

EVALUACIÓN QUÍMICO-TOXICOLÓGICA DE SO₂ EN EL AIRE DEL VALLE DEL COLCA

LIZANO G., JESÚS Y HEREDIA C., CANDY D.

Laboratorio de Toxicología y Química Legal - Facultad de Farmacia y Bioquímica UNMSM

RESUMEN

Se evalúan las concentraciones del Dióxido de Azufre (SO₂) como contaminante en una zona específica del Valle de Colca - Arequipa, siendo el principal emisor de contaminación el Volcán Sabancaya. Este volcán presenta signos de actividad, lo que se manifiesta por movimientos sísmicos y emanación de fumarolas, siendo estas las que, entre otras sustancias, tienen una carga en gases sulfurosos y más específicamente en SO₂. Como segunda fuente de contaminación está el parque automotor y el sector industrial los cuales van en incremento a medida que se generan mayores signos de progreso económico-social en el valle.

Para la determinación de concentraciones se utilizó el Método de West y Gaecke, tomándose 162 muestras de aire en tres diferentes subzonas de muestreo: Chivay, Maca e Ichupampa, representados por los pueblos de dichos nombres. Los resultados demuestran la existencia de una alta concentración de tóxico investigado, lo que a su vez ocasionaría las molestias a la salud reportadas por la población.

El trabajo analiza los resultados obtenidos, estadística y comparativamente, así como las implicancias que puede tener para la vida tanto animal como vegetal de la zona, y en especial, los efectos que puedan presentarse en los seres humanos debido a exposición al contaminante.

SUMMARY

The concentrations of the Dióxido of sulfur (SO₂) like pollutant are studying in a specific zone of the Valley of the Colca - Arequipa, being the issuing principal of contamination the Sabancaya Volcano. This volcano introduces signs of activity, the one which apparent for earthquake movements and clouds of smoke, being precisely these those that, between other, they have a load in sulphurous gases and SO₂.

Like secondary fountain of contamination is the automobile park and the industrial sector which go in increment in proportion to old signs of economical-social progress are generated in the Valley.

It for the determination of concentrations was utilized the Method of West and Gaecke, taking 162 patterns of air in three analytical areas: Chivay, Maca and Ichupampa, represented by the towns of statements names. The outputs demonstrate the existence of a relatively tall concentration of the investigated toxic, the one which to their time would occasion toxic bothers to the health of the population.

The work analyzes the gotten outputs, estadistical and comparatively, like it study the problems that could have for the life as much animal as vegetable of the zone, and very especially, the effects that could introduce in the due human beings to exposition on the pollutant.

Palabras claves: Dióxido de Azufre, contaminación atmosférica, gases sulfurosos, Sabancaya, volcanes.

INTRODUCCIÓN

Entre los diversos componentes de la atmósfera existen los llamados **contaminantes atmosféricos**, los cuales se han generado como consecuencia de múltiples procesos que tienen lugar en la superficie terrestre. El **Dióxido de Azufre (SO₂)** es uno de dichos

contaminantes y para el presente estudio se ha elegido como parámetro de la contaminación atmosférica debido a que es uno de los contaminantes naturales y antropogénicos más importantes, siendo sus fuentes primordiales las vinculadas principalmente con la combustión de materiales energéticos (como carbono de diversas calidades), además de las fuentes naturales como en el caso de los volcanes y fumarolas.

El presente trabajo ha elegido estudiar la Concentración de SO_2 en el aire del Valle del Colca, en Arequipa, debido a la contaminación que éste sufre por la emisión constante de fumarolas por el Volcán Sabancaya que se encuentra activo desde 1986; las fumarolas de este volcán se extienden en dirección Noreste contaminando el valle y a los pueblos allí ubicados. Los efectos del SO_2 sobre los seres vivos son variados, desde propiedades fitotóxicas sobre los vegetales provocándoles lesiones, hasta molestias asmátiformes importantes en animales y seres humanos. La concentración de los gases azufrados está influenciado por la temperatura existente. A mayor concentración de gases mayor serán los efectos tóxicos.

