



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD

EFFECTOS EN LA SALUD RESPIRATORIA DE LAS COMUNIDADES DE PILLATE, MANZANO  
Y CHOGUNTUS EXPUESTAS CRÓNICAMENTE A LA INHALACIÓN DE CENIZA  
DEL VOLCÁN TUNGURAHUA.

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos  
para optar por el título de Médico Cirujano

Profesor Guía  
CHERILYN M. SIROIS, PhD

Autores  
Andrea Carolina Cifuentes Moreira  
Luis Alberto Alvarado Aguirre

Año  
2015

### **DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA**

Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con los estudiantes Luis Alberto Alvarado Aguirre y Andrea Carolina Cifuentes Moreira, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”

-----  
Cherilyn M. Sirois, PhD  
Investigadora-Docente, Facultad de Ciencias de la Salud  
CI: 175452092-0

### **DECLARACIÓN AUTORÍA DE LOS ESTUDIANTES**

“Declaramos que este trabajo es original, de nuestra autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

---

Andrea Carolina Cifuentes Moreira  
C.C. 172269998-8

---

Luis Alberto Alvarado Aguirre  
C.C.171625147-3

## **AGRADECIMIENTOS**

Nuestro más profundo y sincero agradecimiento a todas aquellas personas que han colaborado en la realización del presente trabajo de titulación, en especial a Cheryl M. Sirois, PhD, directora de esta investigación, por el apoyo incondicional, orientación, supervisión y motivación.

A la Universidad de las Américas, nuestro segundo hogar, donde forjamos y se cumplieron nuestros sueños.

A las comunidades de Pillate, Choguntus, el Manzano y Baños por su colaboración y participación en el desarrollo de esta investigación.

## **DEDICATORIA**

A Dios nuestro señor que es nuestra fortaleza, a nuestros padres porque creyeron en nosotros, por el ejemplo de superación y entrega, porque gracias a ustedes podemos alcanzar esta meta, ya que siempre estuvieron impulsándonos en los momentos más difíciles de nuestra carrera.

A nuestros hermanos, tíos, primos, abuelos y amigos. Gracias por haber fomentado en nosotros el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida.

## RESUMEN

En la actualidad, se conoce que la exposición de los seres humanos a la ceniza volcánica aumenta el riesgo de patologías respiratorias; sin embargo, en las regiones cercanas a volcanes ecuatorianos no existen suficientes estudios que evalúen el impacto en la salud respiratoria de la exposición crónica a cenizas volcánicas. El objetivo de este estudio fue evaluar parámetros de salud respiratoria de acuerdo a la exposición crónica a cenizas del volcán Tungurahua, ubicado en la región central de la sierra andina de Ecuador. Se realizó un estudio de cohorte retrospectivo con 218 sujetos (expuestos a cenizas:  $n=109$ ; no expuestos a cenizas:  $n=109$ ). Se realizó una prueba de espirometría y se administró una encuesta sobre enfermedades respiratorias. Se determinó el riesgo relativo con intervalo de confianza. Se encontró un riesgo relativo aumentado entre la exposición a cenizas y el antecedente de asma bronquial (RR: 10,78; IC 95%: 1,36–85,09), la enfermedad de base se agravó posterior a la exposición de cenizas (RR: 2,46; IC 95%: 1,01–6,01), al igual que los siguientes síntomas: tos (RR: 8,66; IC 95%: 1,07–69,58), irritación de garganta (RR: 46,94; IC 95%: 19,41–113,52), irritación ocular (RR: 93,10; IC 95%: 33,57–258,13) y alergias (RR: 10,78; IC 95%: 1,36–85,09), fueron las molestias más prevalentes. Las poblaciones expuestas a cenizas tuvieron un riesgo relativo de 8,66 para presentar una disminución del valor de FEV1 en la espirometría (RR: 8,66; IC 95%: 1,07–69,58). Se concluye que las cenizas volcánicas aumentan el riesgo de alteraciones espirométricas en la población estudiada e indica la necesidad de seguir con estudios prospectivos amplios para entender el comportamiento de variables respiratorias en las poblaciones afectadas por cenizas de los volcanes de la sierra ecuatoriana.

Palabras clave: Cenizas volcánicas, espirometría, alteraciones respiratorias.

## ABSTRACT

It has become clear that exposure to volcanic ash increases the risk of human respiratory pathologies; however, few studies have evaluated variables associated with respiratory health in populations exposed to volcanic ash in the regions surrounding active volcanoes in Ecuador. The objective of our study was to evaluate respiratory health parameters related to exposure to ash from the Tungurahua volcano, located in the central region of the Ecuadorian Andes. We conducted a retrospective, observational, cohort study with 218 subjects (exposed to ash: n=109; unexposed to ash: n=109). The subjects were evaluated with a spirometry test and a questionnaire regarding respiratory symptoms and diseases. A significant association was found between ash exposure and reported bronchial asthma, cough, throat irritation, eye irritation, and respiratory allergies. Ash exposure also correlated with altered spirometry parameters ( $\chi^2=6.102$ ;  $p=0.047$ ) and exposure to ash presented a relative risk of 8.66 for spirometric alterations (RR: 8.66; IC 95%: 1.07-69.58). The study reported herein indicates that exposure to volcanic ash increases the risk of spirometric alterations in the studied population and indicates the need for broad prospective studies to better understand the respiratory health impact of volcano ash in populations of the Ecuadorian Andes.

