ayacucho por el método de las Bujías Reactivas con  $\text{PbO}_2$ , requirió un trabajo muy riguroso.



## CAPÍTULO VI

### 6.0 CORRECCIÓN DE VALORES DE ÍNDICE DE SULFATACIÓN

#### 6.1 DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE CORRELACIÓN

Fue necesario desarrollar un programa en Pascal para resolver el problema de cálculo del factor de correlación para determinar la concentración del contaminante SO<sub>2</sub>.

En el programa se consideraron las características geométricas de las bujías reactivas preparadas con PbO<sub>2</sub>, tales como el diámetro externo, la altura de la capa reactiva, los datos meteorológicos promedio, como la velocidad del viento, temperatura del medio y la presión, así también están incluidas otros valores como la viscosidad cinemática del aire.

Para hallar el factor de correlación (Fc) se utilizaron los siguientes datos

t°C	temperatura promedio,	:	16.0 °C
Ø	diámetro externo de la bujía	:	2.8 cm.
H	altura de la bujía con reactivo de PbO <sub>2</sub>	:	11.4 cm.
P	presión del ambiente, en atmósferas	:	0.7211 atm.
v	velocidad promedio del viento en km / h	:	2.53944 km / h.
ν	viscosidad cinemática del aire, en cm <sup>2</sup> /s	:	0.152 cm <sup>2</sup> /s

Con esta información se procedió a desarrollar el programa en Pascal.

```
PROGRAM FACTOR_CORRELACION;
USES crt;
VAR
F,V,T,P,NSH,NSC,NRE,D:REAL;
    OP : CHAR;
    LABEL 100;
BEGIN
100:
    WRITE('INGRESE VALOR PARA T(°C):');
    READLN(T);
    WRITE('Ingrese valor de Presión barométrica, P en
atmósferas');
    READLN(P);
    WRITE('Ingrese el valor de la velocidad del viento
promedio, V (km/h)');
    READLN(V);

        {P:=P/1013,25;}
    V:=V*0.277778;
    T:=273.15+T;
    D:=(0.0000226)*SQRT(T*T*T)/P;
    NSC :=0.152/D ;
    NRE :=V*2.8 / 0.152 ;
    NSH := 0.804913 + 0.6 * EXP((1/3)*LN(NSC))*SQRT(NRE) ;
    F:=(0.00011860)*T*2.8 / (P * D * NSH);
    WRITELN('El valor del Factor de Correlación es = ',
F:1:5);
    WRITE('Desea CONTINUAR S / N :');
    READLN(OP);
    IF (OP = 'S') OR (OP = 's') THEN GOTO 100;
END.
```

## 6.2 FACTOR DE CORRELACION

El Programa FACTOR\_CORRELACION, escrito en el lenguaje de programación Pascal estándar, se corrió en ambiente DOS para obtener el factor de correlación.

Para el correcto funcionamiento de este programa primero se escribió en la línea del programa los correspondiente valores de diámetro, altura de la bujía reactiva, viscosidad cinemática del aire, en  $\text{cm}^2/\text{s}$ , y al correr, el programa calculó en forma transparente los valores de  $D_{1,2}$ ,  $N_{Sh}$ ,  $N_{SC}$ ,  $N_{RE}$ .

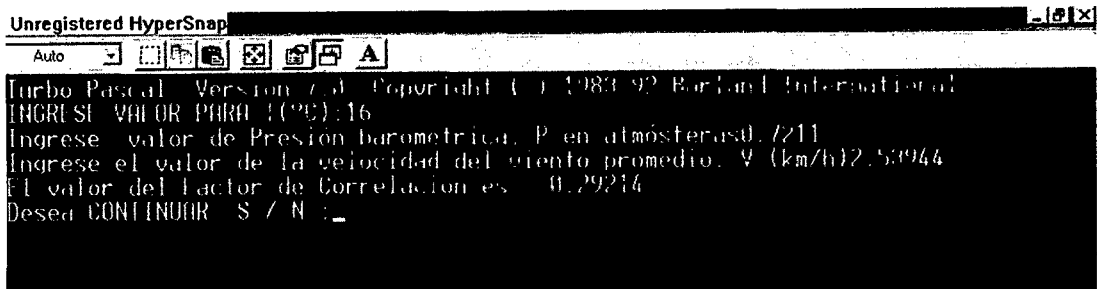
Luego de la compilación y depuración, el programa se tuvo listo para el cálculo del factor de correlación. Como se observa en la Figura 6.2.1 el programa solicitó el ingreso por teclado de los siguientes principales datos:

Temperatura ambiente en °C	:16.0
Presión barométrica en atmósferas	: 0.7211
Velocidad del viento en Km/h	: 2.53944

Luego el programa procesó y mostró el valor del factor de correlación, que fue igual a **0.29214**.

La Figura 6.2.1 mostró el resultado de la ejecución del programa FACTOR\_CORRELACION. Se observa los datos alimentados y el resultado que el computador emite como el factor de correlación.

Para concluir con la ejecución del programa se ingresó “N” a la pregunta que formula el sistema.



```
Unregistered HyperSnap
Auto
Turbo Pascal Version 7.0 Copyright (c) 1983-92 Borland International
INGRESE VALOR PARA T(°C):16
Ingrese valor de Presión barométrica, P en atmósferas:0.7211
Ingrese el valor de la velocidad del viento promedio, V (km/h):2.53944
El valor del Factor de Correlacion es 0.29214
Desea CONTINUAR S / N :_
```

Figura 6.2.1 Pantalla de ejecución del programa y la forma de alimentar datos.

### 6.3 VALORES DEL ÍNDICE DE SULFATACIÓN Y CONCENTRACIÓN CORREGIDAS

#### Cálculo de la concentración del SO<sub>2</sub> (ppm).

Los valores de la concentración de SO<sub>2</sub> (ppm), se obtuvieron multiplicando el índice de sulfatación calculado, mostrado en la Tabla 5.3.5, por el factor de correlación.

$$C = I_s * F_c$$

Tabla 6.3.1 Concentración de anhídrido sulfuroso, SO<sub>2</sub>. (Fc=0.29214)

Muestra	Índice de Sulfatación	Concentración, SO <sub>2</sub> (ppm)
<b>Ensayo con Spectronic – 20</b>		
E1	0.00859699	0.002511525
E2	0.01693967	0.004948755
E3	0.01142152	0.003336683
E4	0.00670693	0.001959363
Concentración SO <sub>2</sub> (Promedio 4 estaciones)		0.0031890815

Muestra	Índice de Sulfatación	Concentración, SO <sub>2</sub> (ppm)
<b>Primer Ensayo con Jenway 6400</b>		
E1	0.00818997	0.002392618
E2	0.017578165	0.005135285
E3	0.01162598	0.003396414
E4	0.00613641	0.001792691
E5	0.01029706	0.003008183
E6	0.01660503	0.004850993
<b>Segundo Ensayo con Jenway 6400</b>		
E1	0.008320070	0.002430625
E2	0.017578165	0.005135285
E3	0.011552350	0.003374904
E4	0.006088500	0.001778694
E5	0.010218411	0.002985207
E6	0.0167241995	0.004885808
<b>Promedio</b>		
E1	0.008255122	0.002411651
E2	0.017578165	0.005135285
E3	0.011589196	0.003385668
E4	0.0061101341	0.001785015
E5	0.010257774	0.002996706
E6	0.016664665	0.004868415
Concentración SO <sub>2</sub> (Promedio 6 estaciones)		0.003430457

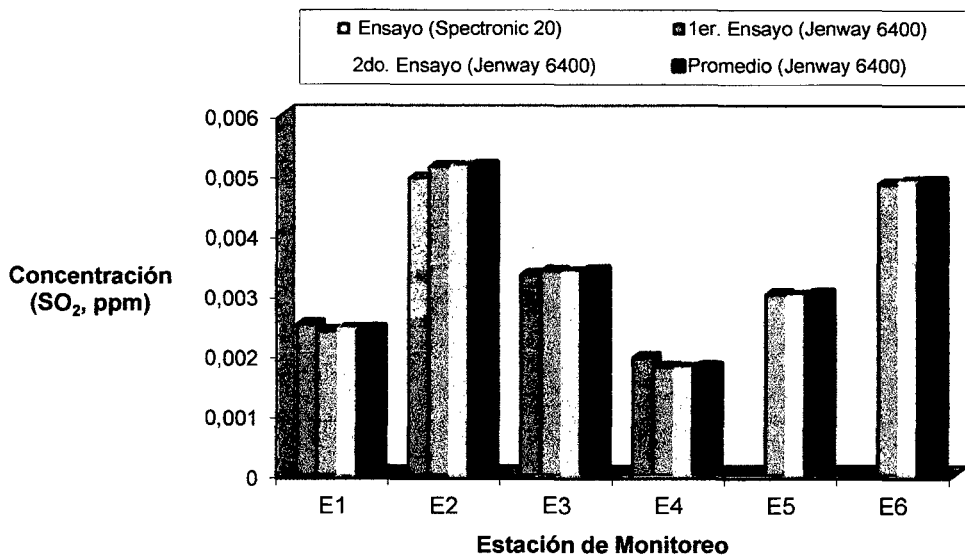


Figura 6.3.1 Nivel de Contaminación de Estaciones con SO<sub>2</sub>

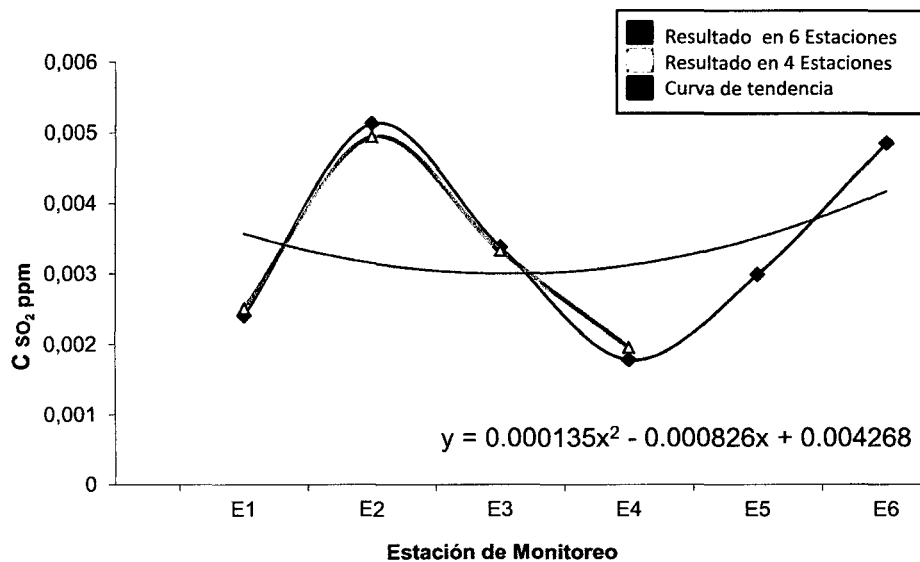


Figura 6.3.2 Comportamiento y Media de Anhídrido Sulfuroso, SO<sub>2</sub>

La Figura 6.3.2 muestra la curva del comportamiento del contaminante SO<sub>2</sub> en la atmósfera ayacuchana. Con los datos promedio en las diferentes estaciones, se hizo un ajuste polinomial de curva de segundo grado para ver la tendencia y del comportamiento de la gráfica, que muestra el nivel de contaminación en Ayacucho, cuyo valor fue 0.003430457 ppm de SO<sub>2</sub>.