En los cuerpos inertes los óxidos de azufre generan degradación de los cuerpos inertes por tres mecanismos: oxidación fotoquímica, oxidación catalítica e hidrólisis. Estas propiedades hacen que se le considere un factor importante desde el punto de vista de la corrosión de materiales metálicos (19, 28).

La zona del Valle del Río Colca, se halla situada en la parte accidental de la cadena marítima de los Andes Sur Peruanos. Geográficamente el área está comprendida en la Provincia de Caylloma, perteneciente al Departamento de Arequipa (20). La provincia está compuesta por 19 distritos, cada uno representando por un pueblo, ubicados en altitudes que van desde los 1300 msnm. (pampas de Majes) hasta pastizales cercanos a los 5000 msnm. (8). La provincia tiene un relieve desigual con áreas de pampas, valles, punas, cordilleras y quebradas (8). El Río Colca, colector hidrográfico de la zona, es un río de régimen constante y notable caudal en las épocas de avenida, corre en sentido SE - NO (20). El valle es de naturaleza volcánica por la gran actividad allí detectada y la cantidad de volcanes que lo rodean (13, 15).

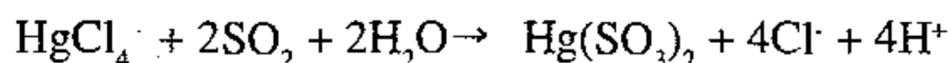
MATERIAL Y MÉTODOS

Para nuestro estudio, el análisis de las muestras se efectuó en el Laboratorio de Toxicología y Química Legal de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la U.N.M.S.M.

Se evaluaron la concentración del Dióxido de Azufre en el aire del Valle del Colca tomando muestras del aire en 3 distritos del Valle de Colca: Maca, Ichupampa y Chivay. La elección de dichos pueblos de entre todos los que existen, estuvo en relación directa a querer determinar la concentración del contaminante a diferentes distancias de la fuente contaminante ya que en el valle esas poblaciones forman casi una línea recta hacia el volcán, siendo más cercana Maca, un punto intermedio Ichupampa y la más lejana Chivay, con distancias proporcionadas entre ellas.

Se empleó el **Método Colorimétrico de West-Gaeke** que se fundamenta en que el Dióxido de Azufre del ambiente es captado en una solución de tetracloromercurato sódico 0,1 M. La reacción que se produce da lugar a un complejo estable y no volátil, el disulfito mercurado de sodio. Este compuesto en presencia de una solución clorhídrica de cloruro de rosanilina en formaldehído al 0,2% produce una coloración rojo violeta cuya intensidad es proporcional a la concentración del dióxido de azufre; se lee la

intensidad del complejo coloreado rojo-violáceo que se forma a 560 nm. en el espectrofotómetro. La reacción que tiene lugar es como sigue:



Se tuvo que preparar una Curva de Calibración, con soluciones de concentración standard conocidas, con la cual se lograba la determinación de la concentración de SO_2 de las muestras (Gráfico N° 1).

Muestreo:

La toma de muestras se realizó en los distritos de Chivay, Maca e Ichupampa (en los pueblos con dichos nombres) entre marzo y abril de 1995. Para la colección de muestras, se estableció tres estaciones de muestreo por pueblo. La selección y ubicación de dichas estaciones estuvo supeditada a las facilidades que ofrecían los lugares, procurándose, dentro de lo posible, abarcar zonas diferentes. El equipo básico de muestreo consistió en una bomba de vacío, un manómetro, termómetro ambiental, campana de captación y frasco colector de muestra.

Para tomar cada muestra, en el tubo de recepción (cubierto previamente con papel de aluminio) se adiciona 10 mL de solución de captación, asegurando bien las conexiones. Se enciende el motor generador de corriente, se conecta la bomba de vacío (con una presión de 300 mmHg); luego se aspira el aire a razón de 1 litro/minuto, regulando el flujo por medio de un orificio crítico. Se tomó la muestra por espacio de 30 minutos.