Keywords: Volcanic ash, spirometry, respiratory disorders

## INDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
OBJETIVO GENERAL.....	6
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
MATERIALES Y MÉTODOS .....	7
Diseño del estudio .....	7
Tamaño de la muestra .....	7
Criterios de inclusión:.....	8
Criterios de exclusión:.....	8
Medición de la FEV1: .....	8
Medición de la saturación de oxígeno: .....	8
Medición de ceniza volcánica: .....	9
ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	9
RESULTADOS .....	10
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA POBLACIÓN ESTUDIADA.....	10
TUNGURAHUA. ....	13
ALTERACIONES ESPIROMÉTRICAS Y EXPOSICIÓN A CENIZAS DEL VOLCÁN TUNGURAHUA. ....	13
OXIMETRÍA Y EXPOSICIÓN A CENIZAS DEL VOLCÁN TUNGURAHUA.....	15
DISCUSIÓN .....	16
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	20
REFERENCIAS .....	21
ANEXOS .....	27

## INTRODUCCIÓN

El volcán Tungurahua (también conocido como “garganta de fuego”), alcanza una altura de 5.020 metros sobre el nivel del mar y está ubicado a 135 kilómetros al sur de Quito, Ecuador, en la provincia de Tungurahua. Su proceso eruptivo actual comenzó hace 16 años, en 1999, manteniéndose hasta el día de hoy con varios picos en el 2001, 2006, 2008, 2010, 2011, 2012 y 2013 (Instituto Geofísico EPN, 2014). El Ministerio de Salud Pública y la Dirección de Gestión de Riesgo del Ecuador desarrollaron un programa para la atención y evacuación de habitantes de la zona (Instituto Geofísico EPN, 2014) y se ha reconocido una problemática en el ámbito de la salud en cuanto a un aumento de la frecuencia de enfermedades del tracto respiratorio, irritación ocular y exacerbación de patologías previas.

Los asentamientos poblacionales alrededor del volcán ponen en riesgo a dichas comunidades. Un alto porcentaje de la población se dedica a labores agrícolas y con ello recibe la exposición crónica a pequeñas partículas de ceniza volcánica que posterior a esto causan inflamación del sistema respiratorio. (Instituto Geofísico EPN, 2014). Este fenómeno se manifiesta con síntomas de irritación en la garganta, rinorrea, obstrucción nasal, tos, secreción nasal y dificultad respiratoria (Madero et al., 2013).

El interés por los efectos sobre la salud debido a la inhalación de ceniza volcánica ha crecido en las últimas décadas y se han realizado varios estudios en la salud de poblaciones afectadas por las erupciones y las cenizas (Horwell y Baxter, 2006); (Small y Naumann, 2001); (Hansell, Horwell y Oppenheimer, 2006); (Hansell y Oppenheimer, 2004); (Baxter, 1990); (Weinstein y Cook, 2005).

Como bien se ha descrito, la erupción del Monte Santa Helena en 1980 condujo a la primera investigación epidemiológica y toxicológica sistemática detallada de los riesgos para la salud de las cenizas volcánicas en el aire, (Horwell y Baxter, 2006); (Hansell, Horwell y Oppenheimer, 2006); (Hansell y Oppenheimer, 2004); (Baxter, 1990). La erupción se produjo el 18 de mayo de 1980, y áreas del centro del estado de Washington en el noroeste de Estados

Unidos experimentaron alrededor de 10 cm de la caída de ceniza. Los estudios demostraron que las áreas con altos niveles de ceniza en el aire presentaron un aumento de dos a tres veces los ingresos hospitalarios y un aumento de tres a cinco veces la asistencia a urgencias por afecciones respiratorias, con mayor frecuencia de asma y bronquitis (Baxter et al, 1981).

El conocimiento actual sobre los efectos respiratorios agudos de ceniza volcánica se puede comparar con la información disponible sobre los efectos respiratorios del ataque al World Trade Center en la ciudad de Nueva York el 11 de septiembre de 2001. En ese evento se produjo una enorme nube de polvo con la exposición aguda y luego de varios meses de exposición a la quema del rublo y el polvo durante el proceso de limpieza (Rom et al., 2010). Los efectos agudos fueron tos, disnea y congestión nasal (Rom et al., 2010). En los bomberos afectados fue común encontrar valores de la espirometría disminuidos en un rango normal-bajo y una capacidad vital forzada baja. (Rom et al., 2010). Por lo tanto, el incidente del World Trade Center ha tenido más efectos permanentes en la función pulmonar con respecto a la ceniza volcánica, sin embargo hay que tener en cuenta que esta población ha sido estudiada más que cualquier población que ha estado expuesta a la ceniza volcánica.