A continuación se muestran los valores máximos de contaminación del aire con SO<sub>2</sub>, de algunos países importantes, teniendo en cuenta el nivel de industrialización que tienen, además con un gran parque automotor, en el caso de Perú no figura posiblemente porque los niveles de contaminación con el anhídrido sulfuroso es mínima, como se puede observar en la Tablas 1.6.1, 1.6.2, 1.6.3, 1.6.4 y 1.6.5 Lima, y la Tabla 1.6.6 y Figura 1.6.1 para La Oroya, un poco en Arequipa capital, cuyas cantidades son pequeñas.

Tabla 6.3.2 Concentración máxima permisible de SO<sub>2</sub> en el aire de algunos países.

País	Concentración		Tiempo de Muestreo (h)	Límite de Concentración (%)
	mg/m <sup>3</sup>	ppm		
Holanda	0,375	0,15	24	98,0
USA	0,365	0,14	24	99,7
Bélgica	0,150	0,06	24	50,0
Japón	0,125	0,05	24	70,0
Francia	0,250	0,10	24	97,8

Fuente: Tesis de Roncal Sánchez – León Saldaña- Universidad Nacional de la Libertad-Perú-1999

#### 6.4 CONTROL Y MITIGACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN CON ANHÍDRIDO SULFUROSO SO<sub>2</sub>.

Se entiende como medida de mitigación a la implementación o aplicación de cualquier política, estrategia, obra y/o acción tendiente a eliminar o minimizar los impactos adversos que pueden presentarse durante el desarrollo de cualquier actividad y mejorar la calidad ambiental aprovechando las oportunidades existentes.

Es necesario rectificar cualquier impacto generado por una actividad humana reparando, rehabilitando o restaurando el ambiente afectado.

Será necesario establecer y recomendar medidas de protección, prevención, atenuación, restauración y compensación de los impactos ambientales negativos, por medio de la implementación de planes de control ambiental:

- Plan de manejo ambiental
- Plan de monitoreo ambiental
- Plan de capacitación y educación ambiental
- Programa de seguimiento
- Programa de inversiones
- Plan de salud y seguridad ocupacional

La emisión de contaminantes por el parque automotor ocasiona impactos negativos a la atmósfera; contribuyendo de manera agigantada a la contaminación atmosférica generada por los acción antropogénica.

Entonces se deben realizar actividades de sociabilización y sensibilización sobre la contaminación del aire, implementando y propugnando que:

- La Municipalidad Provincial de Huamanga, los Ministerios de Agricultura, Salud e Industria, el Gobierno Regional, la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, y otras entidades, desarrollen acciones de sensibilización en cuanto a la conservación del ambiente y evitar el aumento de la contaminación; implementando normas, edictos, ordenanzas, programas de vigilancia y control del deterioro del ambiente, en forma continua para todo tipo de contaminante, para el resguardo de la salud y la naturaleza.
- Conformar equipos interinstitucionales de defensa del ambiente, liderado por la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, con participación activa de los docentes, egresados, estudiantes, y personal administrativo.
- Implementar programas de corrección del tráfico vehicular, control del desmedido incremento de las unidades vehiculares y de la antigüedad del parque automotor para mitigar la contaminación ambiental.
- Reforzar e impulsar la adecuación de los vehículos para el uso de gas licuado, por ser de menor contaminación ambiental.

- Formar equipos para evaluar permanentemente los contaminantes atmosféricos del aire mediante programas de la municipalidad o de gobierno regional, para prever las condiciones de salubridad en la ciudad de Ayacucho.



## CONCLUSIONES

Las siguientes conclusiones se obtuvieron del presente estudio de investigación

- 1) Se determinó el grado de contaminación del aire de la ciudad de Ayacucho con anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>) mediante el método de las Bujías Reactivas de Peróxido de Plomo. Los resultados promedios de concentración por estación fueron:

Estación	Lugar	Concentración, SO <sub>2</sub>	
		ppm	µg / m <sup>3</sup>
E1	Residencial: Urb. Mariscal Cáceres	0.002411651	6.31852562
E2	Popular: Puente Nuevo y Cinco Esquinas	0.005135285	13.45444670
E3	Popular: Ex Planteles de Aplicación Guamán Poma de Ayala	0.003385668	8.87045016
E4	Periférico: Terminal de Línea 1 en Santa. Elena	0.001785015	4.67673930
E5	Popular: Ovalo de la Magdalena	0.002996706	7.85136972
E6	Popular: 1 <sup>a</sup> Cuadra de Calle Nazareno	0.004868415	12.75524730
	Concentración promedio de estaciones	0.003430457	8.98779734

Los datos muestran que la mayor contaminación con anhídrido sulfuroso se manifestó en las rutas vehiculares y puntos de mayor congestión

vehicular tales como en las estaciones E2, E3, E5 y E6 correspondientes a Puente Nuevo, Cinco Esquinas, ex Planteles de Aplicación Guamán Poma de Ayala, Ovalo de la Magdalena, 1<sup>a</sup> Cuadra de la Calle Nazareno y con menor concentración en la estación E1 de la Urbanización Mariscal Cáceres y estación E4 en la terminal de la Línea 1 de Transporte Urbano en Santa Elena, por lo que es necesario un reordenamiento vial para lograr el descongestionamiento y mitigar la contaminación del aire (ver Figura C01).

- 2) Los valores de la concentración de anhídrido sulfuroso ( $\text{SO}_2$ ) en el aire de la ciudad de Ayacucho, están por debajo de los valores máximos permisibles para este contaminante, como se muestra en la Tabla 6.3.1, siendo de  $80 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$  de aire (según la Organización Mundial de la Salud (OMS) y Estándar de Calidad Ambiental (ECA) - Perú) y el valor promedio obtenido en la atmósfera de Ayacucho fue de  $0.003430457$  ppm equivalente a  $8.98779734 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$  de aire, indicativo de que la contaminación con el anhídrido sulfuroso  $\text{SO}_2$  no es significativo, además el flujo de los vientos de sur a norte y las características geográficas de la ciudad facilitan el desplazamiento de este contaminante hacia otras zonas.
- 3) De los resultados de las pruebas realizadas se concluye que el monitoreo de anhídrido sulfuroso ( $\text{SO}_2$ ) con el método de las Bujías Reactivas de Peróxido de Plomo utilizado y la aplicación del factor de correlación obtenido, constituye una alternativa apropiada para la evaluación de dicho contaminante, y para dar una cobertura a los programas de vigilancia y control del deterioro del medio ambiente.
- 4) La mayor contaminación del aire en Ayacucho lo genera el parque automotor, donde operan vehículos con tiempo de vida vencida y en malas condiciones de mantenimiento, cuyos motores no realizan buena combustión del combustible. También contribuyen a la contaminación los gases antropogénicos, la polución y quema de residuos sólidos, gases emitidos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de “La Totorá”.

- 5) Es imprescindible evaluar continuamente la variación de los contaminantes, como el anhídrido sulfuroso ( $\text{SO}_2$ ), para mantener las variables ambientales en condiciones aceptables para conservar la biósfera; a pesar que los contaminantes ambientales hayan sido disipados por los vientos, persistirán afectando a los animales, plantas y construcciones o monumentos.

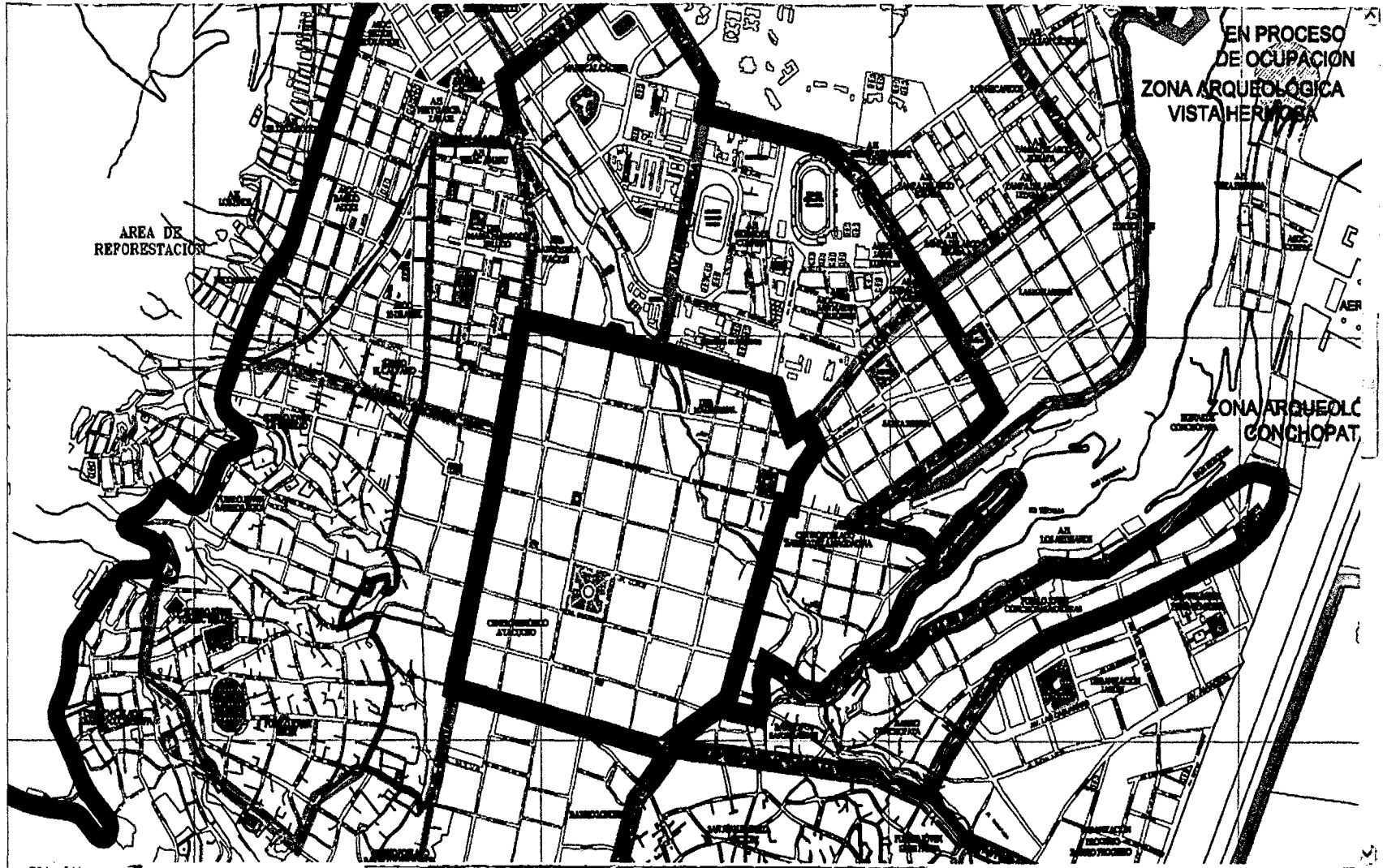


Figura C01 Circuito vial de la ciudad de Ayacucho

## RECOMENDACIONES

- 1.- Desarrollar y/o adoptar nuevas técnicas o métodos de determinación de anhídrido sulfuroso y otros contaminantes del aire en la atmósfera de Ayacucho, para contrastar y validar los datos hallados en el presente estudio.
- 2.- Se recomienda continuar con la investigación de contaminantes gaseosos en la atmósfera de la ciudad de Ayacucho, por ser de interés público y que implica la conservación del ambiente, siendo necesario evaluar permanentemente los contaminantes atmosféricos del aire mediante un programa municipal o de gobierno regional, de modo que se pueda prever las condiciones de salubridad en la ciudad de Ayacucho.
- 3.- Conformar equipos interinstitucionales de defensa del ambiente, liderado por la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, con participación activa de los docentes, egresados, estudiantes, y personal administrativo.
- 4.- La Escuela de Posgrado, las coordinaciones de las Secciones de Posgrado y los laboratorios de investigación de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga deben implementarse con instrumentos y equipos especializados para realizar trabajos experimentales y de simulación en el tema ambiental; y además la implementación de una biblioteca especializada

- 5.- Creación de un Instituto de Defensa del Ambiente en la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, conformado por profesionales y estudiantes comprometidos con el tema.
  