A continuación se trasvasó el contenido del tubo a un frasco de vidrio ámbar, enjuagando el tubo con 5 mL de agua destilada los que se adicionan a la muestra. Se cierra herméticamente, refrigerándose a 4°C (en caja de tecnopor con hielo seco) para su envío al laboratorio de análisis. El análisis se realizó en Lima entre abril y mayo de 1995 y para ello se transportó las muestras en estado refrigerado y en series de 10 se procedió a determinar las absorbancias de las muestras.

Para obtener los resultados de concentración en partes por millón se tomó las temperaturas y presiones al momento de la toma de cada muestra y el volumen teórico de cada una. Se siguió el siguiente procedimiento:

1° Hallando el volumen corregido:

Utilizando la siguiente fórmula:

$$V_r = V \times \frac{P}{760} \times \frac{298^\circ\text{K}}{t + 273} \quad (1)$$

donde: V = volumen de aire recogido en litros.
 V_r = volumen corregido de muestra
 P = presión en el momento de muestrear en mmHg
 t = temperatura al muestrear, en °C.

con esta fórmula hallaremos el volumen corregido para cada una de las muestras.

2º Hallando el Factor de Calibración

Para esto hallamos la pendiente de la curva de calibración del gráfico N° 1.

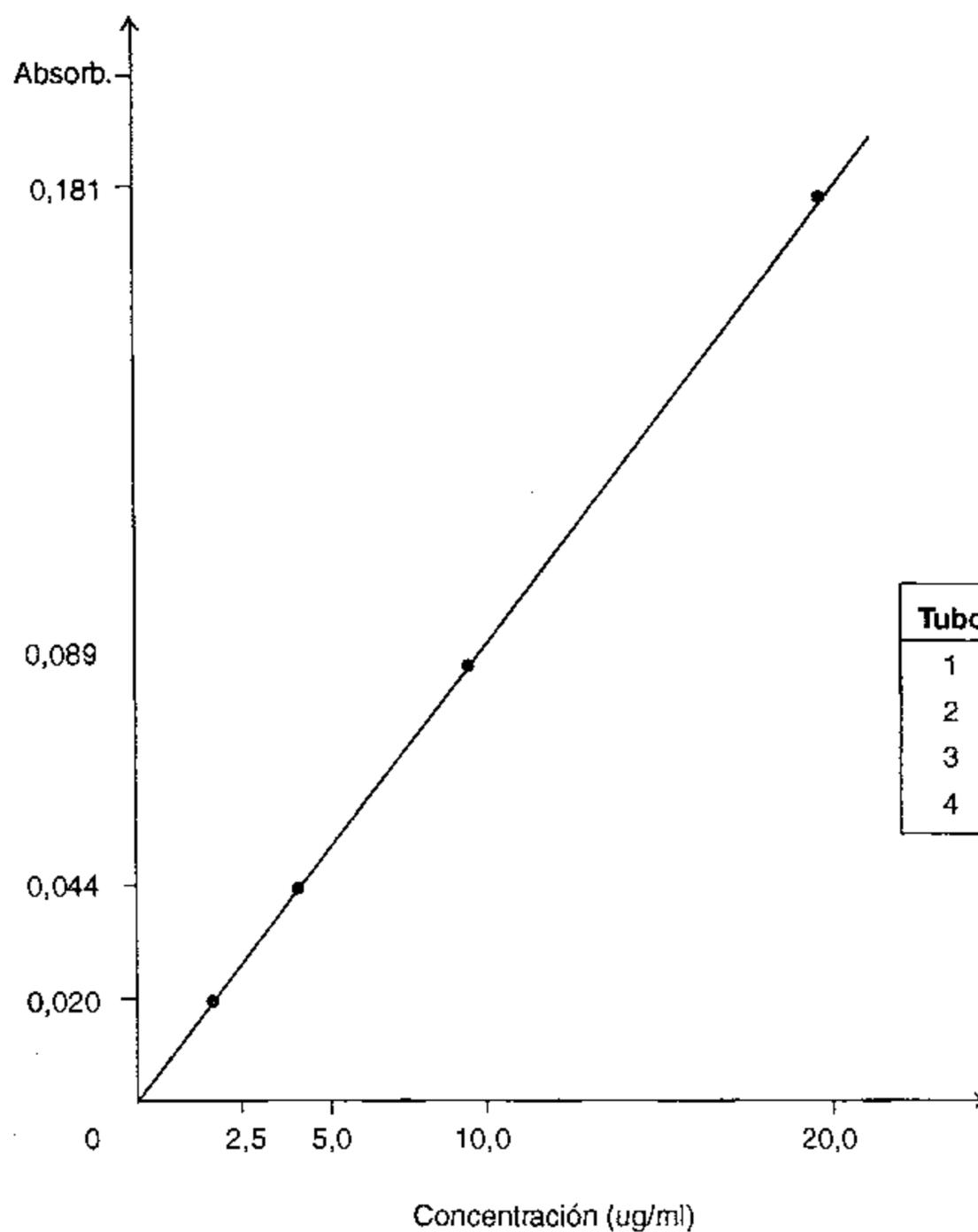
GRÁFICO N° 1

Curva de Calibración para SO₂

Método de West y Gaeke

Aparato: Espectrofotómetro Spectronic 70.

(Marzo, 1995)



$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \tag{2}$$

donde:

x_1 y x_2 son coordenadas de un punto en la curva

y_2 y x_2 son coordenadas de un segundo punto de la curva

entonces:

$$m = \frac{0,1811 - 0,0899}{20 - 10} = \frac{0,0912}{10} = 0,00912 \tag{3}$$

el factor será la inversa de la pendiente, es decir:

$$F = 1/m \quad (4)$$

$$F = \frac{1}{0,00912} = 109,649 \quad (5)$$

3° Hallamos los $\mu\text{g. de SO}_2/\text{m}^3$ para las muestras problemas:

Utilizamos la siguiente fórmula:

$$\mu\text{gSO}_2/\text{m}^3 = \frac{(A - A_0) (10^3) (Bs)}{V_r} \times D \quad (6)$$

- donde:
- A = Absorbancia de la muestra problema
 - A_0 = Absorbancia de la muestra en blanco
 - 10^3 = Factor de Conversión, de litros a m^3
 - V_r = Volumen de la muestra corregida a 25°C y 760 mmHg , expresado en litros.
 - D = Factor de Dilución (para muestras de 30 minutos es $D = 1$).
 - B_s = Factor de calibrado en $\mu\text{g}/\text{unidad de absorbancia}$, que es el número de resultante del inverso de la pendiente de la Curva de Calibración.

Para nuestro caso de (5) tenemos que: $m = 0,00912$;

$$\text{Inverso de la pendiente} = \frac{1}{0,00912} = 109,649 \quad (7)$$

Reemplazando en la fórmula (6) obtenemos las concentraciones de las muestras problemas.

4° Hallamos las concentraciones en ppm:

Utilizamos la siguiente fórmula:

$$\text{ppm. SO}_2 = (\mu\text{gSO}_2/\text{m}^3)(3,82 \times 10^{-4}) \quad (8)$$

Calculadas así las concentraciones pudimos obtener cuadros como la Tabla N° 1, con los datos para las primeras 18 muestras tomadas en Chivay.