Así por ejemplo, el volcán Soufrie're Hills (Montserrat) presentó una erupción en 1995 y los estudios de salud realizados no han utilizado un enfoque multidisciplinario para evaluar los riesgos para la salud. Sin embargo, se ha visto que la ceniza de este volcán contiene típicamente un 13% a 20% de partículas inhalables. (Baxter et al, 1990). Los estudios toxicológicos han encontrado a esta ceniza ligeramente tóxica. (Horwell y Baxter, 2006); (Searl, Nicholl y Baxter, 2002).

Por otra parte, debido a las preocupaciones sobre los efectos en la salud de las cenizas volcánicas en Islandia, el Directorio de Salud en mayo de 2010 inició un estudio sobre los efectos de la actividad del volcán Eyjafjallajökull. La población estudiada estuvo conformada por las personas que viven más cerca del volcán y que habían sufrido la mayor exposición a la caída de ceniza (Briem, 2010). En un 60% del grupo de estudio se informó que presentaron

buena salud y no hubo síntomas relacionados con la ceniza volcánica en el momento del estudio, alrededor del 13% del grupo dio una historia de enfermedad pulmonar previa, con mayor frecuencia de asma; se encontraron valores espirométricos anormales en el 18% del total del grupo de estudio. De la población que informó tener una afección pulmonar anterior, el 38% tenían una espirometría normal, no se encontraron graves consecuencias inmediatas de la exposición a cenizas volcánicas y alrededor del 40% de los individuos en el estudio sintió los efectos agudos de la caída de cenizas como molestias en los ojos, la nariz y la garganta, y malestar en el pecho. La mayoría informó que el uso de gafas de protección y máscaras respiratorias disminuyó los síntomas (Briem, 2010).

Las partículas que penetran en la región alveolar pulmonar poseen un tamaño menor de 4 micras. Estas partículas se encuentran con los macrófagos pulmonares que intentan depurar los pulmones de las partículas mediante fagocitosis (Mossman, 1993). Las partículas son transportadas a los ganglios linfáticos hiliares, donde pueden ser almacenados.

En años recientes, se ha reconocido que elementos cristalinos y particulados, como el sílice presente en ceniza volcánica, activan vías de inflamación en los macrófagos, que promueven cascadas inflamatorias, contribuyen al proceso patológico en el pulmón, y pueden ocasionar la muerte de los macrófagos portadores. (Cullen et al, 2002; Hornung et al., 2008; Rock, Latz, Ontiveros y Kono, 2010). Después de la fagocitosis, las enzimas actúan sobre la partícula de materia adsorbida.

Varios sitios de superficie sobre la partícula, incluyendo los sitios libres generadores de radicales (Horwell, Fenoglio, Vala, Sparks y Fubini, 2003), pueden entonces reaccionar con los contenidos de la célula, mediante el “estallido respiratorio” donde se sintetizan rápidamente una gran variedad de especies reactivas de oxígeno (ROS) tóxicas para tratar de degradar al patógeno (Hansen y Mossman, 1987). La sílice cristalina estimula el estallido respiratorio en los macrófagos alveolares (Vallyathan, Mega, Shi, y Dalal, 1992) mientras que la rápida afluencia de células inmunes en el área expuesta y la producción masiva de quimiocinas y citocinas proinflamatorias conforman la

respuesta inflamatoria que indica que los cristales de sílice inducen la liberación de interleucinas para el desarrollo de la inflamación.

Las manifestaciones respiratorias agudas observadas después de la caída de grandes cantidades de ceniza incluyen irritación de la nariz y el pecho así como molestias en la garganta. Además, se evidencia exacerbaciones agudas de asma y bronquitis. Pacientes expuestos a ceniza presentan aumento de la tos, dificultad para respirar, opresión en el pecho y sibilancias. (Gudmundsson, Larsen, Hoskuldsson y Gylfason, 2008); (Donovan y Oppenheimer, 2010); (Sigmundsson y Hoskuldsson, 2010); (Gudmundsson et al, 2010); (Institute of Earth Sciences, 2010). Se ha visto que la inhalación de ceniza fina también puede exacerbar otras enfermedades presentes anteriormente como enfermedad pulmonar o cardíaca crónica y problemas obstructivos crónicos como la enfermedad isquémica del corazón (Horwell y Baxter, 2006); (Hansell, Horwell y Oppenheimer, 2006).

La enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) es una reacción del pulmón a partículas de polvo después de la exposición prolongada que eventualmente conduce al estrechamiento irreversible de las vías respiratorias y la hipersecreción mucosa crónica (Calverley y Walker, 2003). Asimismo una forma de neumoconiosis no específica también puede desarrollarse a partir de una alta exposición crónica a los polvos de silicato, una condición no muy diferente de la silicosis, pero menos dañino (Calverley y Walker, 2003). No hay casos humanos de silicosis u otros trastornos pulmonares crónicos debido a la ceniza volcánica que se hayan reportado, pero muy pocos de los estudios incluyen las consecuencias para la salud a largo plazo de la exposición, ya que estudios de este tipo son costosos y difíciles de ejecutar, especialmente en los países en vías de desarrollo o en las comunidades remotas.

