

CENIZA VOLCÁNICA: UN NUEVO AGENTE DE CONTAMINACION QUIMICA.¹

Consideraciones Químicas, Clínicas y Epidemiológicas en torno a las erupciones de los volcanes Guagua Pichincha y Tungurahua, Ecuador.

Unidad de preparación para Desastres Químicos, Ministerio de Salud Pública.,

ALVAREZ, Marco.MD.MSc.* AVILÉS, José. MD**.

RESUMEN:

La presente publicación recoge las percepciones y experiencias recopiladas de los procesos eruptivos de los volcanes Pichincha y Tungurahua, que por una extraña coincidencia iniciaron su actividad a mediados del año 1999. Consideraciones químicas, epidemiológicas y clínicas han permitido dimensionar como, la ceniza volcánica puede convertirse en un nuevo agente de contaminación química, el análisis comparativo de la composición química de la ceniza volcánica de los dos volcanes y su influencia sobre la calidad de aire de la ciudad de Quito y de sus zonas aledañas; así como el impacto en lo económico, social y humano que los masivos desplazamientos humanos han inferido sobre las poblaciones afectadas, permiten avisar un nuevo agente de contaminación química. Una actualizada revisión bibliográfica del efectos de la ceniza volcánica sobre la fisiología, la bioquímica y la inmunología de la población afectada nos permite apreciar lo grave que significaría una emisión masiva de este elemento sobre la población ecuatoriana.

ANTECEDENTES:

Desde agosto de 1999, el Guagua Pichincha, volcán ubicado 12 km. al occidente de Quito y el Tungurahua ubicado 150 km. al sur de Quito han registrado incremento en los niveles de actividad volcánica provocando un importante emisión de ceniza volcánica, que ha modificado el mapa epidemiológico de la población circundante. En el caso del Guagua Pichincha se debió evacuar a 1700 personas de la localidad de Lloa por estar expuesta a los efectos de la ceniza volcánica; Quito, la capital del Ecuador con una población sobre 1'800.000 personas, se vió afectada por importantes episodios de emisión de este agente durante los meses de octubre y diciembre de 1999.

En el caso del Tungurahua, su inesperada y súbita actividad obligó la evacuación de alrededor de 25.000 personas, de ellas 16.000 provenientes del Cantón Baños, ubicado al pie mismo del volcán. Otras 50000 personas de las provincias de Chimborazo, Tungurahua y Bolívar sufrieron las consecuencias de la emanación de ceniza volcánica; que vieron en el lapso de pocas semanas alterar la calidad del suelo de alrededor de 53.000 Ha. de tierras cultivables .

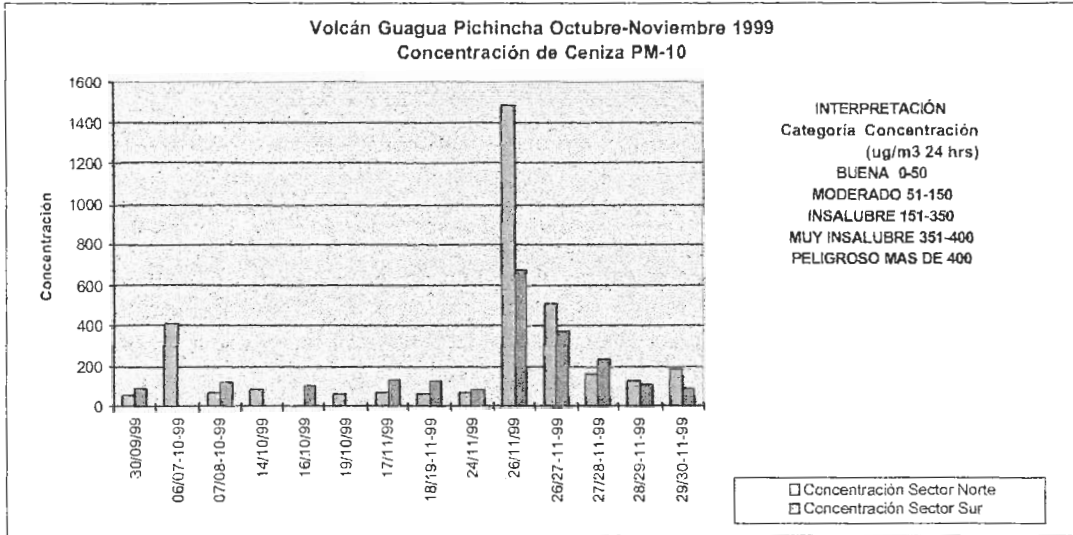
¹ Documento elaborado gracias al apoyo del Dr. José Vicente Cedeño, Director Nacional de Prevención de Desastres, MSP, y del Dr. Sergio Yactayo, Director Regional para América Latina, PED/OPS