- 6.- Es necesario que se implementen programas de corrección del tráfico vehicular, control del desmedido incremento de las unidades vehiculares y el control de la antigüedad del parque automotor para mitigar la contaminación ambiental. Reforzar e impulsar la adecuación de los vehículos para el uso de gas licuado como combustible limpio, por ser de menor contaminación ambiental.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- 1) COMUNIDAD ANDINA: SECRETARÍA GENERAL (2010), “Estadísticas Ambientales – Perú”, Lima Perú.
- 2) CONSEJO NACIONAL PARA EL DESARROLLO DE LA MICRO Y PEQUEÑA EMPRESA-CODEMYPE-MINISTERIO DE LA PRODUCCIÓN (2011), “Estadística de la Micro y Pequeña Empresa 2010”, Lima Perú.
- 3) DE NEVER, Noel (1999). “Ingeniería de Control de la Contaminación del Aire”, Editorial McGraw Hill.
- 4) DEFENSORÍA DEL PUEBLO – PERÚ (2008). “Informe Defensorial N° 136: La calidad del aire en Lima y su impacto en la salud y la vida de sus habitantes: seguimiento de las recomendaciones defensoriales”, Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2008-09881, Lima Perú.
- 5) DEL GIORGIO, Juan A (1977). “Contaminación Atmosférica, Métodos de Medida y Redes de Vigilancia”, Ed. ALAMBRA.
- 6) DIRECCIÓN GENERAL DE SALUD AMBIENTAL - DIGESA, “Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire y Gestión de los Datos”, Perú, 2005.
- 7) FREEMAN, Harry M. (1999), “Manual de Prevención de la Contaminación Industrial”, Ed. McGraw Hill.
- 8) HOLGUIN MENESES, J.E. (1993), “TESIS – Evaluación de los Niveles de Contaminación Atmosférica con Dióxido de Azufre en la Ciudad de Lima”, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima – Perú.
- 9) HUAMANTINCO ARAUJO, A. (1998), “La Mejora del Medio Ambiente Orientada al Desarrollo Sostenible”, Fondo General de Contravalor Perú Canadá, Gerencia de Proyectos.
- 10) INEI (2011), “Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales 2011”.
- 11) INEI (2010), “Ayacucho Compendio Estadístico 2009”.
- 12) JARABO, Francisco – ELORTEGUI, Nicolás – JARABO, Jenny (2001), “Fundamentos de Tecnología Ambiental”. Ed. SAPT Publicaciones Técnicas SRL.
- 13) KORE, Marcelo E. (1999), “Manual - Curso de Orientación para el Control de la Contaminación del Aire”, Oficina Sanitaria Panamericana – Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud, Lima – Perú.
- 14) MASSUET G., Vicente “Lucha contra el Polvo en la Industria”, Ed. CEDEL
- 15) MINISTERIO DE LA PRODUCCIÓN (2010), “Anuario Estadístico 2010”, Oficina General de Tecnología de la Información y Estadística.

- 16) MINISTERIO DEL AMBIENTE (2011), “COMPENDIO DE LA LEGISLACIÓN AMBIENTAL PERUANA” VOLUMEN V - CALIDAD AMBIENTAL; Editado por la Dirección General de Políticas, Normas e Instrumentos de Gestión Ambiental del Ministerio del Ambiente, Lima Perú, 1ra. Ed.
- 17) PARKER, Albert (2002), “Contaminación del Aire por la Industria”; Ed. Reverté S.A.
- 18) PEÑUELAS REIXACH, J. (1993), “El Aire de la Vida”, Ed. ARIEL CIENCIA, Barcelona – España.
- 19) QUISPE PAREDES, L. (1986), “Investigación – Monitoreo de Dióxido de Azufre en el Aire Contaminado, mediante las Bujías Reactivas de Peróxido de Plomo”, Revista Técnico – Científica TECNIA Vol. 3, Publicación de la Universidad Nacional de Ingeniería – Lima – Perú.
- 20) RITTMANN, Bruce – McCARTY, Perry (2002), “Biotecnología del Medio Ambiente – Principios y Aplicaciones”; Ed. McGraw Hill.
- 21) RONCAL SÁNCHEZ, C.W. – LEON SALDAÑA, P.R. (1999), “Tesis - Determinación de los Contaminantes Atmosféricos, Dióxido de Azufre y partículas en suspensión en la ciudad de Trujillo, por el Parque Automotor”, Universidad Nacional de la Libertad, Trujillo – Perú.
- 22) SAWYER, Clair – McCARTY, Perry – PARKIN, Gene (2001), “Química para Ingeniería Ambiental”. 4ta.Ed. McGraw Hill.
- 23) SEOANEZ CALVO, Mariano (2002), “Tratado de Climatología aplicada a la Ingeniería Ambiental”. Ed. Mundi-Prensa.
- 24) SOLANO RAMOS, R.A. (2001), “Investigación – Estudio del Impacto Ambiental de Ayacucho”, Universidad Nacional de san Cristóbal de Huamanga”, Ayacucho – Perú.
- 25) STRAUSS, W – MAINWARING, S. J. (1990), “Contaminación del Aire, Causas, Efectos y Soluciones”, Ed. TRILLAS.
- 26) WARK, Kenneth – WARNER, Cecil F. (1990), “Contaminación del Aire, Origen y Control”, Ed. LIMUSA.

sitios web.

[www.cepis.ops-oms.org](http://www.cepis.ops-oms.org)

[www.frsf.utn.edu.ar/investigacion/grupos/gases/información/resecon.htm](http://www.frsf.utn.edu.ar/investigacion/grupos/gases/información/resecon.htm)

[www.esi.unav.es/asignaturas/ecologia/hipertexto/04ecosis/100ecosis.htm#poblacion](http://www.esi.unav.es/asignaturas/ecologia/hipertexto/04ecosis/100ecosis.htm#poblacion)

[www.ems-sema.org/castellano/index.html](http://www.ems-sema.org/castellano/index.html)

[www.inei.gob.pe](http://www.inei.gob.pe)

[www.minem.gob.pe](http://www.minem.gob.pe)

[www.conam.gob.pe](http://www.conam.gob.pe)

[www.conam.gob.pe/sinia/](http://www.conam.gob.pe/sinia/)

[www.regionayacucho.gob.pe](http://www.regionayacucho.gob.pe)



## ANEXO I

### 1) DOCE N° L 257, de 10 de octubre de 1996.

#### *EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE AMBIENTAL*

DIRECTIVA 96/62/CE DEL CONSEJO, de 27 de septiembre de 1996, relativa a la EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE

EL CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA,

Visto el Tratado constitutivo de la Comunidad Europea y, en particular, el apartado 1 del artículo 130 S,

Vista la propuesta de la Comisión,

Visto el dictamen del Comité Económico y Social,

De conformidad con el procedimiento establecido en el artículo 189 C del Tratado,

Considerando que el quinto Programa de acción de 1992 sobre el medio ambiente, cuyo planteamiento general fue aprobado por el Consejo y los representantes de los Gobiernos de los Estados miembros en su Resolución 93/C 138/01 de I de febrero de 1993 contempla modificaciones de la legislación actual sobre contaminantes atmosféricos; que este programa recomienda la definición de objetivos a largo plazo de calidad del aire;

Considerando que, para proteger el medio ambiente en su totalidad así como la salud humana, deben evitarse, prevenirse o reducirse las concentraciones de contaminantes atmosféricos nocivos y establecerse valores límite o umbrales de alerta para los niveles de contaminación del aire ambiente;

Considerando que, para tener en cuenta los mecanismos específicos de formación de ozono es posible que se hayan de complementar o sustituir estos valores límite y umbrales de alerta por valores objetivo;

Considerando que los valores numéricos de los valores límite, los umbrales de alerta, y, respecto al ozono, los valores objetivo, los valores límite o los umbrales de alerta deben basarse en los resultados del trabajo realizado por grupos científicos internacionales que se ocupen de esta materia;

Considerando que la Comisión debe realizar estudios para analizar los efectos de la acción combinada de varios contaminantes o fuentes de contaminación, y el efecto del clima en la actividad de los distintos contaminantes estudiados en el contexto de la presente Directiva; (continúa .....)

### 2) Decreto Supremo N° 074-2001-PCM

Aprueban el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire

DECRETO SUPREMO N° 074-2001-PCM

CONCORDANCIAS: D.S. N° 009-2003-SA, Primera Disposición Complementaria.

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, 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 al desarrollo de su vida;

Que, el Artículo 67 de la Constitución Política del Perú señala que el Estado determina la política nacional del ambiente y promueve el uso sostenible de los cursos naturales;

Que, la Ley N° 26821, Ley Orgánica para el Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales, establece la responsabilidad del Estado de promover el aprovechamiento sostenible de la atmósfera y su manejo racional, teniendo en cuenta su capacidad de renovación;

Que, el Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales, en su Título Preliminar, Artículo I establece que es obligación de todos la conservación del ambiente y consagra la obligación del Estado de prevenir y controlar cualquier proceso de deterioro o depredación de los recursos naturales que puedan interferir con el normal desarrollo de toda forma de vida y de la sociedad;

Que, siendo los Estándares de Calidad Ambiental del Aire, un instrumento de gestión ambiental prioritario para prevenir y planificar el control de la contaminación del aire sobre la base de una estrategia destinada a proteger la salud, mejorar la competitividad del país y promover el desarrollo sostenible;

Que, de conformidad con el Reglamento Nacional para la Aprobación de Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles, Decreto Supremo N° 044-98-PCM, se aprobó el Programa Anual 1999, para Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles, conformándose el Grupo de Estudio Técnico Ambiental “Estándares de Calidad del Aire” - GESTA AIRE, con la participación de 20 instituciones públicas y privadas que ha cumplido con proponer los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire bajo la coordinación del Consejo Nacional del Ambiente;

Que, con fecha 8 de diciembre de 1999, fue publicada en El Peruano la Resolución Presidencial N° 078-99-CONAM-PCD, conteniendo el proyecto de Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire, acompañada de la justificación correspondiente. Como consecuencia de esta Consulta Pública, se recibieron observaciones y sugerencias las que se han incorporado dentro del proyecto definitivo, el que fue remitido a la Presidencia de Consejo de Ministros;

Que, el presente Reglamento ha sido consultado con el sector privado y la sociedad civil por más de dos años, desde su formulación técnica hasta su aprobación político - institucional con el objeto de lograr el consenso de los sectores empresariales pesqueros, mineros e industriales, incluyendo a las organizaciones no gubernamentales especializadas en medio ambiente, así como las instituciones públicas vinculadas a la calidad del aire, lográndose así el equilibrio entre los objetivos de protección de la salud como el de tener reglas claras para la inversión privada en el mediano y largo plazo;

Que, la Comisión Ambiental Transectorial ha analizado a profundidad el contenido del presente reglamento en sus aspectos técnico-ambientales, competencias institucionales y estrategia de aplicación, habiendo aprobado por consenso su contenido y recomienda que el Consejo de Ministros apruebe la presente norma;

De conformidad con lo dispuesto en el inciso 8) del Artículo 118 de la Constitución Política del Perú y el inciso 2) del Artículo 3 Decreto Legislativo N° 560, Ley del Poder Ejecutivo; y, con el voto aprobatorio del Consejo de Ministros;

**SE DECRETA:**

Artículo 1.- Apruébese el “Reglamento de estándares nacionales de calidad ambiental del aire” el cual consta de 5 títulos, 28 artículos, nueve disposiciones complementarias, tres disposiciones transitorias y 5 anexos, los cuales forman parte del presente Decreto Supremo.