TABLA Nº 1
DATOS GENERALES DE LAS PRIMERAS 18 MUESTRAS TOMADAS

Nº da Muestra	Lugar		Día	Hora		Temp. an °C	Praalón en mb.	Volumen tomado	Volumen corragido	% T	Abaorb.	Concantración	
	Distrito	Estación		Mañana	Tarde							ug/m³	ppm.
1	Chivay	a	08/05/95	x	x	15,0	644,5	30	20,001	92,4	0,0343	142,5437	0,0544
2	Chivay	a	08/05/95		x	13,9	645,6	30	20,117	90,7	0,0424	185,8642	0,0710
3	Chivay	a	09/05/95	x		14,2	644,9	30	20,070	91,6	0,0381	162,8072	0,0622
4	Chivay	a	09/05/95		x	12,1	640,3	30	20,078	91,1	0,0405	175,8491	0,0672
5	Chivay	a	10/05/95	x		16,2	642,0	30	19,946	89,9	0,0462	209,3972	0,0799
6	Chivay	a	10/05/95		x	14,9	640,8	30	19,898	89,5	0,0481	219,3200	0,0838
7	Chivay	b	08/05/95	x		15,8	645,9	30	19,994	89,8	0,0467	210,5892	0,0804
8	Chivay	b	08/05/95		x	12,0	644,9	30	20,229	89,3	0,0491	221,1517	0,0845
9	Chivay	b	09/05/95	x		14,4	643,3	30	20,011	88,7	0,0521	239,9993	0,0917
10	Chivay	b	09/05/95		x	12,3	644,5	30	20,196	90,3	0,0443	195,4528	0,0747
11	Chivay	b	10/05/95	x		16,4	644,2	30	19,900	91,2	0,0400	174,6670	0,0667
12	Chivay	b	10/05/95		x	13,9	644,8	30	20,094	91,7	0,0376	159,8843	0,0611
13	Chivay	c	08/05/95	x		16,2	640,9	30	19,812	90,8	0,0419	185,9583	0,0710
14	Chivay	c	08/05/95		x	11,9	646,2	30	20,277	90,7	0,0424	184,3976	0,0704
15	Chivay	c	09/05/95	x		15,5	644,5	30	19,972	89,7	0,0472	213,5663	0,0816
16	Chivay	c	09/05/95		x	12,0	642,8	30	20,164	88,6	0,0525	240,3534	0,0918
17	Chivay	c	10/05/95	x		16,9	642,9	30	19,825	86,7	0,0521	242,2510	0,0925
18	Chivay	c	10/05/95		x	13,9	645,0	30	20,099	89,5	0,0482	217,6723	0,0832

EVALUACIÓN DE RESULTADOS

El Dióxido de Azufre es el más conocido y el más importante de los pululantes atmosféricos, en ciertas proporciones casi siempre se le encuentra en la atmósfera, debido tanto a que es producido por fuentes naturales (volcanes) o por fuentes artificiales (antropogénicas), El Dióxido de Azufre y las partículas en suspensión se miden habitualmente en muchas regiones del mundo, pero sólo con ciertas precauciones se puede conseguir que las observaciones de las redes de vigilancia instaladas con otros propósitos sean adecuadas para evaluar los riesgos para la salud. Debe considerarse la ubicación de los aparatos de muestreo en relación con las fuentes, la topografía circundante y la población en peligro, además de la distribución en el tiempo de las observaciones.

Las concentraciones promedio de SO_2 en el aire para cada uno de los pueblos muestreados se muestran en la Tabla N° 2 y se comparan en el Gráfico N° 2.

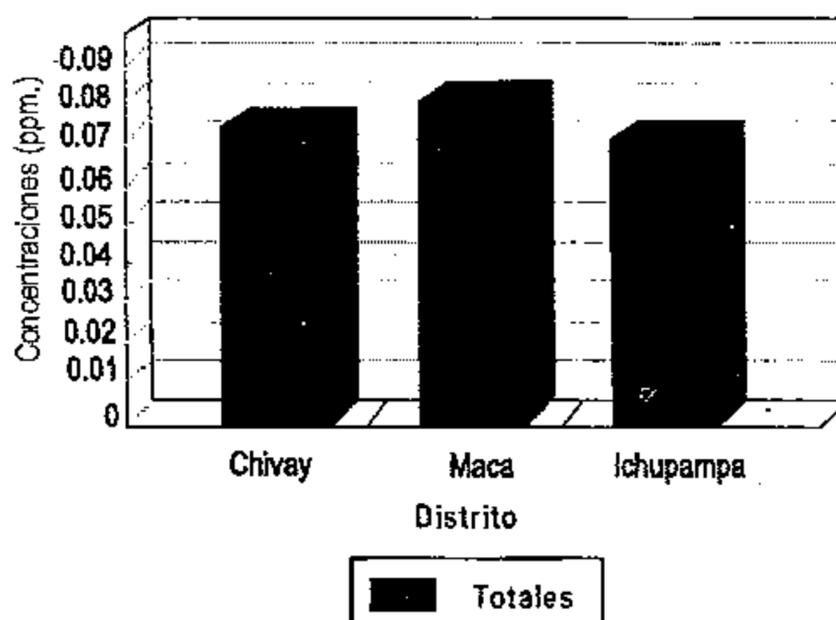
Tabla N° 2

CONCENTRACIONES PROMEDIO SEGÚN LA HORA DE LA TOMA DE MUESTRA (PPM)