CONSIDERACIONES QUÍMICAS Y MEDIOAMBIENTALES²

Los eventos dispersivos de ceniza volcánica sobre la capital se iniciaron el 30 de Septiembre de 1999 con concentraciones mas bien relativamente bajas (58 ug/m³), estas se incrementaron progresivamente como ocurrió durante los días 6 y 7 de Octubre con cifras que superaron los 407 ug/m³ equivalentes a 8 veces el valor normal permitido de sustancias polutivas PM-10. Pero el mayor evento registrado hasta la presente fecha, tuvo lugar el día 26 de Noviembre en que los valores registraron 1487 ug/m³ equivalentes a 28 veces el valor normal. En el cuadro 1 se puede observar la variación de este agente polutivo registrada durante los meses de Octubre y Noviembre monitorizados en el sector norte y sur de la Capital.

CUADRO 1
CONCENTRACIÓN POLUTIVA POR CENIZA VOLCÁNICA DURANTE LOS
EPISODIOS ERUPTIVOS DEL VOLCÁN GUAGUA PICHINCHA,
QUITO OCTUBRE- NOVIEMBRE 1999

Concentración en ug/m³; emisión de partículas PM-10*



Fuente: Dirección de Medio Ambiente, Municipio de Quito

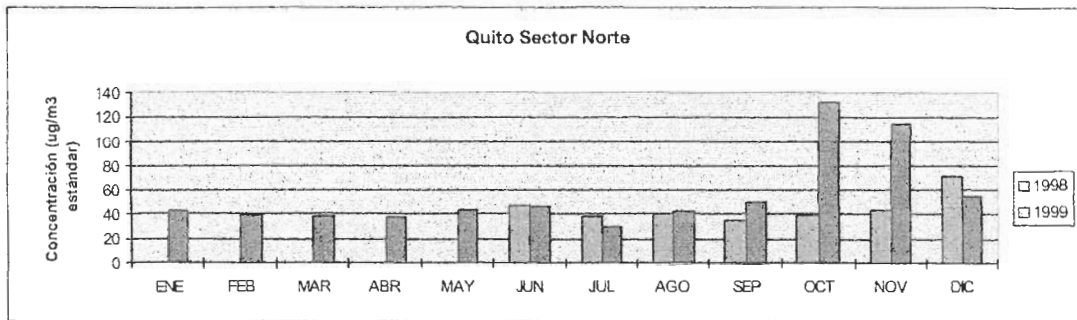
- Partículas > de 10 micras.

Datos estos que contrastan con el historial de emisión de partículas registrados durante los años 97 y 98, que mantuvieron cifras que bordearon el valor estándar de 50 ug/m³ / 24 horas, gracias a los esfuerzos hechos por los organismos de control ambiental por mantener cifras tolerables. En los cuadros 2 y 3, se evidencia el descomunal incremento de partículas en

² Información recopilada del Instituto Geofísico EPN,
Dirección de medio Ambiente, Municipio del Distrito Metropolitano de Quito
Subsecretaría de Saneamiento Ambiental. RED ECUAIRE

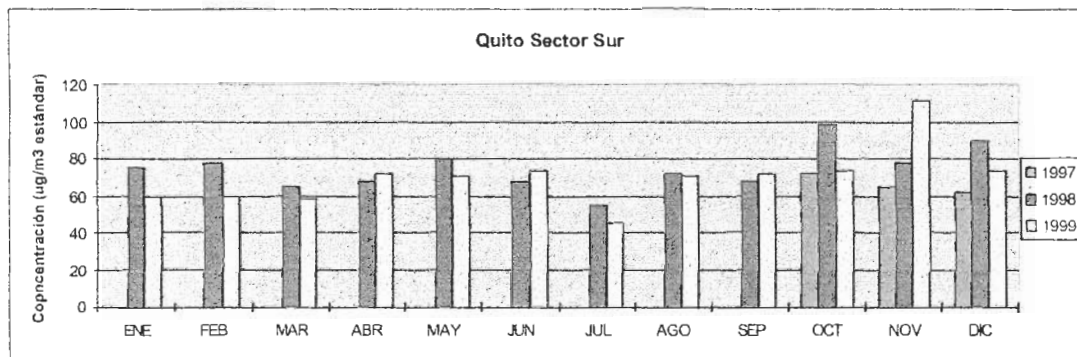
suspensión provocadas por la emisión de ceniza volcánica durante los meses de Octubre y Noviembre de 1999, lo cual gráfica de manera evidente el impacto sufrido por los habitantes de estas zonas de la ciudad.