Artículo 2.- Quedan derogadas todas las normas que se opongan al presente Decreto Supremo.

Artículo 3.- El presente Decreto Supremo será refrendado por el Presidente del Consejo de Ministros.

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

**VALENTIN PANIAGUA CORAZAO**

Presidente Constitucional de la República

**JUAN INCHAUSTEGUI VARGAS**

## REGLAMENTO DE ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL DEL AIRE

### TÍTULO I

#### Objetivo, Principios y Definiciones

Artículo 1.- Objetivo.

Artículo 2.- Principios.

- a) La protección de la calidad del aire es obligación de todos
- b) Las medidas de mejoramiento de la calidad del aire se basan en análisis costo - beneficio
- c) La información y educación a la población respecto de las prácticas que mejoran o deterioran la calidad del aire serán constantes, confiables y oportunas.

Artículo 3.- Definiciones.

- a) Análisis costo
- b) Contaminante del aire.
- c) Estándares de Calidad del Aire.
- d) Forma del Estándar.
- e) Gesta Zonal de Aire.
- f) Valores Referenciales.
- g) Valores de Tránsito.
- h) Zonas de Atención Prioritaria.

### TÍTULO II

#### De los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire

Capítulo I Estándares Primarios de Calidad del Aire

Artículo 4.- Estándares Primarios de Calidad del Aire.- Los estándares primarios de calidad del aire consideran los niveles de concentración máxima de los siguientes contaminantes del aire:

- a) Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>)
- b) Material Particulado con diámetro menor o igual a 10 micrómetros (PM-10)
- c) Monóxido de Carbono (CO)
- d) Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>)
- e) Ozono (O<sub>3</sub>)
- f) Plomo (Pb)
- g) Sulfuro de Hidrógeno (H<sub>2</sub>S)

Deberá realizarse el monitoreo periódico del Material Particulado con diámetro menor o igual a 2.5 micrómetros (PM-2.5) con el objeto de establecer su correlación con el PM10. Asimismo, deberán realizarse estudios semestrales de especiación del PM10 para determinar su composición química, enfocando el estudio en partículas de carbono, nitratos, sulfatos y metales pesados. Para tal efecto se considerarán las variaciones estacionales.

Al menos cada dos años se realizará una evaluación de las redes de monitoreo.

Artículo 5.- Determinación de estándares.

Artículo 6.- Instrumentos y Medidas.

- a) Límites Máximos Permisibles de emisiones gaseosas y material particulado
- b) Planes de acción de mejoramiento de la calidad del aire
- c) El uso del régimen tributario y
- d) Monitoreo de la calidad del aire
- e) Evaluación de Impacto Ambiental.

Estos instrumentos y medidas, una vez aprobados son legalmente exigibles.

Artículo 7.- Plazos.

Artículo 8.- Exigibilidad.

### TÍTULO III

Del Proceso de Aplicación de los Estándares Nacionales de Calidad del Aire

Capítulo 1 Planes de Acción para el Mejoramiento de la Calidad del Aire

Artículo 9.- Planes de Acción.

Artículo 10.- Lineamientos Generales.

- a) Mejora continua de la calidad de los combustibles
- b) Promoción de la mejor tecnología disponible
  - c) Racionalización del transporte, incluyendo la promoción de transporte alternativo
  - d) Planificación urbana y rural
  - e) Promoción de compromisos voluntarios
  - f) Desarrollo del entorno ecológico y áreas verdes
  - g) Disposición y gestión adecuada de los residuos.

Artículo 11.- Diagnóstico de Línea Base.

- a) Monitoreo
- b) Inventario de emisiones
- c) Estudios epidemiológicos

Artículo 12.- Del monitoreo.

Artículo 13.- Del inventario de emisiones.

Artículo 14.- De los estudios epidemiológicos.

Artículo 15.- Programas de Vigilancia Epidemiológica y Ambiental.

Artículo 16.- Del proceso de elaboración de los planes de acción.

- a) elaboración de una estrategia preliminar
- b) análisis costo-beneficio de la estrategia
- c) diálogo político para exponer resultados
- d) propuesta de plan de acción y consulta pública
- e) aprobación del plan de acción

Artículo 17.- Aprobación de los planes de acción.

Artículo 18.- Plazo de cumplimiento.

Artículo 19.- Plazos para la aprobación de los planes de acción.

## Capítulo 2 De las Zonas de Atención Prioritaria

Artículo 20.- Zonas de Atención Prioritaria.

Artículo 21.- Ámbito del plan de acción en Zonas ambientales de atención prioritaria.

## Capítulo 3 Revisión de los Estándares Nacionales de Calidad del Aire

Artículo 22.- La revisión de los estándares nacionales de calidad ambiental del aire se realizará de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 6 y Primera Disposición Complementaria del Decreto Supremo N° 044-98-PCM.

## TÍTULO IV

### De los Estados de Alerta

Artículo 23.- Estados de alerta.

## TÍTULO V

### De las Competencias Administrativas

Artículo 24.- Del Consejo Nacional del Ambiente.

- a) Promover y supervisar el cumplimiento
- b) Promover y aprobar los GESTAS Zonales de Aire,
- c) Aprobar las directrices para la elaboración de los planes
- d) Aprobar los planes de acción y las medidas de alerta
- e) Supervisar la ejecución de los planes mencionados en el inciso anterior.

Artículo 25.- Del Ministerio de Salud.

- a) elaborar los estudios de diagnóstico de línea de base
- b) proponer los niveles de estado de alerta
- c) declarar los estados de alerta
- d) establecer o validar criterios y metodologías

Artículo 26.- Del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.

Artículo 28.- Composición del GESTA Zonal de Aire.

- a) Consejo Nacional del Ambiente
- b) Ministerio de Salud
- c) Cada Municipalidad Provincial involucrada
- d) Organizaciones no gubernamentales
- e) Organizaciones sociales de base
- f) Comunidad universitaria
- g) Sector empresarial privado por cada actividad económica
- h) Ministerio de Educación
- i) Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)
- j) Sector público por cada actividad económica
- k) Consejo Regional respectivo del Colegio Médico del Perú

## DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS

Primera.- Para el caso de Lima-Callao,

Segunda.- Las autoridades ambientales sectoriales propondrán los Límites Máximos Permisibles

Tercera.- La elaboración e implementación de los planes para el mejoramiento de la Calidad del Aire

Cuarta.- El Ministerio de Educación coordinará y ejecutará acciones en materia de educación..

Quinta.- Las ciudades o zonas que luego de realizado el monitoreo

Sexta.- Las ciudades o zonas que luego de realizado el monitoreo

Sétima.- Las ciudades o zonas que luego de realizado el monitoreo

Octava.- Una vez publicado el estándar nacional de calidad ambiental

Novena.- Las autoridades competentes deben tomar las medidas

#### DISPOSICIONES TRANSITORIAS

Primera.- En tanto el Ministerio de Salud no emita las directivas y normas

Segunda.- El valor del estándar nacional de calidad ambiental del aire de dióxido de azufre

Tercera.- El CONAM dictará las normas de creación

**Tabla A1.1.- (Anexo 1) Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire**

(Todos los valores son concentraciones en microgramos por metro cúbico. NE: no exceder)

CONTAMINANTE	PERIODO	FORMA DEL ESTANDAR		MÉTODO DE ANÁLISIS*
		VALOR	FORMATO	
Dióxido de Azufre	Anual	80	Media aritmética anual	Fluorescencia UV (método automático)
	24 horas	365	NE más de 1 vez al año	
PM-10	Anual	50	Media aritmética anual	Separación inercial/ filtración (Gravimetría)
	24 horas	150	NE más de 3 veces/año	
Monóxido de Carbono	8 horas	10000	Promedio móvil	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método automático)
	1 hora	30000	NE más de 1 vez/año	
Dióxido de Nitrógeno	Anual	100	Promedio aritmético anual	Quimiluminiscencia (Método automático)
	1 hora	200	NE más de 24 veces/año	
Ozono	8 horas	120	NE más de 24 veces/año	Fotometría UV (Método automático)
Plomo	Anual **			Método para PM10 (Espectrofotometría de absorción atómica)
	Mensual	1.5	NE más de 4 veces/año	
Sulfuro de Hidrógeno	24 horas			Fluorescencia UV (método automático)

(\*): Método equivalente aprobado

(\*\*): A determinarse según lo establecido en el Artículo 5 del presente reglamento

**Tabla A1.2.- (Anexo 2) Valores de tránsito**

CONTAMINANTE	PERIODO	FORMA DEL ESTÁNDAR		MÉTODO DE ANÁLISIS
		VALOR	FORMATO	
Dióxido de Azufre	Anual	100	Media aritmética anual	Fluorescencia UV (método automático)
PM-10	Anual	80	Media aritmética anual	Separación inercial/ filtración (Gravimetría)
	24 horas	200	NE más de 3 veces/año	
Dióxido de Nitrógeno	1 hora	250	NE más de 24 veces/año	Quimiluminiscencia (Método automático)
Ozono	8 horas	160	NE más de 24 veces/año	Fotometría UV (Método automático)

### 3).- Decreto Supremo N° 003-2008-MINAM

#### APRUEBAN LOS ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA EL AIRE

Publicado el 21 de agosto de 2008

Artículo 1.- Aprobación de Estándares de Calidad Ambiental para Aire Aprobar los Estándares de Calidad Ambiental para Aire que se encuentran contenidos en el Anexo I del presente Decreto Supremo.

Artículo 2.- Normas complementarias. El Ministerio del Ambiente dictará las normas para la implementación de los Estándares de Calidad Ambiental para Aire y para la correspondiente adecuación de los Límites Máximos Permisibles.

Artículo 3.- Vigencia de Estándares de Calidad Ambiental para Aire establecidos para el dióxido de azufre. Los Estándares de Calidad Ambiental para Aire establecidos para el Dióxido de Azufre en el Decreto Supremo N° 074-2001-PCM mantienen su vigencia hasta el 31 de diciembre de 2008. Conforme a lo establecido en el Anexo I del presente Decreto Supremo, los nuevos Estándares de Calidad Ambiental establecidos para el Dióxido de Azufre entrarán en vigencia a partir del primero de enero del 2009.

Artículo 4.- Refrendo El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro del Ambiente.