Distrito muestreado	Estación	Promedio por Estación		Promedio por Distrito		Promedio Final por Distrito
		Mañana	Tarde	Mañana	Tarde	
CHIVAY	A	0,0726	0,0726	0,0750	0,0761	0,0755
	B	0,0719	0,0749			
	C	0,0804	0,0807			
MACA	D	0,0857	0,0931	0,0783	0,0834	0,0808
	E	0,0662	0,0710			
	F	0,0829	0,0861			
ICHUPAMPA	G	0,0662	0,0742	0,0701	0,0725	0,0712
	H	0,0697	0,0738			
	I	0,0743	0,0694			

GRÁFICO N° 2

CONCENTRACIONES PROMEDIO DE SO_2 POR DISTRITO



El valle del Colca consta de varios pueblos interandinos pequeños y para la elección de las poblaciones a muestrear, se tuvo en cuenta los siguientes aspectos:

- Distancia al Volcán Sabancaya, considerado éste como la fuente natural de contaminación de SO_2
- Donde se encuentra la mayor concentración poblacional en la zona.
- Dirección de los vientos y su incidencia probable en la contaminación de la zona estudiada.
- Concentración de vehículos motorizados y frecuencia del turismo.
- Se buscó un lugar aparentemente neutral, es decir sin aparente contaminación, para compararlo con lugares donde sí era segura la existencia de contaminación.

Es indudable que el trabajo que se debe hacer con la población afectada en la zona es un trabajo de prevención. Prevenir para cumplir con salvaguardar la salud de las poblaciones.

Conclusiones y Recomendaciones

Los resultados permiten afirmar que la concentración de Dióxido de Azufre en el aire de los lugares muestreados, exceden los niveles máximos permisibles dados por los organismos competentes; la contaminación es elevada provocando malestares a la salud de la población. Se confirma que la concentración de Dióxido de Azufre es inversamente proporcional a la temperatura de ambiente.

La velocidad y dirección de los vientos se confirma como factor determinante de la concentración del contaminante estudiado. Las concentraciones del contaminante estudiado van en relación directa con la distancia a la fuente de emisión, siendo el distrito de Maca el más afectado y con mayor concentración. Si bien los pueblos muestreados son poco desarrollados, los niveles de contaminación se asemejan bastante a poblados donde las fuentes de contaminación artificial son numerosas y proliferas.

Se debe considerar la importancia de los estudios referentes a la contaminación ambiental y el efecto sobre los seres vivos. Se debe orientar a la población acerca de los contaminantes: cuáles son, cómo se presentan, qué efectos producen y sobre todo la forma de prevenir la contaminación en caso de provenir de fuentes artificiales controlables.

Es necesario observar y evaluar la salud de la población y dilucidar si se dan efectos por contaminación atmosférica, especialmente en personas hipersensibles cuya salud este en severo riesgo. Se debe realizar más trabajos de investigación sobre Dióxido de Azufre en la zona estudiada por ser un importante indicador de contaminación atmosférica y dotar a los organismos competentes fondos y materiales para la buena culminación de la labor que realizan, pues los planes existen y sólo faltan medios para desarrollarlos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Albert, L.A. **Curso Básico de Toxicología Ambiental**. 2ª. Ed. Limusa. México, 1988.
2. Andrews, W. **A guide to the study of environmental pollution**. 1ª. Ed., 1972
3. Araña, V.; Ortiz, R. **Volcanología**. Rueda. España, 1984.
4. Calderón V., E.; Vizcarra A., M. Estudio preliminar de Contaminación atmosférica en un Valle de la Costa del Perú, en: **Anales del Primer Congreso Peruano de Salud Ocupacional**. INSO-Perú; 1967, p.513-21.