CUADRO 2
CONCENTRACIÓN COMPARATIVA DE PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN AMBIENTAL
QUITO ZONA NORTE 1997-1999



Fuente: Dirección de Medio Ambiente, Municipio de Quito

CUADRO 3
CONCENTRACIÓN COMPARATIVA DE PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN AMBIENTAL
QUITO ZONA SUR 1997-1999

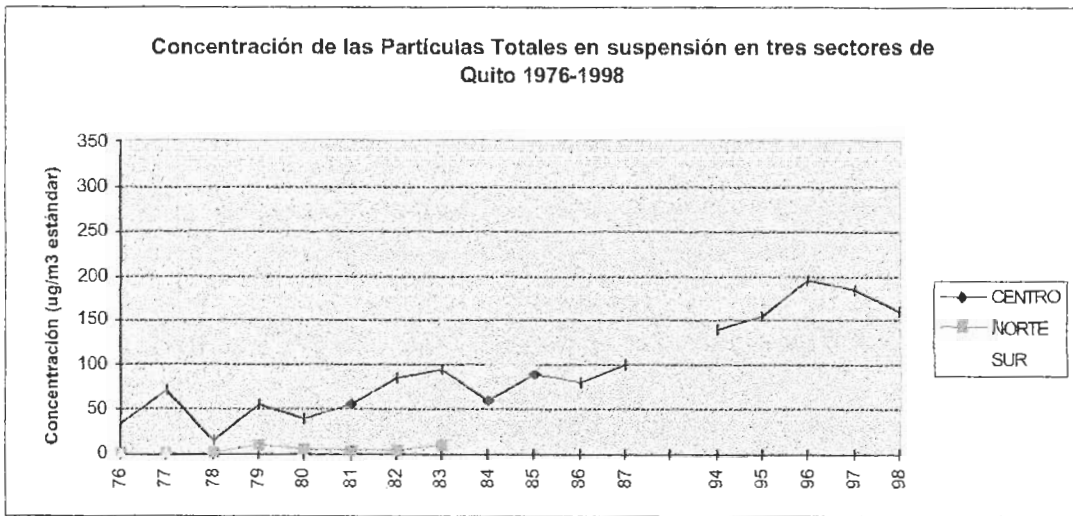


Fuente: Dirección de Medio Ambiente, Municipio de Quito

Como referencia, en los cuadros 4 y 5 registramos las variaciones en la concentración de partículas totales en suspensión y de Dióxido de Azufre en el aire de tres sectores distintos de Quito entre 1976 y 1998, observándose desde el año 1978 un incremento significativo de estos parámetros en el centro y sur de la ciudad.

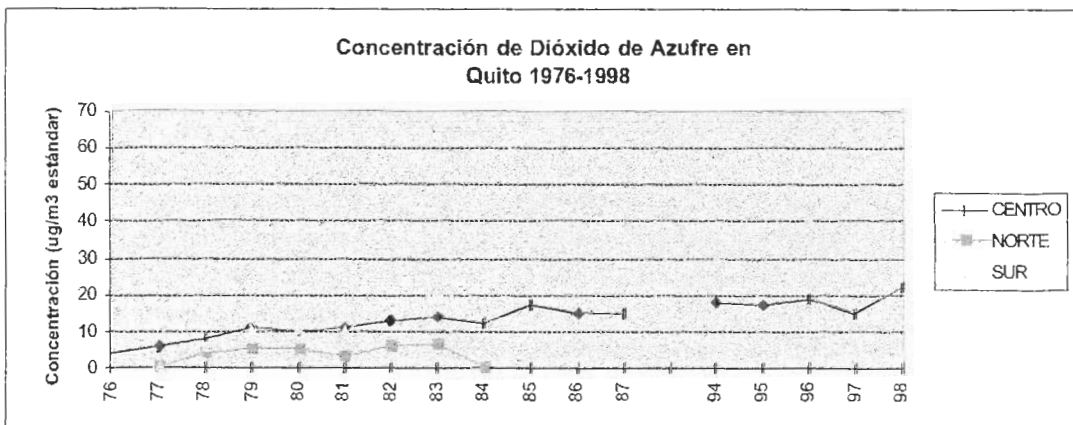
Estos datos revelan el deterioro de la calidad de aire que nuestra Capital ha venido soportando en las últimas dos décadas, a cuyo deterioro la inusitada presencia de ceniza volcánica convierte al aire de Quito en un factor agravante de la patología respiratoria de la Capital.