Se debe mencionar que el pulmón posee más de 40 tipos de células, cada una con su propia función especializada (Mossman, 1993). Las células epiteliales se alinean en las vías respiratorias de los pulmones actuando como una barrera de protección de las vías respiratorias, los fibroblastos son responsables de la producción de colágeno; tanto las células epiteliales y fibroblastos son las células diana de la enfermedad inducida por minerales.

(Mossman, 1993). Las partículas quedan atrapadas en su mayoría por el moco que cubre las paredes de las vías respiratorias. Las células epiteliales ciliadas se encargan de mover el moco que contiene partículas atrapadas, llevándolas hasta la garganta en donde el moco es eliminado por la deglución o expectoración. (Holt, 1987).

El riesgo de desarrollar cambios radiológicos de silicosis ha sido estimado en 0,1% para la población luego de 20 años de exposición, se encontró que el trabajar al aire libre por ejemplo los jardineros pueden tener exposiciones de cenizas más altas, lo que resulta en un aumento de los riesgos de 2-3% y hasta el 10% (Searl, Nicholl y Baxter, 2002), reportándose que ninguna anomalía pulmonar ha sido identificada por las radiografías de tórax después de los primeros 9 años de erupción.

Debido a los claros antecedentes de afectación a la salud respiratoria en personas expuestas crónicamente a la inhalación de ceniza volcánica, diseñamos este estudio para detectar indicios de afectación respiratoria en la población expuesta crónicamente a cenizas del volcán Tungurahua en la sierra central de Ecuador.

## **OBJETIVO GENERAL**

Determinar las diferencias existentes en la salud respiratoria en las poblaciones de Pillate, El Manzano y Choguntus con exposición crónica a la ceniza volcánica y compararla con poblaciones sin exposición crónica a la ceniza volcánica.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Comparar y establecer las posibles diferencias de la FEV 1 en poblaciones expuestas y no expuestas.

Determinar la prevalencia de problemas obstructivos respiratorios pulmonares??? de las comunidades expuestas a la inhalación de cenizas volcánicas.

Comparar la saturación de oxígeno entre las poblaciones con y sin exposición a ceniza volcánica.

Determinar la relación de incidencia de síntomas y enfermedades respiratorias agudas y crónicas en poblaciones con y sin exposición a ceniza volcánica.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Diseño del estudio**

Este es un estudio observacional de cohorte retrospectivo formado por dos grupos: el primero por individuos radicados en las comunidades con exposición crónica a cenizas volcánicas: Pillate, Choguntus y El Manzano, y el segundo grupo por la comunidad de Baños, población no expuesta de forma regular a la inhalación de ceniza. Se utilizó además una encuesta como técnica de recolección de datos sociodemográficos y sobre síntomas y enfermedades respiratorias.

### **Tamaño de la muestra**

Para la estimación del tamaño muestral se tomó el total poblacional de sujetos habitantes en las regiones expuestas a las cenizas del volcán Tungurahua pertenecientes a las comunidades de Choguntus, Pillate, y El Manzano cuya población es de 2370 habitantes. Se realizó un estudio piloto con dos grupos, grupo 1 conformado por personas expuestas a la inhalación de ceniza y el grupo 2 el de los no expuestos, cada uno formado por 30 sujetos, obteniéndose para el grupo de los no expuestos una FEV1 disminuida en un 1,5% y de expuestos un 10%.

Con los resultados del estudio piloto, se realizó el cálculo muestral mediante el programa Open Epi versión 3.03, con un nivel de confianza del 95% y una potencia del 80%, se utilizó la Fórmula de Fleiss (Dean, Sullivan y Soe, 2014); obteniéndose un valor de 218 sujetos como tamaño muestral; 109 sujetos para el grupo de expuestos y 109 sujetos para el grupo de no expuestos. Se seleccionaron dicha cantidad de sujetos de las comunidades de Choguntus, Pillate y El Manzano. Para contrastar estos sujetos expuestos a cenizas, se seleccionó la muestra de sujetos no expuestos de la comunidad de Baños.

El procedimiento para la selección de los sujetos fue mediante un muestreo por conglomerados, se inició con la toma de muestra desde el parque central de cada comunidad siguiendo la trayectoria de la vía mediante combinaciones lineales (casas impares).

**Criterios de inclusión:** individuos que hayan vivido en la zona no menos de 5 años y en la área geográfica de menos de 20 km a la redonda del volcán Tungurahua, individuos mayores de 10 años y que hayan aceptado y firmado del consentimiento informado.