Tabla A1.3 Estándar de Calidad Ambiental para el Dióxido de Azufre, SO<sub>2</sub>

Parámetro	Periodo	Valor µg/m <sup>3</sup>	Vigencia	Formato	Método de análisis
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	24 horas	80	1 de Enero de 2009	Media aritmética	Fluorescencia UV (método automático)
	24 horas	20	1 de enero del 2014		

Tabla A1.4 Estándar de Calidad Ambiental para Compuestos Orgánicos Volátiles (COV); Hidrocarburos Totales (HT); Material Particulado con diámetro menor a 2.5 micras (PM<sub>2.5</sub>)

Parámetro	Periodo	Valor	Vigencia	Formato	Método de análisis
Benceno <sup>1</sup>	Anual	4 µg/m <sup>3</sup>	1 de enero de 2010	Media aritmética	Cromatografía de gases
		2 µg/m <sup>3</sup>	1 de enero de 2014		
Hidrocarburos Totales (HT) Expresado como Hexano	24 horas	100 mg/m <sup>3</sup>	1 de enero de 2010	Media aritmética	Ionización de la llama de hidrógeno
Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM <sub>2.5</sub> )	24 horas	50 µg/m <sup>3</sup>	1 de enero de 2010	Media aritmética	Separación inercial filtración (gravimetría)
	24 horas	25 µg/m <sup>3</sup>	1 de enero de 2014	Media aritmética	Separación inercial filtración (gravimetría)
Hidrógeno Sulfurado (H <sub>2</sub> S)	24 horas	150 µg/m <sup>3</sup>	1 de enero de 2009	Media aritmética	Fluorescencia UV (método automático)

## ANEXO II

### Antecedente de monitoreo y toma de muestras de aire en Argentina, Santa Fe<sup>15</sup>

Los contaminantes analizados en la muestra de aire que se toma del ambiente, se corresponden con los sensores que cuenta el Equipo de Calidad de Aire, y estos son los siguientes: CO – O<sub>3</sub> – SO<sub>2</sub> – PM<sub>10</sub> – HC – NO<sub>2</sub> – Ruido (NSCE).

El equipo de Calidad de Aire se coloca en un soporte tipo taburete construido para llevar a cabo la medición. El mismo fue realizado siguiendo las recomendaciones efectuadas para la toma de muestras de aire del aire ambiente.

La altura adoptada para llevar a cabo las mediciones con el equipo de Calidad de Aire es de 1650 mm con respecto al nivel del suelo y ubicado a una distancia que puede oscilar entre 250 a 300 mm del borde del cordón e instalado en una de las ochavas de la intersección de dos calles a evaluar.



Las mediciones se lleva a cabo en forma continua durante 20 minutos de acuerdo con lo establecido por la Ordenanza de la Municipalidad de la ciudad de Santa Fe N° 9662, para el caso de la Concentración Admisible para Periodos Cortos - C.A.P.C. del Anexo I en su Art. 2°.

La razón del tiempo asignado para las mediciones se fundamenta en lo establecido en las Normas de Calidad de Aire de la Ordenanza de la Municipalidad de la ciudad de Santa Fe N° 9662 en su Art. 6° del Anexo I.

Las concentraciones límites establecidas de acuerdo a la Ordenanza de la Municipalidad de la ciudad de Santa Fe N° 9662 - del Anexo I del Art. 1°, para las Concentraciones Admisibles para Periodo Corto – C.A.P.C son:

---

<sup>15</sup> Ordenanza de la Municipalidad de la ciudad de Santa Fe N° 9662, C.A.P.C. Anexo I Art 1°, Art 2°, Art 6°



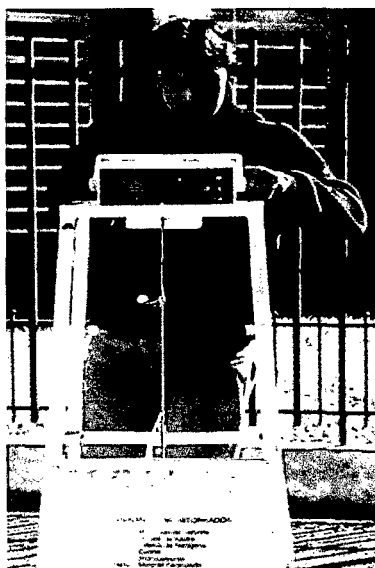
Tabla A2.1 Estándares de contaminantes del aire utilizado en Argentina

Monóxido de Carbono CO:	15 mg/m <sup>3</sup>
Dióxido de azufre SO <sub>2</sub> :	0,50 mg/m <sup>3</sup>
Ozono O <sub>3</sub> :	0,51 mg/m <sup>3</sup>
Material Particulado PM <sub>10</sub> :	0,50 mg/m <sup>3</sup>
Oxidos de Nitrógeno NO <sub>2</sub> :	0,40 mg/m <sup>3</sup>
Hidrocarburos totales THC:	5 mg/m <sup>3</sup> (Adoptado de la Ley N° 1601 de la Prov. de Buenos Aires). (para 30 min).

El equipo de medición se setea para registrar valores cada un minuto, lo que permite obtener una cierta cantidad de valores dentro del período de medición.

Los resultados obtenidos en las mediciones efectuadas responden a las condiciones ambientales imperantes al momento del monitoreo, por lo tanto deben ser corregidas a las condiciones establecidas por la citada Ordenanza de la Municipalidad de la ciudad de Santa Fe N° 9662 - del Anexo I en su Art. 6°, para las Concentraciones Admisibles para Periodo Corto – C.A.P.C y Concentraciones Limites.

**Las mediciones de ruido ambiente** se realizaron en forma conjunta con el equipo de calidad de aire. El micrófono se encuentra conectado al equipo y su sensor se instala a una altura que puede oscilar entre 1200 a 1500 mm con respecto al nivel del suelo y apartado unos tres metros aproximadamente de paredes u obstáculos de acuerdo con lo establecido por la Ordenanza de la Municipalidad de la ciudad de Santa Fe N° 9623 en su Art. 5°.



Los niveles sonoros registrados fueron determinados utilizando la escala de integración de respuesta lenta y curva de compensación o ponderación “A”, de acuerdo a lo establecido por la Ordenanza de la Municipalidad de la ciudad de Santa Fe N° 9623 en su Art. 6°.

En el tiempo asignado para llevar a cabo el monitoreo se relevan además la cantidad de vehículos que pasan por la zona monitoreada, en la que se discriminan de la siguiente manera:

1. Automóviles y camionetas
2. Camiones
3. Colectivos urbanos e interurbanos de pasajeros
4. Motos y ciclomotores.

## ANEXO III

### III.1 MÉTODOS QUÍMICOS PARA MEDIR ANHÍDRIDO SULFUROSO, (SO<sub>2</sub>)

Es el método clásico de valoración en laboratorio, que primero fue utilizado en la determinación de SO<sub>2</sub> y humos, normalmente en valores medios de veinticuatro y cuarenta y ocho horas, y que en la actualidad se sigue empleando como parte de redes de vigilancia manuales, o para la determinación de valores discretos en puntos específicos de un área a vigilar, como soporte o complemento de redes semiautomáticas.

La figura III.1 muestra un esquema del sistema de medida, constituido por las siguientes partes:

- Un embudo tomamuestras del aire ambiente colocado en forma invertida, para permitir la colección de partículas finas en suspensión, además de impedir que las partículas pesadas sean absorbidas por la bomba aspirante.
- Un filtro formado por un papel colector, donde quedan depositadas por impacto las partículas en suspensión.
- Un frasco lavador de pírex, conteniendo agua oxigenada.
- Un medidor de caudal, que permite conocer la cantidad total de aire que circuló o «borboteó» en el frasco de pírex.
- Una bomba aspirante, capaz de permitir un caudal constante de aire exterior de valor predeterminado.

El funcionamiento del sistema para la valoración del SO<sub>2</sub> es como sigue: al comienzo de un ciclo (o día) de medida, se coloca el frasco borboteador con una solución de agua oxigenada, en cantidad y dilución conocidas, eligiéndose para la misma un valor tal de pH que permita la disolución de ácidos fuertes, evitando la interferencia de ácidos débiles (abundantes en la atmósfera), como es el caso del carbónico. Un valor utilizado es pH = 4,5.

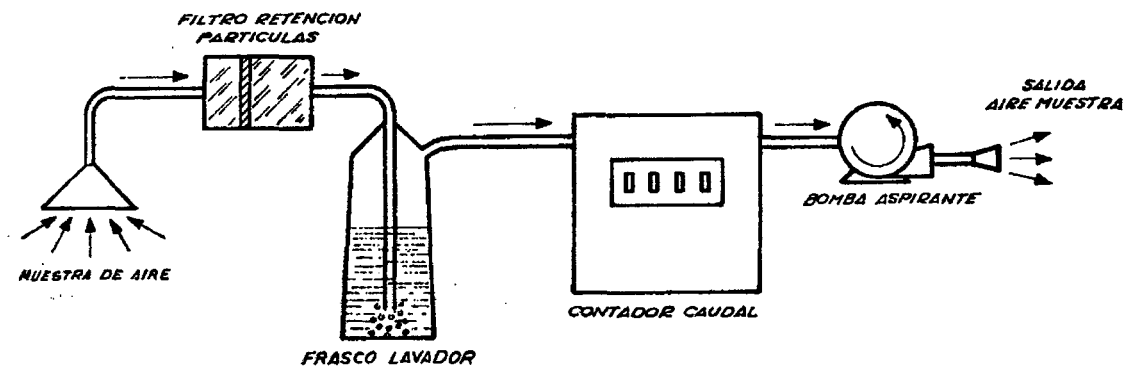


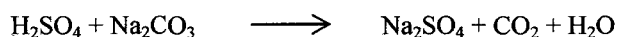
Figura III.1 Sistema de medida de aire contaminado

La aspiración y entrada de aire del exterior se filtra, tratando de conseguir que en el frasco borboteador sólo penetre gas puro, con un mínimo de partículas en suspensión. En esas condiciones, el aire, al borbotear, permite la combinación del SO<sub>2</sub> presente en la muestra con el agua oxigenada, dando lugar a la reacción:



Como consecuencia, se produce una disminución en el valor del pH, así como una reducción en la cantidad de agua oxigenada en solución.

Llevado el frasco al laboratorio al cabo del periodo de toma de muestra, en general de veinticuatro horas, se procede al análisis químico de valoración, para lo cual se le agrega a la solución la cantidad de agua destilada hasta alcanzar su nivel original, y a continuación se añaden pequeñas cantidades de una sal alcalina, tal como  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (carbonato sódico), para neutralizar el aumento de acidez provocado por el  $\text{SO}_2$  captado durante la toma de la muestra, operación que se verifica con un indicador de pH, tal como el BDH-4,5, uno de los más comúnmente utilizados. Se valora así el  $\text{H}_2\text{SO}_4$  presente en el borboteador con el  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  hasta el cambio de color, en cuyo momento se da por finalizada la reacción, que es la siguiente:



lo que permite determinar, conocido el volumen total de aire aspirado en condiciones normales de temperatura y presión, la concentración del  $\text{SO}_2$  en un periodo fijado de veinticuatro horas, en microgramos por metro cúbico.