CUADRO 4
CONCENTRACIÓN DE PARTÍCULAS TOTALES EN SUSPENSIÓN
QUITO 1976-1998



Fuente: Subsecretaría de Saneamiento Ambiental. Red ECUAIRE

CUADRO 5
CONCENTRACIÓN DE DIÓXIDO DE AZUFRE
QUITO 1976-1998



Fuente: Subsecretaría de Saneamiento Ambiental. Red ECUAIRE

Características cuali-cuantitativas de la ceniza volcánica

Muestras de andesita calcica-alkalina estudiadas de la ceniza volcánica tanto del volcán **Guagua Pichincha** cuanto del Tungurahua arrojaron características cuali-cuantitativas diferentes. Así, en los reportes emitidos por la USGS de Vancouver, en cuyos laboratorios se efectuaron los estudios de composición química, se observan los siguientes resultados (cuadros 6 y 7)

CUADRO 6
CENIZA VOLCÁNICA DEL VOLCÁN PICHINCHA
COMPOSICIÓN QUÍMICA 1999

COMPUESTO	VALOR * REFERENCIAL	MUESTRA 9-DIC-1999	MUESTRA 17-DIC-1999
SiO ₂	64.19	63.4	64.7
Al ₂ O ₃	16.69	16.6	16.7
Fe ₂ O ₃	1.93	4.94	4.79
MgO	2.39	2.3	2.38
CaO	5.13	4.68	4.81
Na ₂ O	4.42	3.71	4.19
K ₂ O	1.51	1.77	1.85
TiO ₂	0.5	0.41	0.39
P ₂ O ₅	0.19	0.23	0.15
MnO	0.10	0.07	0.08
LOI	0.6	1.82	0.66

Fuente: Instituto Geofísico EPN; USGS, Vancouver, * Expresado en WT %

CUADRO 7
CENIZA VOLCÁNICA DEL VOLCÁN TUNGURAHUA
COMPOSICIÓN QUÍMICA 1999

COMPUESTO	VALOR REFERENCIAL	MUESTRA 2-NOV-1999	MUESTRA 7-NOV-1999	MUESTRA 13-NOV-1999
SiO ₂	64.09	58.5	58.3	58.4
Al ₂ O ₃	16.85	17.3	17.1	17.1
Fe ₂ O ₃	2.07	6.81	7	6.91
MgO	2.58	3.68	4.04	3.92
CaO	5.17	6.58	6.6	6.52
Na ₂ O	4.46	4.04	3.87	3.93
K ₂ O	1.5	1.71	1.68	1.7
TiO ₂	0.5	0.89	0.87	0.88
P ₂ O ₅	0.19	0.35	0.33	0.34
MnO	0.10	0.10	0.11	0.11
LOI	0.38	0.49	0.49	0.04

Fuente: Instituto Geofísico EPN; USGS, Vancouver, WA
 Expresado en WT%

Desde el punto de vista de salud, interesa las concentraciones de óxido de silicio (SiO₂) dada su vinculación con la fibrosis pulmonar, sin embargo los diferentes datos de la composición química de ceniza volcánica del Tungurahua arrojan valores bajos en relación al rango de normalidad. Igual sucede con el Volcán Guagua Pichincha que, aunque las cifras promedio registradas son discretamente mayores, estas se mantienen dentro del rango de normalidad, lo que hace prever que de mantener estas cifras, el riesgo a largo plazo de fibrosis pulmonar en la población expuesta es mínimo.

Llama la atención, eso si, el relativo incremento de óxido de titanio (TiO₂) sobre todo en las muestras del volcán Tungurahua que prácticamente duplican los valores registrados en el Guagua Pichincha, sobre todo por su riesgo carcinogénico se deberá hacer un seguimiento puntual sobre sus variaciones.

En cuanto a las emisiones de dióxido de azufre (SO₂), sin embargo de que se reportaron cifras que cuadruplicaron el rango de normalidad, el impacto sobre piel y mucosas fue discreto, no se han registrado casos cuya gravedad ameriten referencia; quizá las molestias

propias de la exposición ocular a este gas concitaron ocasionales molestias a la población expuesta por largo tiempo.