5. CEPAL. **La Contaminación del Aire y sus efectos sobre la salud.** Rev. LC/R 1025 (Sem. 61/24), Chile 1991.
6. Del Giorgio, J.A. **Contaminación Atmosférica: Métodos de Medida y Redes de Vigilancia.** Alhambra, España, 1976.
7. Department of Health, Education and Welfare. **Air Quality Criteria for Sulfur Oxides.** Washington, U.S. Abr. 1970.
8. DESCO. **Sistematización de una Experiencia de Promoción Campesina.** Valle del Colca, 1985. Programa Rural Valle del Colca, Arequipa. Jul. 1995.
9. Enciso S., J.; Alegre C., S.; Guizado E., I. **Distribución Espacial y Estacional del Dióxido de Azufre en Lima Metropolitana.** Tesis, Facultad de Farmacia y Bioquímica UNMSM, Lima - Perú, 1994.
10. Farrer C., H. **Erupciones Volcánicas,** 1984.
11. Freudenthal, P.C. *et al.* Health risks of short-term SO₂ exposure to exercising asthmatics. en: **JAPCA.** Jun. 1989, N° 39(6): p. 831-5.
12. Gortham, E.D.; Garland, C.F.; Garland, F.C. Acid haze air pollution and breast and colon cancer mortality in 20 Canadian cities. en: **Can. J. Public. Health.** Mar-Abr. 1989; N° 80(2): p. 96-100.
13. Guillande, R. *et al.* **L'Activite Eruptive actuelle du Volcan Nevado Sabancaya (sud du Perou) et l'evaluation des menaces et des risques: Geologie, Cartographie et imagerie satellitaire.** Delegation aux Risques Majeurs (Ministere de l'Environnement) et du Centre National d'Edudes Spatiales, Paris-Francia, 1993.
14. Huber, A.L.; Loving, T.J. Fatal asthma attack after inhaling sulfur fumes, en: **JAMA.** Oct 23-30, 1991, N° 266 (16): p. 2225-
15. INEI. **Censo National 1993. Resultados Definitivos del Dpto. de Arequipa.** Dirección Nacional de Censos y Encuestas Tomo 1, N° 6, Jul. 1994.
16. Jauregui O., E. **Climatología de difusión de contaminantes en la Ciudad de México.** Secretaria de Salubridad y Asistencia de México, 1978.
17. Jorres, R.; Magnussen, H. airways response of asthmatics after a 30 min. Exposure at resting ventilation, 50 0,25 ppm NO₂ or 0,5 ppm SO₂, en: **Eur. Respir. J.** Feb. 1990; N° 3(2): p. 132-7.
18. Lecht, M.F. **Epidemiología de los Desastres,** 1976.
19. Lewis, T.R. *et al.* **Toxicology of Atmospheric Sulfur Dioxide decay products.** EPA, U.S. Jul. 1972.
20. Mena V., M. **Reconocimiento Geológico del Valle del Colca entre Yanque, Achoma, Maca y Lari.** Facultad de Ciencias, UNAS, Arequipa - Perú, 1966.
21. Meseldzic, Z. **Contaminación Ambiental y América Latina,** Jurídica S.A. Lima - Perú; Jun. 1984.
22. Oakeshott, G. **Volcanoes & Earthquakes: Geologic Violence.** Mc Graw-Hill, USA; 1976.
23. ONERN. **Perfil ambiental del Perú.** AID-Inrena, May. 1986
24. OPS/OMS. **Criterios de Salud ambiental: Oxidos de Azufre y partículas en suspensión.** Pub. Cientif. N° 424, Washington D.C. 1982.
25. PNUMA. **Natural disasters in the Wider Caribbean Area: An overview.** UNEP, Caracas, 1980.
26. SNPADC. **Prevención de Desastres: Un concepto planificado.** Bogotá-Colombia, 1990.
27. Vences A., A. **"Contaminación Ambiental y Defensa Ecológica de Lima"**. Sistema Ecológico Natural. Ed. Yuracmayo, 1993, Lima -Perú
28. Warner, P. **Análisis de los Contaminantes del Aire.** Paraninfo, Madrid-España, 1981, p. 294-301.