**Criterios de exclusión:** familias inmigrantes, antecedentes de tabaquismo, y condiciones en que la realización de la espirometría era contraindicada: personas con enfermedades previas diagnosticadas como neumotórax, traqueotomía, no comprensión de la maniobra (ancianos, niños), estado físico o mental deteriorado, individuos con algún tipo de discapacidad mental que inhabilite el proceso de consentimiento informado.

Medición de la FEV1: Se realizó mediante espirómetro manual portátil (Microlife PF 100 Peak Flow Meter for Spirometry with FEV1) la medición de la relación FEV1/FVC a los 218 participantes del estudio. Para cada sujeto se utilizaron boquillas desechables para espirómetro Microlife PF 100.

Medición de la saturación de oxígeno: Se midió la saturación de oxígeno en el dedo con un oxímetro (CMS 50-DL Pulse Oximeter with Neck/Wrist cord). Se consideró normal a valores de saturación de oxígeno sobre 90%.

Recolección de datos: Se validó una encuesta de la European Community respiratory Health Survey II ([www.ecrhs.org](http://www.ecrhs.org)), donde se extrajeron preguntas que guardaban relación con este estudio, encuesta de 2 hojas correspondientes a 20 preguntas, organizado por un primer bloque de preguntas generales: edad, sexo, ocupación, nivel de instrucción y un segundo bloque sobre antecedentes de los últimos 3 meses sobre salud respiratoria, alergias, sintomatología y enfermedades.

Medición de ceniza volcánica: se tomó los reportes del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional ([www.igepn.edu.ec](http://www.igepn.edu.ec)) considerándose como valores aceptables de normalidad para un aire respirable la concentración de macropartículas  $<150 \text{ mcg/m}^3$ .

## **Análisis estadístico**

Los datos obtenidos fueron analizados mediante el Paquete Estadístico para Ciencias Sociales SPSS versión 20, para Windows (SPSS Inc. Chicago, IL). Las variables cualitativas fueron presentadas como frecuencias absolutas y relativas (porcentaje), se calcularon riesgos relativos (RR) con sus respectivos intervalos de confianza del 95% para evaluar diferencias de riesgos entre grupos, se aplicó la prueba de  $\chi^2$  cuadrado para la determinación de la independencia de variables cualitativas. Para las variables continuas se calcularon medidas de tendencia central como promedios y medianas con sus respectivas estadísticas de dispersión. Se aplicó la prueba de Kolmogorov Smirnov como prueba de normalidad, obteniéndose una distribución normal de las variables cuantitativas, por lo que fueron representadas como medias  $\pm$  desviación estándar, se utilizó la prueba de t de student para la comparación entre las medias de dos grupos o ANOVA de un factor para comparación de medias entre 3 o más grupos. Se consideraron resultados estadísticamente significativos cuando  $p < 0,05$ .

## RESULTADOS

### Características generales de la población estudiada

La muestra total de participantes estuvo conformada por 218 sujetos, de los cuales 109 estuvieron expuestos a cenizas y 109 controles no expuestos de manera notable (muestra control). El comportamiento de las características sociodemográficas de la población estudiada se muestra en la **Tabla 1**. El 51,8% (n=113) fueron mujeres y el 48,2% (n=105) hombres. La edad más frecuente fue la del grupo de 10 a 20 años con un 32,1% (n=70). La ocupación más frecuente fue la agricultura con el 49,5% (n=108). En cuanto al estado civil, la unión libre fue la más frecuente con el 40,4% (n=88), por otra parte la educación primaria fue el nivel educativo más frecuente con el 57,3% (n=125).

**Tabla 1. Características generales de población estudiada.**

<b>Variables sociodemográficas</b>	<b>Sin exposición a cenizas</b>		<b>Expuesto a cenizas</b>		<b>Total</b>		<b><math>\chi^2</math> (p)*</b>
	<b>n</b>	<b>%</b>	<b>n</b>	<b>%</b>	<b>n</b>	<b>%</b>	
<b>Sexo</b>							0,011 (0,916)
Femenino	53	51,5	60	52,2	113	51,8	
Masculino	50	48,5	55	47,8	105	48,2	
<b>Grupos etarios (años)</b>							8,443 (0,77)
10-20	40	38,8	30	26,1	70	32,1	
21-40	24	23,3	27	23,5	51	23,4	
41-60	15	14,6	34	29,6	49	22,5	
61-80	17	16,5	18	15,7	35	16,1	
81 y más	7	6,8	6	5,2	13	6,0	
<b>Ocupación</b>							22,380 (<0,001)
Agricultura	41	39,8	67	58,3	108	49,5	
Comerciante	14	13,6	4	3,5	18	8,3	
Oficios del Hogar	36	35,0	18	15,7	54	24,8	
Otros	12	11,7	26	22,6	38	17,4	
<b>Estado civil</b>							2,469 (0,688)
Soltero	37	35,9	33	28,7	70	32,1	
Casado	27	26,2	27	23,5	54	24,8	
Unión Libre	37	35,9	51	44,3	88	40,4	
Viudo	2	1,9	4	3,5	6	2,8	
<b>Nivel educativo</b>							0,688 (0,709)
Sin Instrucción	33	32,0	41	35,7	74	33,9	
Primaria	62	60,2	63	54,8	125	57,3	
Secundaria	8	7,8	11	9,6	19	8,7	
<b>Total</b>	<b>103</b>	<b>100,0</b>	<b>115</b>	<b>100,0</b>	<b>218</b>	<b>100,0</b>	