CONSIDERACIONES EPIDEMIOLÓGICAS

Las erupciones volcánicas, a menudo son precedidas por eventos que permiten a los geólogos y personal de emergencia en salud, elaborar planes para prevenir desastres y así perfilar una respuesta epidemiológica adecuada. La evaluación de riesgos y la preparación de emergencias en caso de erupción de los volcanes en mención se efectuaron con anticipación a los eventos eruptivos, sobre todo en el caso del volcán Guagua Pichincha, cuyos pródomos de actividad se registraron desde un año atrás. Los vulcanólogos nacionales se esforzaron por predecir la forma en que el volcán se comportaría, tanto por su historial eruptivo cuanto por sus características geológicas; ésto permitió esbozar el potencial de riesgos para la población expuesta. Para el caso de la población desplazada de la ciudad de Baños, la mayor incidencia que se registro fue de trastornos mentales subagudos como ser: depresión, insomnio y labilidad emocional, etc. En el cuadro 8 se hace un análisis comparativo de la consulta psiquiátrica del Hospital regional de Ambato durante los meses de septiembre a diciembre de los años 98 y 99, arrojaron los siguientes resultados.

CUADRO 8 ANÁLISIS COMPARATIVO DE CONSULTAS PSIQUIÁTRICAS POSTERIORES A LA EVACUACIÓN DE BAÑOS. AMBATO OCTUBRE-NOVIEMBRE 1998 y 1999.

Hospital Regional de Ambato

Motivo de Consulta	Octubre-Diciembre	Octubre-Diciembre	Variación %
	1998	1999	
<i>Insomnio</i>	48	149	210.41
<i>Snd. maniacodepresivo</i>	12	13	8.33
<i>Labilidad emocional</i>	48	142	195.8
<i>Síndrome Depresivo</i>	51	220	331.37
<i>Esquizofrenia</i>	2	3	50

Fuente: Dirección de Estadística, MSP.

El impacto epidemiológico que provocó la erupción del Volcán Tungurahua sobre la población desplazada tuvo características diferentes respecto del Volcán Guagua Pichincha; para el caso esfera psico-emotiva fue la más afectada. Así, las consultas por síndrome depresivo, labilidad emocional e insomnio se incrementaron hasta en un 331% respecto del mismo periodo del año anterior.

CUADRO 9
ANÁLISIS COMPARATIVO DE CONSULTAS NEUMOLÓGICAS POSTERIORES A
LA EMISIÓN DE CENIZA VOLCÁNICA,
QUITO OCTUBRE-NOVIEMBRE 1998 Y 1999.

Centro de Salud No.4 Quito

Motivo de Consulta	Octubre-Diciembre	Octubre-Diciembre	Variación %
	1998	1999	
<i>Rinitis alérgica</i>	285	392	27.23
<i>Asma</i>	48	145	202.08
<i>Síndrome Gripal</i>	1750	1628	-6.9
<i>Laringotraqueítis</i>	182	149	-18.13
<i>Faringoamigdalitis</i>	345	380	10.14
<i>Neumonía</i>	48	18	-62.5

Fuente: Dirección de Estadística, MSP.

Según datos preliminares recogidos del volumen de consulta del centro de salud No. 4 en la ciudad de Quito, el comportamiento epidemiológico observado en las zonas de mayor exposición de ceniza volcánica durante los episodios del 6 y 7 de octubre del 99 y del 26 y 27 de noviembre del mismo año arrojaron un aumento en el número de consultas por trastornos del tracto respiratorio alto comparados con las mismas fechas del año 98. Así, patologías reactivas como la rinitis alérgica y asma tuvieron un incremento porcentual que fluctuó entre el 10.1% y 202%, mientras que patologías virales y bacterianas como la neumonía, laringotraqueítis y síndrome gripal tuvieron índices de variación porcentual mínimas o negativas.

Esto hace inferir preliminarmente que el impacto polutivo de la ceniza volcánica potenciaron la morbilidad reactiva del tracto respiratorio alto de un importante número de población susceptible expuesta a este agente.

En cuanto a mortalidad, curiosamente los datos registrados en la ciudad de Quito en los días posteriores a la erupción se debieron a una falencia en la capacitación de la comunidad que no advirtió el riesgo que suponía las labores de limpieza de ceniza de los techos de las viviendas, lo que provocó un importante número de accidentes relacionados con las ya mencionadas labores, que en más de una decena de casos terminaron con la muerte de los afectados.

CONSIDERACIONES CLÍNICAS³

Efecto de la ceniza volcánica sobre el aparato respiratorio.