Es evidente que este método adolece de algunos inconvenientes, que pueden resumirse así:

- La reacción química que se produce en el frasco borboteador no es exclusiva del  $\text{SO}_2$ , sino de todos los ácidos fuertes presentes en la atmósfera para el caso de fijarse un  $\text{pH}=4,5$ . En la práctica, y considerando zonas residenciales, el  $\text{SO}_2$  será el predominante.
- Si se trata de atmósferas muy alcalinas, se producirá una pre neutralización del  $\text{SO}_2$ , obteniéndose valores medios más bajos de los reales.
- Cuando se trata de obtener medias inferiores a las doce horas, la cantidad de aire a borbotear se hace más elevada, produciendo problemas de acoplamiento y reduciéndose la exactitud en las lecturas.

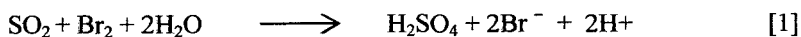
### III.2 ANALIZADOR DE VÍA HÚMEDA

Estos analizadores emplean reacciones químicas para determinar las concentraciones de los contaminantes a detectar. Se describirán a continuación los más empleados en redes de vigilancia para la detección del  $\text{SO}_2$ .

#### III.2.1 Analizador de $\text{SO}_2$ . Método coulométrico

El principio de funcionamiento de este método, esquematizado en la Figura III.2, está basado en la absorción del  $\text{SO}_2$  contenido en la muestra de aire ambiente, previamente filtrado para eliminar las partículas sólidas en suspensión, por una solución sulfúrica que contiene KBr.

En el seno de la solución tiene lugar la siguiente reacción:



como en la superficie del electrodo de referencia, de plata / bromuro de plata, tiene lugar el siguiente equilibrio:



La cantidad de  $\text{SO}_2$  absorbida por la solución será directamente proporcional a una cantidad de electricidad que puede medirse de manera exacta y precisa.

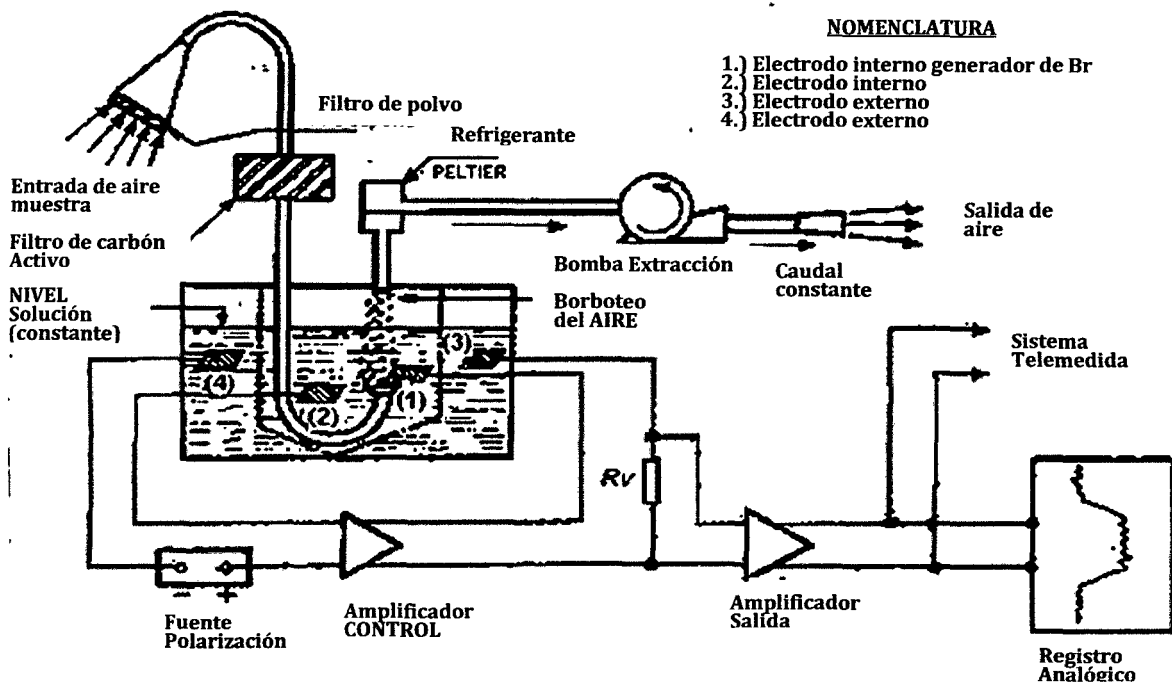


Figura III.2 Esquema de absorción de  $\text{SO}_2$  del aire ambiental

En el esquema indicado en la figura III.2 puede apreciarse la curiosa disposición de los dos pares de electrodos, que, por aplicación de la ecuación de Nernst entre los dos electrodos internos, tenemos:

$$E = E_0 - 0,63 \ln ( \text{CBr}_2 / \text{CBr}^- )$$

como en la solución sulfúrica hay un exceso de  $\text{KBr}$ , la concentración del ión  $\text{Br}^-$  puede considerarse constante, con lo que el potencial electroquímico  $E$  de la fórmula anterior puede expresarse por:

$$E = E_0 + 0,03 \log \text{CBr}_2$$

siendo  $E_0$  el potencial de equilibrio cuando  $\text{CBr}_2 = \text{CBr}^-$

Los electrones originados en la ecuación [2] nos indican que podemos aplicar la ecuación de Faraday:

$$i = \frac{dQ}{dt} = \frac{\mu F}{M} * \frac{dG}{dt}$$

en la que  $i$  es la intensidad de la corriente producida,  $F$  es la constante de Faraday,  $M$  es el peso molecular de la sustancia en equilibrio ( $\text{Br}_2 = 159,8$ );  $Q$ , la cantidad de electricidad, y  $dG / dt$ , la velocidad a la que se genera el  $\text{Br}_2$ .

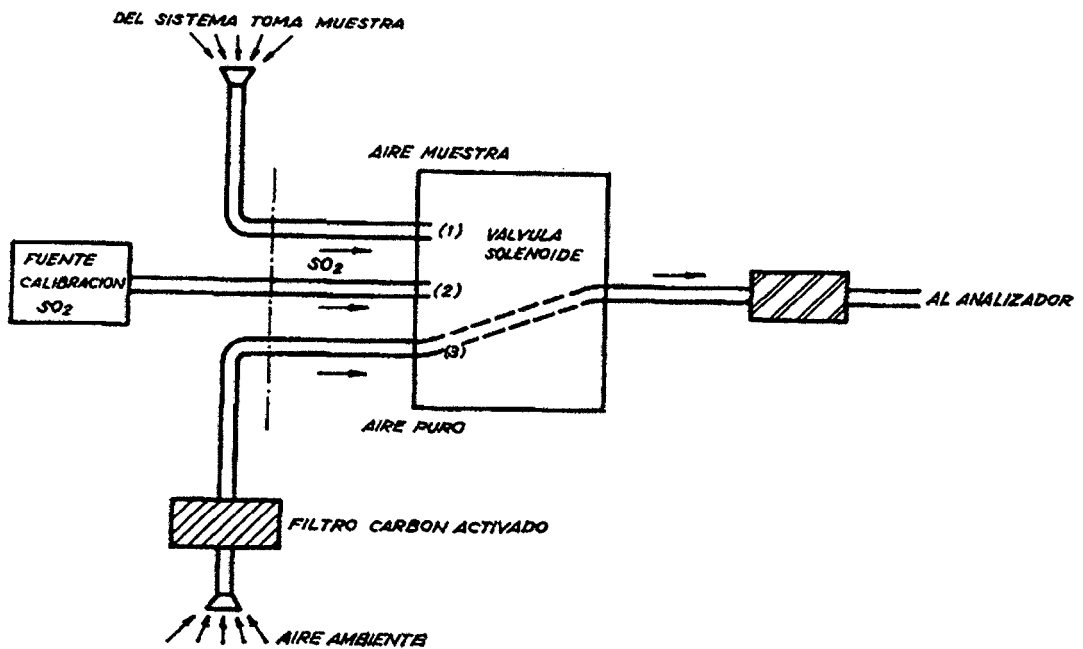


Figura III.3 Disposición de válvula de tres vías

Esta corriente eléctrica, a través de un amplificador, llega al equipo de medida correspondiente.

En la Figura III.3 puede apreciarse el dispositivo de la válvula de tres vías, que permite el ajuste de los niveles: cero, calibración y medida.

En la posición «medida», el aire procedente del sistema de toma de muestras pasa a través de un purificador y llega a la cubeta de reacción.

Cuando la válvula se sitúa en «cero», el aire muestreado atraviesa primero un filtro de carbón activado que elimina su  $\text{SO}_2$  antes de llegar al purificador, y de éste a la cubeta de reacción. La señal que se produce en estas condiciones se denomina: «nivel de cero».

Si la válvula está en posición de «calibración», se sigue prácticamente el mismo procedimiento, con la diferencia de que entre el filtro de carbón activado, y antes de llegar al purificador, el aire sufre una adición de  $\text{SO}_2$  procedente de una fuente patrón bien conocida. La señal que así se produce define el nivel «calibración».

La fuente patrón consiste en un tubo de teflón, con una salida semipermeable especial que produce un flujo continuo y que contiene  $\text{SO}_2$  líquido, encontrándose dicho tubo en una cámara termostatazada y rigurosamente controlada, para asegurar la estabilidad en el tiempo de la concentración fijada de  $\text{SO}_2$ . La Figura III.4 muestra un analizador completo operando bajo este principio, gentileza de Philips S.A.E.

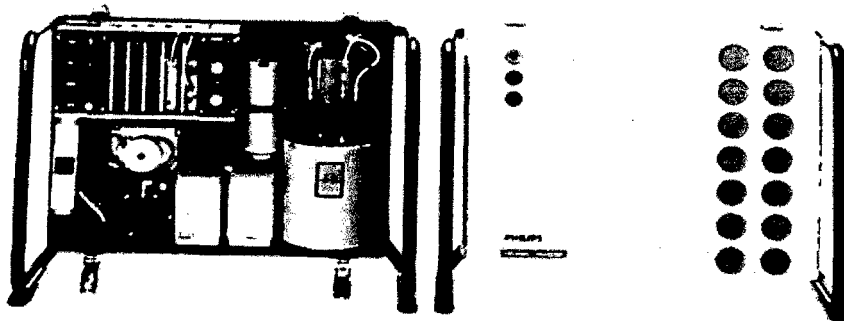


Figura III.4 Analizador completo operando

### III.2.2 Analizador de SO<sub>2</sub> Método conductimétrico

Está basado en la absorción y reacción de una muestra de aire ambiente, previamente filtrado para eliminar el H<sub>2</sub>S por una columna descendente de solución acidulada, conteniendo peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) como reactivo principal. La figura III.5 indica el proceso en forma esquemática, produciéndose el proceso de absorción y reacción química en la parte inferior del tubo en «U», por donde el aire es aspirado por la bomba II, que lo expelle al exterior.

La unidad detectora I contiene dos electrodos de platino destinados a medir la conductividad eléctrica del líquido que regularmente se acumula, producto de la reacción:  $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$ . Una vez medido, el líquido pasa a la botella de acumulación III, donde regularmente es evacuado, para dar lugar a nuevas aportaciones, de acuerdo a los intervalos de medida que se adopten.

Los dos conductores de salida de la unidad de medida I se conectan a un amplificador operacional IV, que amplifica la señal obtenida, proporcional al incremento de conductividad respecto del último intervalo medido, esto es, proporcional al aumento en la concentración del SO<sub>2</sub> en la muestra de aire, para llegar al registrador analógico V, donde, finalmente, se obtiene el trazo de registro analógico.