\* $\chi^2$  asociación estadísticamente significativa cuando  $p < 0,05$

Tabla 2. Patologías respiratorias y exposición a cenizas del volcán Tungurahua

Antecedente personal	Sin exposición a cenizas		Expuesto a cenizas		Total		RR (IC 95%)
	n	%	n	%	n	%	
<b>Asma bronquial</b>							10,78
No	102	99,0	104	90,4	206	94,5	(1,36-85,09)
Si	1	1,0	11	9,6	12	5,5	
<b>Síndrome Gripal</b>							0,93
No	73	70,9	83	72,2	156	71,6	(0,52-1,69)
Si	30	29,1	32	27,8	62	28,4	
<b>Sinusitis</b>							0,88
No	96	93,2	108	93,9	204	93,6	(0,30-2,62)
Si	7	6,8	7	6,1	14	6,4	
<b>Bronquitis</b>							0,51
No	103	100,0	111	96,5	214	98,2	(0,41-0,59)
Si	0	0	4	3,5	4	1,8	
<b>Neumonía</b>							1,46
No	98	95,1	107	93,0	205	94,0	(0,46-4,63)
Si	5	4,9	8	7,0	13	6,0	
<b>EPOC</b>							0,89
No	100	97,1	112	97,4	212	97,2	(0,17-4,52)
Si	3	2,9	3	2,6	6	2,8	
<b>Uso de mascarilla</b>							0,51
No	103	100,0	111	96,5	214	98,2	(0,45-0,59)
Si	0	0	4	3,5	4	1,8	
<b>Enfermedad se desarrolló previo a la ceniza</b>							1,22
No	16	15,5	15	13,0	31	14,2	(0,57-2,62)
Si	87	84,5	100	87,0	187	85,8	
<b>Enfermedad durante la ceniza</b>							1,73
No	16	15,5	11	9,6	27	12,4	(0,76-3,94)
Si	87	84,5	104	90,4	191	87,6	
<b>Enfermedad empeoró con la ceniza</b>							2,46
No	16	15,5	8	7,0	24	11,0	(1,01-6,01)
Si	87	84,5	107	93,0	194	89,0	
<b>Antecedente Familiar de cáncer de pulmón</b>							0,46
No	101	98,1	115	100,0	216	99,1	(0,40-0,53)
Si	2	1,9	0	0	2	0,9	
<b>Total</b>	<b>103</b>	<b>100,0</b>	<b>115</b>	<b>100,0</b>	<b>218</b>	<b>100,0</b>	

En la **Tabla 2** se muestra el análisis de patologías respiratorias asociadas a la exposición de ceniza, donde se evidencia riesgo elevado entre la exposición a cenizas y el antecedente de asma bronquial (RR: 10,78; IC 95%: 1,36-85,09) y el empeoramiento de patología de base con la exposición a cenizas (agravamiento de la enfermedad de base tras exposición a cenizas volcánicas) (RR: 2,46; IC 95%: 1,01-6,01).

### Sintomatología respiratoria y exposición a cenizas del Volcán Tungurahua.

En la **Tabla 3** se aprecia el comportamiento de los datos sobre sintomatología respiratoria según la exposición o no a cenizas tras la evaluación durante los últimos 3 meses, donde puede observarse un riesgo relativo aumentado entre la tos y la exposición a cenizas (RR: 8,66; IC 95%: 1,07–69,58) donde presentaron un 48,7% de tos aquellos que están expuestos con respecto a un 21,4% en los sujetos no expuestos. Asimismo se observó una mayor frecuencia de irritación ocular en los sujetos expuestos con respecto a los no expuestos (expuestos: 82,6% vs no expuestos: 4,9%); con un riesgo relativo elevado (93,10; IC 95%: 33,57–258,13). Por su parte la irritación de garganta también mostró un riesgo elevado (RR: 46,94; IC 95%: 19,41–113,52), con una mayor frecuencia de irritación en aquellos sujetos expuestos a cenizas con el 77,6% comparado a un 6,8% en los sujetos sin exposición a cenizas. Por su parte, las alergias de igual forma mostraron un riesgo elevado de acuerdo a la exposición de cenizas (RR: 10,78; IC 95%: 1,36–85,09), con una mayor frecuencia de alergias en los sujetos expuestos (9,6%) que los individuos sin exposición (1,0%).