La severidad e intensidad de los efectos respiratorios adversos de una explosión volcánica dependen de las características fisicoquímicas y cantidad del material expulsado, de factores relacionados con el medio ambiente como son el estado del tiempo, la dirección de los vientos, la intensidad de las lluvias, la densidad de la población afectada, el suministro de aguas y la disponibilidad de sistemas de atención médica apropiados; y de factores relacionados con el huésped, como son la intensidad de la exposición inmediata, la posibilidad de exposición crónica, la exposición a vegetación cubierta de polvo, que puede aumentar la susceptibilidad a la ceniza volcánica. Desde luego, factores indirectos como lesiones traumáticas provocadas por el calor y el flujo de lava, lodo y piedra y el impacto psicológico, social y económico que produce la catástrofe, pueden ser factores determinantes de la

³ Información recopilada: "Efectos de la ceniza volcánica sobre el aparato respiratorio", Dr. Darío Maldonado Gómez.

intensidad de la lesión respiratoria; para el caso de nuestros volcanes estos efectos no se registraron.

Valoración fisiopatológica

La Sociedad Torácica Americana, valora el efecto de la exposición a un agente polucional, (ceniza volcánica), en dos niveles: alteraciones fisiológicas sólo demostrables por técnicas muy complejas o sofisticadas y que por no limitar las actividades normales de los individuos afectados no se consideran un efecto adverso; y alteraciones que comprometen la capacidad funcional del paciente en forma clínicamente significativa, por lo cual, junto con la enfermedad manifiesta o muerte.

Los parámetros respiratorios que permiten valorar el grado de alteración estadísticamente significativas constituyen: volumen espiratorio forzado en un segundo (VEF), capacidad vital forzada (CVF), flujo respiratorio máximo o "pico" (FEM) y capacidad de difusión para el monóxido de carbono (DICO). La modificación de las pruebas funcionales de las vías aéreas periféricas con espirometría normal, no se considera un efecto adverso por cuanto no se ha demostrado de manera conclusiva que estas alteraciones evolucionen obligatoriamente hacia la enfermedad respiratoria franca.

Morbilidad.

Las características morbiliformes dependerán del tipo y composición de la ceniza volcánica y del tiempo e intensidad de exposición. Así, cenizas con altas concentraciones de azufre producen estados de hiper reactividad bronquial, en algunos casos, similar al originado en los estímulos antigénicos responsables del asma extrínseca, o de la bronquitis crónica industrial que pueden lesionar la mucosa de vías aéreas inferiores e incluso provocar alteraciones obstructivas crónicas.

Concentraciones bajas de SO₂, 0,3 a 1.00 ppm producen un olor desagradable muy característico; a concentraciones un poco más altas, 1 a 50 ppm, el 99% del SO₂ es absorbido por la mucosa de las vías respiratorias superiores y no produce lesiones en los bronquios; concentraciones muy altas pueden producir edemas en la laringe y la traquea, edema pulmonar y aún la muerte, o lesiones crónicas de las vías aéreas.

En el caso de las erupciones de los volcanes Tungurahua y Guagua Pichincha, las emisiones de SO₂ difieren uno de otro, observándose mayor concentración relativa de SO₂ emitida por el Guagua Pichincha, cuyos valores fluctuaron entre 100 y 250 ppm, y cuyos efectos se reflejaron en un sustancial incremento de la consulta médica en dos Centros Asistenciales de zonas que sufrieron mayor impacto de ceniza.

Mortalidad.

Datos históricos demuestran que la mortalidad inmediata por asfixia producida por la explosión masiva a concentraciones muy altas de ceniza volcánica son más bien escasas. Muchas de esas muertes pudieron evitarse mediante el uso de equipos de protección respiratoria, que deben estar a disposición de las personas, científicos, autoridades, socorristas, etc, que se encuentren cerca del sitio de las explosión.

En tanto que las muertes que se producen de manera tardía se relacionan con la presencia de quemaduras extensas, necrosis de los tejidos, sépsis y bronconeumonía. En estudios histopatológicos post-mortem se encontraron lesiones granulomatosas tempranas y signos de daño alveolar agudo (síndrome de dificultad respiratoria aguda) . Las circunstancias de la muerte hacen muy difícil separar los cambios producidos por acción directa de la ceniza volcánica, de lo que se relaciona con quemaduras, sépsis e infección respiratoria que también presentaban las víctimas.

Estudios experimentales

En ausencia congénita o inducida por el humo del cigarrillo, de sustancias inhibidoras de la proteólisis como la antitripsina-alfa 1, se presenta destrucción incontrolada del parénquima pulmonar produciéndose enfisema. En presencia de esta enzima, la destrucción inicial se controla, produciéndose en su lugar fibrosis del tejido pulmonar, con formación de cuadros histológicos mas o menos característicos de acuerdo con la naturales del estímulo inicial.