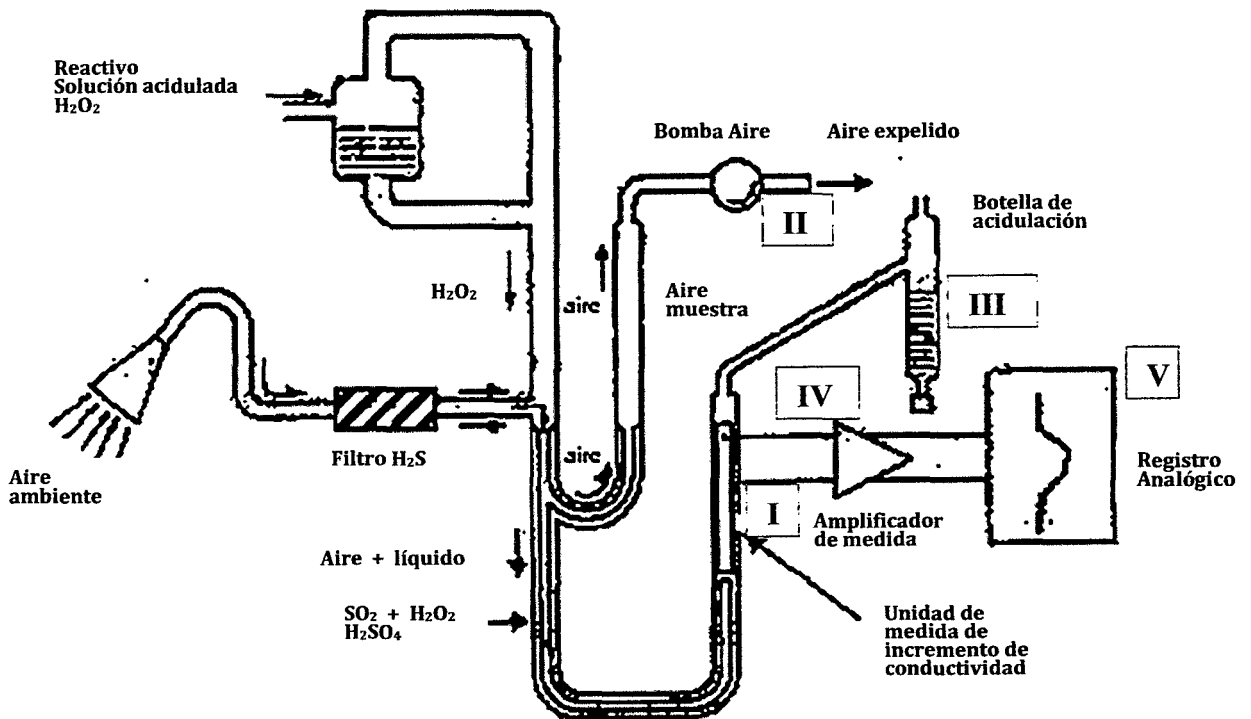


Figura III.5 Proceso esquemático de absorción y reacción de una muestra de aire ambiente.

### III.3 ANALIZADORES DE VÍA SECA

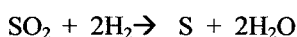
Corresponden a la segunda generación de sensores, empleando métodos físicos de detección, basados en la quimiluminiscencia, fotometría de llama, radiación infrarroja no dispersiva e ionización de llama, es decir, que en general operan sobre la observación o detección directa de una propiedad física inherente del contaminante gaseoso, traducida en una radiación discreta o absorción de energía, dentro del espectro. Como características distintivas de esta familia o segunda generación de analizadores indicaremos las siguientes:

- Poseen una gran simplicidad constructiva y operativa, por la eliminación de las reacciones químicas propias de los analizadores de vía húmeda.
- Son de gran sensibilidad y precisión en las medidas, con márgenes que van desde pocas partes por billón hasta varias partes por millón a plena escala.
- Son muy selectivos en lo que respecta a evitar señales de contaminantes interferentes, debido a los parámetros físicos muy específicos en que se basa la detección, y al uso de filtros ópticos selectivos que emplean.
- Permiten, con relativa simplicidad y fiabilidad, la calibración remota del cero y de total escala, un factor muy importante en la operación continua y autónoma del analizador.

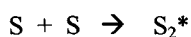
### III.3.1 Analizador de SO<sub>2</sub>. Fotometría de Llama

Su principio de funcionamiento se basa en la detección, por un fototubo, de la radiación emitida por los compuestos de azufre, al ser quemados en una llama muy rica en hidrógeno. Un filtro óptico, de paso de banda muy estrecho, deja pasar la línea de 394 mμ, como principal línea de resonancia de los compuestos azufrados, debidamente focalizada para obtener la mayor sensibilidad.

El esquema operativo de un analizador comercial puede verse en la Figura III.6. La muestra de aire tomada del ambiente y filtrada de partículas sólidas es succionada y regulada por el sistema neumático, formado por la bomba de aspiración y el rotámetro de aire, que determina su presión de entrada al cabezal quemador. La llama del quemador se enciende por el flujo de H<sub>2</sub>, tomado de un generador comercial o a partir de una botella estándar de H<sub>2</sub>, cuya presión se regula por el rotámetro inserto en la línea de entrada. En esas condiciones se produce la combustión del aire conteniendo SO<sub>2</sub> en la llama rica de H<sub>2</sub>, lo que da lugar a la siguiente reacción:



Los compuestos volátiles de azufre, al quemarse en presencia de H<sub>2</sub>, se recombinan, dando lugar a una llama azulada de características quimiluminiscentes, con emisión de azufre activado dado por la reacción:



Finalmente, el S<sub>2</sub> (desactivado) se combina con el O<sub>2</sub> presente en la cámara, dando lugar al desprendimiento de SO<sub>2</sub> al exterior.

La molécula de S activada (S<sub>2</sub><sup>\*</sup>) lo está por encontrarse en un nivel superior de energía, que al revertir a su nivel inferior emite una radiación espectral de banda estrecha centrada en su máxima intensidad en la frecuencia de 3 940 Å. Al necesitarse dos átomos de azufre para formar una molécula de S<sub>2</sub><sup>\*</sup>, la intensidad máxima de emisión quimiluminiscente resulta proporcional al cuadrado de la concentración de átomos de azufre en la llama, relación que se aplica al final del proceso para la calibración de la salida analógica del tubo fotomultiplicador. Los productos residuales de la combustión, tales como vapor de agua, exceso de H<sub>2</sub> y nitrógeno son succionados continuamente por la bomba aspiradora conectada a la salida del bloque quemador, donde, además, se regula la entrada de aire al mismo bajo la indicación del rotámetro. La eliminación del H<sub>2</sub>S contenido en el aire ambiente se realiza con un filtro catalítico (*scrubber*), con lo cual se asegura un elevado rendimiento de detección para el SO<sub>2</sub>, contaminante utilizado como trazador en la mayor parte de las redes de vigilancia existentes.

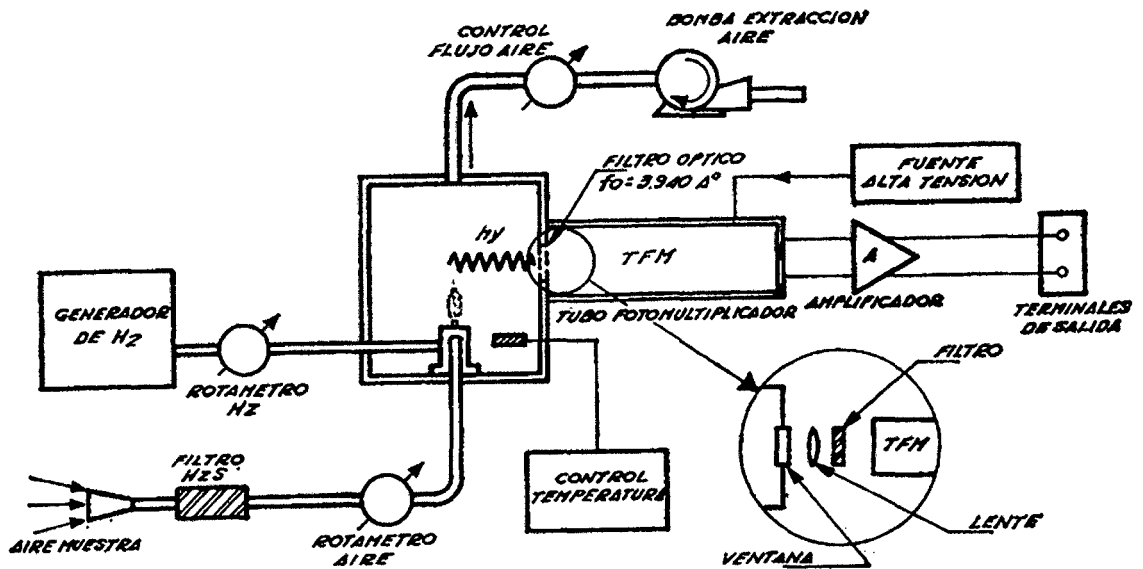


Figura III.6 Esquema operativo de un analizador comercial

La intensidad, variable en el tiempo, de la emisión quimiluminiscente pasa a un tubo fotomultiplicador a través del filtro óptico centrado a  $3940 \text{ \AA}$ , siendo amplificado hasta un nivel en que es posible su detección y conversión de señal luminosa en corriente eléctrica cuya amplitud resulta, a través de las constantes físicas del sistema de conversión de energía, proporcional a la concentración del  $\text{SO}_2$  en la muestra de aire, sea en microgramos por metro cúbico o parte por billón, dependiendo de la sensibilidad del analizador.

La salida del tubo fotomultiplicador se conecta al módulo electrónico, formado esencialmente por un amplificador y circuito analógico de salida, que en los analizadores comerciales corresponde a un voltaje variable entre  $0 - 1$  ó  $0 - 5$  voltios, proporcional, a través de una curva de calibración, a la variación en los niveles de  $\text{SO}_2$  en el aire analizado.

El sistema neumático, fundamental en estos aparatos, se completa con los módulos de calibración para total escala y cero, como puede verse en la Figura III.7, operando en la siguiente forma:

#### **Calibración a fondo de escala**

Se realiza por medio de una fuente calibrada de  $\text{SO}_2$ , esto es, un generador del gas capaz de dar salidas exactas y conocidas que se introducen al quemador en lugar de la muestra de aire, por medio de la válvula solenoide de tres posiciones,  $V_3$ , que, combinada con otra idéntica,  $V_2$ , en las posiciones indicadas en la Figura III.7, lleva directamente el gas de calibración con un contenido conocido de  $\text{SO}_2$  al quemador. La salida del analizador deberá registrar exactamente dicho valor, en caso contrario se procederá al ajuste o «calibración» manual del aparato. El gas  $\text{SO}_2$  puro puede obtenerse a partir de tubos semipermeables certificados, sistema empleado con preferencia en los calibradores actualmente en uso.

#### **Calibración del cero**

Con la misma disposición de las válvulas  $V_2$  y  $V_3$  se inyecta «aire con contenido nulo de  $\text{SO}_2$ », tomando aire del ambiente y pasándolo por un filtro de carbón activado que elimina todos los compuestos de azufre. El rotámetro de aire indica la presión de entrada al quemador para una adecuada combustión.