### Alteraciones espirométricas y exposición a cenizas del Volcán Tungurahua.

Se evidenció que el 95,4% de los sujetos estudiados presentó un valor de FEV1 en rangos normales; siendo los individuos sin exposición los que presentaron mayor porcentaje (99,0%; n=102) con respecto a los sujetos expuestos a cenizas (92,2%; n=106) (**Tabla 4**). Por otra parte los sujetos expuestos a cenizas mostraron una mayor prevalencia de patrón obstructivo

leve del 4,3% (n=5) con respecto a los individuos sin exposición que presentaron un 1,0% (n=5) de dicho patrón, así como los sujetos expuestos mostraron un 3,5% (n=4) de patrón restrictivo mientras que los sujetos sin exposición no presentaron ningún caso (0%). Los sujetos expuestos a cenizas tuvieron un riesgo relativo de 8,66 veces para presentar una espirometría alterada (RR: 8,66; IC 95%: 1,07–69,58) (Tabla 4).

**Tabla 3. Comportamiento de las variables respiratorias según la exposición a la inhalación crónica de cenizas del Volcán Tungurahua.**

Examen funcional	Sin exposición a cenizas		Expuesto a cenizas		Total		RR
	n	%	n	%	n	%	
<b>Disnea</b>							1,59
No	91	88,3	95	82,6	186	85,3	(0,73-3,45)
Si	12	11,7	20	17,4	32	14,7	
<b>Tos</b>							3,49
No	81	78,6	59	51,3	140	64,2	(1,92-6,34)
Si	22	21,4	56	48,7	78	35,8	
<b>Irritación ocular</b>							93,10
No	98	95,1	20	17,4	118	54,1	(33,57-258,13)
Si	5	4,9	95	82,6	100	45,9	
<b>Cefalea</b>							1,27
No	98	95,1	108	93,9	206	94,5	(0,39-4,13)
Si	5	4,9	7	6,1	12	5,5	
<b>Náuseas</b>							0,21
No	99	96,1	114	99,1	213	97,7	(0,02-1,97)
Si	4	3,9	1	0,9	5	2,3	
<b>Irritación de garganta</b>							46,94
No	96	93,2	26	22,6	122	56,0	(19,41-113,52)
Si	7	6,8	89	77,4	96	44,0	
<b>Rinorrea</b>							1,74
No	96	93,2	102	88,7	198	90,8	(0,66-4,56)
Si	7	6,8	13	11,3	20	9,2	
<b>Congestión nasal</b>							2,28
No	98	95,1	103	89,6	201	92,2	(0,77-6,72)
Si	5	4,9	12	10,4	17	7,8	
<b>Broncoespasmo</b>							0,51
No	103	100,0	109	94,8	212	97,2	(0,45-0,58)
Si	0	0	6	5,2	6	2,8	
<b>Expectoración</b>							1,74
No	96	93,2	102	88,7	198	90,8	(0,66-4,56)
Si	7	6,8	13	11,3	20	9,2	
<b>Escalofrío</b>							3,67
No	102	99,0	111	96,5	213	97,7	(0,40-33,43)
Si	1	1,0	4	3,5	5	2,3	
<b>Alergias</b>							10,78
No	102	99,0	104	90,4	206	94,5	(1,36-85,09)

Si	1	1,0	11	9,6	12	5,5
<b>Total</b>	<b>103</b>	<b>100,0</b>	<b>115</b>	<b>100,0</b>	<b>218</b>	<b>100,0</b>

**Tabla 4. Alteraciones espirométricas según la exposición a la inhalación crónica de cenizas del Volcán Tungurahua**

Alteración espirométrica	Sin exposición a cenizas		Expuesto a cenizas		Total		RR
	n	%	n	%	n	%	
<b>Tipo de patrón espirométrico</b>							-
Normal	102	99,0	106	92,2	208	95,4	-
Patrón Obstructivo Leve	1	1,0	5	4,3	6	2,8	-
Patrón Restrictivo	0	0	4	3,5	4	1,8	-
<b>Alteración Espirométrica</b>							8,66
Normal	102	46,8	106	48,6	208	95,4	(1,07-69,58)
Alterada*	1	0,5	9	4,1	10	4,6	
<b>Total</b>	<b>103</b>	<b>100,0</b>	<b>115</b>	<b>100,0</b>	<b>218</b>	<b>100,0</b>	

Espirometría Alterada: (Patrón obstructivo leve + Patrón Restrictivo).

### Oximetría y exposición a cenizas del Volcán Tungurahua.

Los sujetos no expuestos a cenizas volcánicas presentaron  $94,09 \pm 2,39\%$  de saturación de oxígeno, mientras que los sujetos con exposición a cenizas presentaron un valor ligeramente inferior de  $93,38 \pm 1,24\%$  de saturación de oxígeno. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas ( $p=0,426$ ). .

## DISCUSIÓN

Hacer nuevamente una breve descripción del problema:

Las personas expuestas a ceniza volcánica... máximo un párrafo con 4-5 oraciones.

En el presente estudio, la edad más frecuente de la población de estudio fue de 10 a 20 años de edad; sin embargo, los sujetos con edad mayor o igual a 61 años mostraron un riesgo significativo para alteraciones espirométricas.