El macrófago alveolar es la célula clave de esta respuesta. Es el responsable de la liberación de una pequeña cantidad de sustancias oxidantes y enzimas proteolíticas y del factor quimiotáxico de los neutrófilos, que son las células capaces de producir la mayor cantidad de radicales tóxicos de O₂ y de elastasa. Los macrófagos secretan además, factores quimiotáxicos y activadores de linfocitos T, que en ciertos tipos de fibrosis aumentan en forma característica y producen factores estimuladores moduladores de la actividad de los fibroblastos. Por estas razones , los macrófagos obtenidos de animales de experimentación o de seres humanos, por lavado broncoalveolar, son células muy utilizadas en los estudios in vitro sobre las propiedades fibrogénicas de la ceniza volcánica.

Fruchter y colaboradores, compararon la citotoxicidad con muestras de ceniza volcánica, cuarzo, basalto, feldespato, suelos TiO₂ y ployvinyl tolueno, y encontraron que el cuarzo era el mas citotóxico que la ceniza volcánica; ésta, presentaba una similar a la de TiO₂, es decir, como la de un agente inerte. Estudios realizados por Green, demostraron que la ceniza volcánica no tenía capacidad mutagénica en la prueba con la Salmonella Ames, sugiriendo una baja potencialidad para la inducción de neoplasias. La ceniza volcánica tampoco alteró la liberación de interferón en células renales estimuladas por el virus PR8 de la influenza, lo que implica que no interfiere en las defensas contra las infecciones virales. Tampoco activó el complemento, lo que nos sugiere que carece de la capacidad para iniciar inflamación alveolar por este mecanismo.

La exposición a ceniza volcánica, sin embargo, alteró la capacidad del macrófago alveolar para producir radical superóxido in vitro e in vivo, lo que sugiere que se podría aumentar el riesgo de adquirir infección pulmonar, al comprometerse la función del macrófago; hipótesis todavía tentativa por cuanto no se ha evidenciado modificación en la actividad de los neutrófilos y los linfocitos.

La ceniza volcánica fue menos tóxica que el cuarzo para los macrófagos alveolares y los neumocitos tipo II de las ratas, y no estimuló la liberación del factor quimiotáxico de neutrófilos por los primeros, como si los hizo el cuarzo. Este fue notablemente citotóxico para los macrófagos alveolares y las células A549(derivados de un carcinoma bronquioalveolar) y estimuló la liberación del factor quimiotáxico de neutrófilos; la ceniza volcánica les fue mucho menos tóxica y no estimuló la liberación de dicho factor.

Los restos respirables de la erupción, y todos los minerales que salieron de la erupción, fueron examinados en una interacción con el epitelio respiratorio en in vitro, el feldespato de sodio,

cristobalita y cuarzo alfa, en concentraciones de entre 0.4 y 40 mg/ml tampoco tuvieron efectos significativos tóxicos agudos después de la exposición de 2 horas. La incubación prolongada (1 a 3 semanas) de los explantes después de una hora de exposición al los restos de ceniza mostró diseminación tóxica o cambios proliferativos en las células del epitelio del conducto respiratorio.

En cambio, una larga exposición al feldespato de sodio, cristobalita y al cuarzo alfa causó un daño significativo en las muestras, además no se observó cambios metaplásicos. No se observó una evidencia ultraestructural de asociación entre las partículas y el epitelio respiratorio.

Ensayos biológicos mediante la inhalación de 0,15 a 3,75 mg de ceniza volcánica produjo un efecto similar a de una sustancia inerte (óxido de aluminio) y muy inferior en toxicidad al producido por el cuarzo sobre las células de las vías aéreas. La inhalación y la inyección intratraqueal de ceniza volcánica redujo la respuesta del músculo traqueal a la serotonina sin cambiar la respuesta al KCL, iso-proterenol y acetil-colina, lo que indica una acción limitada sobre la reactividad de las vías aéreas.

La inyección intratraqueal de cuarzo produjo necrosis alveolar y fibrosis intensa en ratas, efecto que no se produjo en la inyección de ceniza volcánica o de suelos cercanos al volcán.

A los 6 meses de inyectar 10 mg de ceniza volcánica en la traquea de ratas libres de patógenos, se observó la presencia de granulomas alrededor de partículas minerales similares a los observados en algunos pacientes que murieron de sepsis, seis semanas después de sufrir quemaduras extensas por lava; esto sugiere, que la ceniza tiene cierto potencial fibrogenético, el que desafortunadamente no se comparó en este estudio con el de otras sustancias inertes o más fibrogénicas.

La inhalación de ceniza, en lugar de aumentar la respuesta bronquial a la histamina, la disminuyó, por medio de un mecanismo que se desconoce, lo cual hace de difícil aplicación esta observación clínica.