La figura III.8 corresponde al esquema general de conexión eléctrico y circuito neumático de un sensor comercial para  $\text{SO}_2$ , basado en la fotometría de llama. La Figura III.9 muestra el aspecto general de dicho sensor, cortesía de Meloy Laboratories.



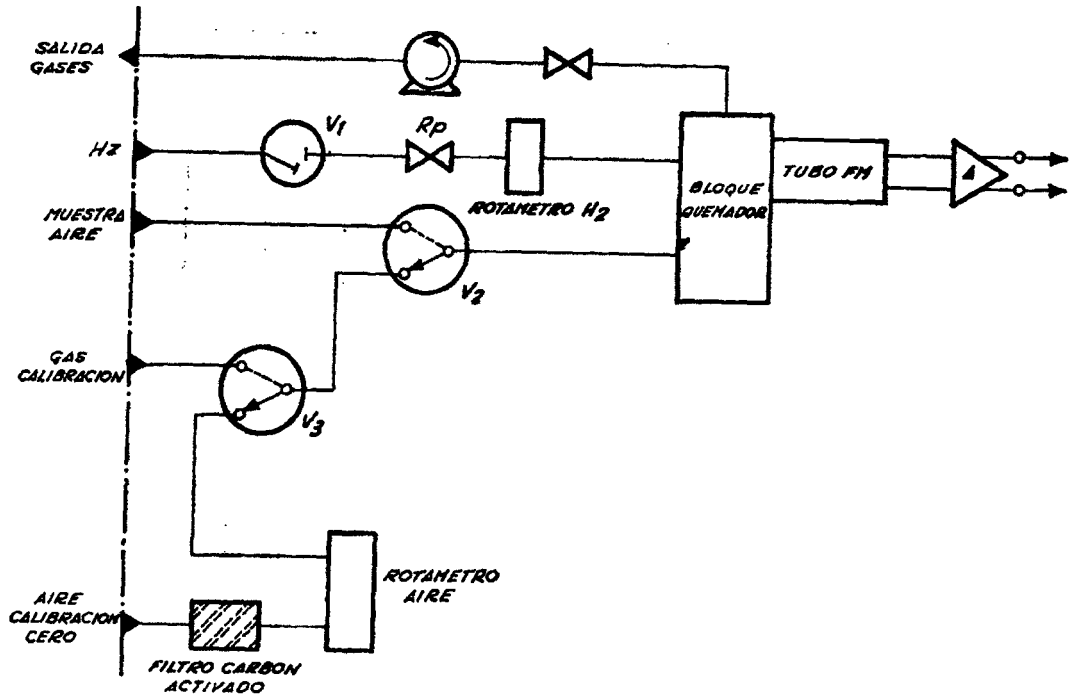


Figura III.7 Generador del gas con válvula solenoide de tres posiciones

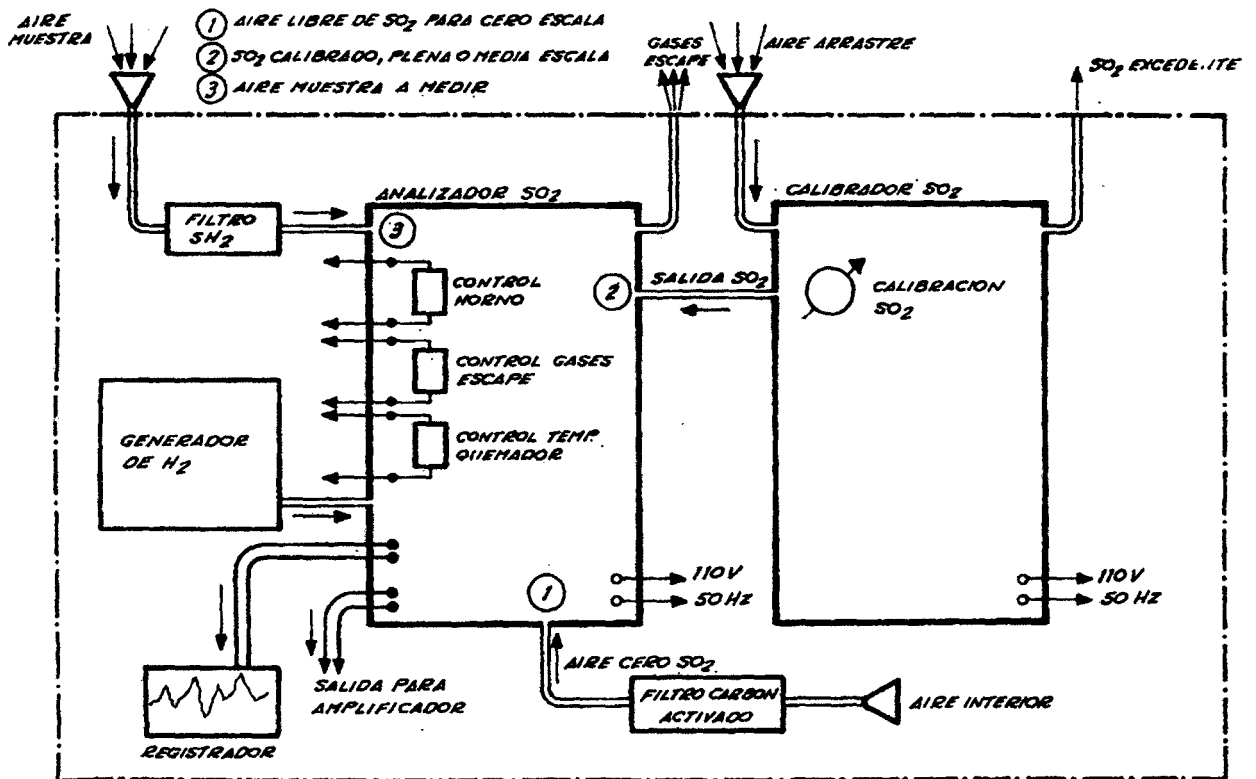


Figura III.8 Esquema general de conexión eléctrico y circuito neumático

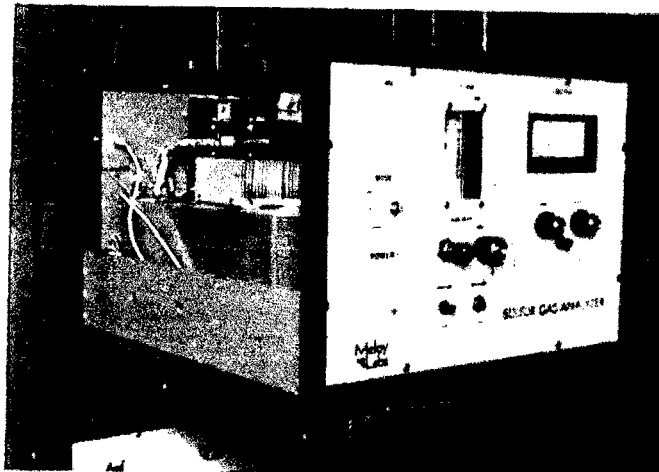


Figura III.9 Sensor comercial para SO<sub>2</sub>, basado en fotometría de llama

Tabla III.1 Estándares de Calidad Ambiental - Aire

Elemento	Periodo	Organismos			Países						
		OMS	EPA	NAAQS California	PERU ECA (3)	Perú	Argentina	USA	México	UE	Japón
SO <sub>2</sub>	Anual	50	80				80	80	80		
	Mensual										
	24 h.	125			80 (4)		365	365	341	125	105
	1 h.	350								350	260
	10 min	500								500	
PTS	Anual		75					75	75		
	24 h.	20	260	260				260	260		100
PM <sub>10</sub>	Anual				50		50	50	50		
	24 h.				150		150	150	150	50	
PM <sub>2.5</sub>	Anual				15			15			
	24 h.				65			65			
CO	8 h.	10 000			10000		10000	10000	13000	10000	22800
	1 h.	30 000			30000		40000	40000			
NO <sub>2</sub>	Anual	40	100		100		100	100		40	
	24 h.	50							113		75
	1 h.	200			200		367		395	200	
Ozono	8 h.	120			120			160		120	
	1 h.						235		216		118
Plomo	Anual	0.5								0.5	
	Trimestral		1.5				1.5	1.5	1.5		
	Mensual				1.5						
H <sub>2</sub> S	24 h.	150			150 (4)						
	1h			42							
Arsénico (As)	24h					6(1)					
Mercurio (Hg)	24h							0.3 (2)			

NOTA: Todos los valores están en microgramos por metro cúbico (µg/m<sup>3</sup>)

(\*) Estándares OMS correspondientes a la revisión 1999<sup>3</sup>

PS= Partículas Sedimentables = 0.5 mg/cm<sup>2</sup>/mes Lineamientos OMS

(1)R.M. N° 315-96-EM/VMM

(2) LMP Estado de Washintong-USA

(3) DS 074-2001-PCM, Reglamento Nacional de Estándares de Calidad Ambiental del Aire

(4) DS 003-2008-MINAM Estándares de Calidad Ambiental del Aire

Fuente: Armonización de redes de monitoreo de calidad de aire: Dirección General de Calidad Ambiental, MINAMB-jun-2009

## ANEXO IV

### PANEL DE FOTOGRAFÍAS



Figura A4.1 Muestras en solución.



Figura A4.2 Control de ebullición de soluciones

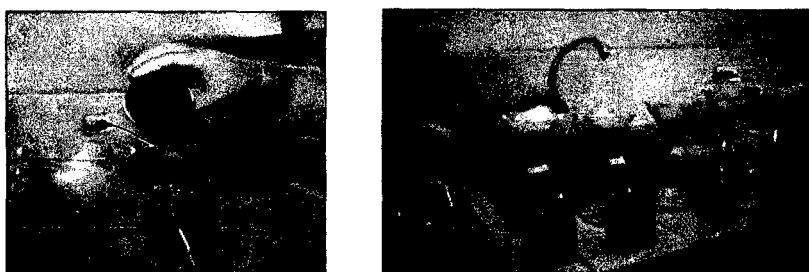


Figura A4.3 Filtración y neutralización de soluciones



Figura A4.4 Remoción de  $\text{CO}_2$  de soluciones aciduladas

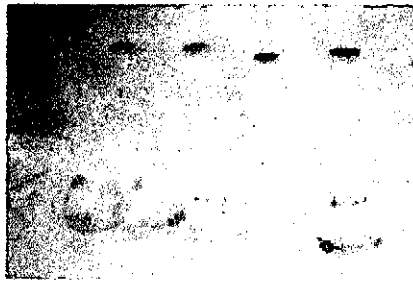


Figura A4.5 Soluciones finales para la determinación espectrofotométrica

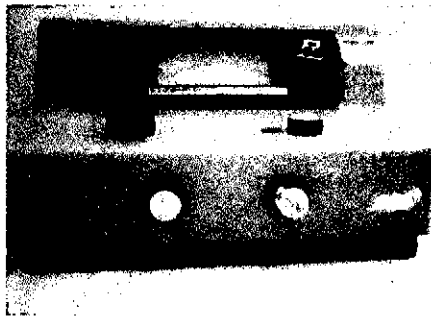


Figura A4.6 a) Espectrofotómetro SPECTRONIC 20 b) Soluciones para elaboración de la curva de calibración

INGENIERIA E INFORMACION  
SISTEMAS  
U.S.C.N.