La exposición de ratas por 2 semanas a concentraciones elevadas de ceniza, produjo una alveolitis aguda de intensidad moderada, mucho menos severa que la producida por la inhalación de cuarzo que es capaz de producir silicoproteínosis severa.

La inhalación de una concentración de 50 mg/m³ por 24 meses, produce proteólisis alveolar difusa, reacción histiocítica intensa al rededor de las vías aéreas periféricas y en los ganglios linfáticos del mediastino, similar a la producida por el cuarzo. La inhalación de 5 mg/m³ de ceniza produce, por el contrario cambios mínimos consistentes en la agrupación de macrófagos cargados de polvo, lo cual indica que hay una relación dosis-respuesta muy definida. El efecto producido por dosis pequeñas de ceniza volcánica, no pasa de ser una experiencia molesta que no llega a producir lesión significativa.

Efectos oculares y dérmicos causados por la ceniza volcánica

Reportes bibliográficos refieren limitados efectos sobre la función ocular y visual de personas expuestas al influjo de la ceniza volcánica. Así, estudios efectuados en Estados Unidos en 1523 pacientes con problemas oculares, se observó que la ceniza volcánica actuó como cuerpo extraño en los ojos y fue tolerada aparentemente por la mayoría de los pacientes sin provocar procesos inflamatorios agudos. Los pacientes que usaban lentes de contacto o poseían alguna enfermedad o síndrome en los ojos presentaron problemas más agudos y de forma más frecuente.

En cuanto a problemas dermatológicos, se reportaron efectos importantes en población expuesta a altas concentraciones de SO₂, generalmente a grandes distancias del foco de

emisión y cuando el afectado tenía expuesta la piel al ambiente. En nuestra experiencia, no se registraron casos de quemaduras ni dermatitis en población expuesta.

CONCLUSIONES:

- Las características de los procesos eruptivos de estos dos volcanes no han ocasionado daños ni han cobrado víctimas que suponga un desastre natural de gran envergadura. No se descarta que estos volcanes modifiquen su comportamiento vulcanológico y varíen su impacto sobre la población expuesta.
- El efecto más evidente de estos procesos volcánicos fueron la emisión de ceniza y de gases volcánicos, que si bien variaron en su composición química y en la dimensión de su impacto, no representaron amenaza sobre grupos poblacionales expuestos, sin embargo, no se descarta que emisiones de ceniza volcánica cuantitativa más grandes puedan afectar la salud de la población expuesta.
- Los episodios eruptivos de los volcanes modificaron aunque de diferente manera el mapa epidemiológico de las zonas afectadas ya sea por efecto de los desplazamientos humanos o por el impacto directo de la ceniza volcánica sobre población susceptible.
- Los gases tóxicos, especialmente el SO₂, producidos por la explosión y las partículas de ceniza de menos de 10 micras, producen cuadros de inflamación aguda de las vías respiratorias superiores e inferiores. Es posible que interfieran con algunos mecanismos de defensa facilitando la infección bacteriana. No interfieren con los mecanismos de defensa contra las enfermedades virales.
- Estudios experimentales efectuados en otras latitudes, han demostrado que la ceniza volcánica tiene alguna capacidad fibrogénica, muy inferior a la del cuarzo, por lo cual, se puede esperar el desarrollo de lesiones pulmonares fibrogénicas en el largo plazo en poblaciones expuestas crónicamente.
- No es posible afirmar que la ceniza volcánica tenga un efecto irreversible sobre piel y mucosas, salvo en casos de prolongada y masiva exposición a ceniza volcánica y, sobretodo, a SO₂.

Referencias.

- ANDERSEN, D.J., Lindsley, D.H., y Col. 1993, QUILF, v.19, p. 1333-1350
- BAXTER, P.J. y Col. 1981, J. Amer. Med. Assoc. V246, p.2585
- BERNSTEIN, ROBERT y Col. 1986. Am. Rev. Respir. Dis. v133, p.526-534
- FIERSTEIN, J. y Col. 1992, Boletín de Vulcanología, v 54, p. 156-167
- HANSEN, J y Col. American Geophysical Union. v 73, no 43, p. 632
- KENNETH, B ADLER y Col. 1984, Environmental Research. V35, p.346-361
- MARKS, H. 1980, Amer. Lung. Assoc. Bull. V266, p.267
- SHORE, JAMES y Col. 1986. Am.J. Psychiatry. V143, p.590-595
- KIT, JOHNSON Y Cols. 1982. Am. Rev. Respir. Dis. V126, p.1066-1069