Pensamos que la población de adultos mayores está más expuesta a la inhalación de ceniza por su mayor edad que corresponde a más años de exposición. En esta población también se encontró personas que no recordaban con exactitud el tiempo en el que habitan en la zona y eso complica la correlación de edad con el tiempo de exposición.

los agricultores son el grupo laboral con mayor exposición a la ceniza volcánica, siendo la agricultura una de las actividades más importantes en esta población. Además de los problemas de salud, este grupo ocupacional se ve afectado por el efecto deletéreo de la ceniza en los cultivos y animales de granja. siembras, en sus terrenos y en su vegetación tras la caída de ceniza volcánica en la zona (REF).

En lo que respecta a las patologías respiratorias más frecuentes en nuestra población de estudio, encontramos una asociación estadísticamente significativa entre el antecedente de asma y la exposición a ceniza; así como un mayor reporte de que la enfermedad de base empeoró tras la caída de ceniza volcánica. Se demostró que los sujetos expuestos crónicamente a ceniza volcánica mostraron una mayor prevalencia de patrón obstructivo leve en sus espirometrías en comparación con la población no expuesta crónicamente, así mismo el patrón restrictivo se mostró solo en la población expuesta.

Además en este estudio se observó que la tos, la irritación ocular, la irritación de garganta y las alergias fueron los síntomas más frecuentes en los sujetos expuestos a ceniza volcánica.

La debilidad de este estudio fue no haber estudiado la composición química y mineral de la ceniza, sin embargo según datos obtenidos del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional en un estudio realizado en esta población; se ha reportado que la ceniza del volcán Tungurahua se compone de óxidos de diferente tipo: óxido de silicio, aluminio, hierro, óxido de magnesio, óxido de calcio, óxido de sodio, óxido de potasio, óxido de titanio, óxido de fósforo y óxido de manganeso (Madero et al., 2013).

Al hablar de los problemas respiratorios a largo plazo, existe preocupación por la silicosis, un tipo nodular de fibrosis pulmonar (Donovan y Oppenheimer, 2010). Para ello, tres condiciones tienen que presentarse, primero: una alta proporción de partículas finas en la ceniza; segundo: una alta concentración de sílice cristalina; y tercero: tiene que haber la exposición a cenizas durante un período de años o décadas en cantidades significativas. Sin embargo, no se han reportado casos de silicosis en poblaciones expuestas a ceniza volcánica (Horwell y Baxter 2006). Erupciones del volcán Pinatubo en Filipinas y del Monte Santa Elena en Estados Unidos, han reportado que su ceniza contenía un 3 a 7% de sílice cristalino, esta exposición a altas concentraciones de ceniza, además permanente y por varios años; se podría relacionar potencialmente con silicosis (Sierra, 2012). Reconociendo estos antecedentes, aunque no se tienen reportes de esta enfermedad, se sugiere tomar medidas preventivas ante la exposición crónica a ceniza, una vigilancia constante de la actividad volcánica, así como medidas de protección en poblaciones cercanas a los volcanes y expuestas a ceniza volcánica.

En este estudio se encontró alteraciones espirométricas en un 4,6% de la población???, la cual mostró una asociación estadísticamente significativa ante la exposición a las cenizas volcánicas. Asimismo la exposición a cenizas presentó un riesgo relativo 8,66 veces para una espirometría alterada. En Ecuador pocos estudios de salud relacionados con el volcán Tungurahua se han reportado, siendo uno de los acontecimientos más importantes la caída de

ceniza en Octubre de 1999, lo que provocó la evacuación de 26.000 personas de la zona rural a favor del viento del volcán. El Ministerio de Salud de Ecuador comparó la incidencia de enfermedad respiratoria después de la erupción con los datos de años anteriores y los resultados indicaron que la incidencia de infecciones del tracto respiratorio superior e inferior se incrementó en más del doble entre los dos periodos de estudio. Un estudio del Ministerio en niños evacuados encontró de igual manera un aumento en las tendencias de afección respiratoria, las mismas que se iban incrementando con el tiempo. (OPS, 2000;)Tobin y Whiteford, 2001).

La ceniza del Tungurahua en el año 1999 se parecía mucho a la ceniza del Volcán Soufrière Hills en el tamaño de la partícula y la concentración de sílice cristalina (Baxter, 2003). Por otra parte, la actividad del volcán Guagua Pichincha, también en la sierra andina del Ecuador, comenzó a escalar en 1998 y dos lluvias de cenizas de tamaño moderado se produjeron en Quito el 5 de octubre y el 25 de noviembre de 1999. Un estudio epidemiológico mostró un incremento en las condiciones agudas del estado de salud en Quito durante este período (Naumova et al., 2007).

La erupción del volcán El Reventador el 03 de noviembre del año 2002; se tradujo en una caída de ceniza moderada en Quito de una cantidad de 3 a 4 mm y en las comunidades circundantes 3-5 cm; la erupción duró del 03 al 21 de noviembre y las preocupaciones surgieron debido a que las emisiones de ceniza y gas del volcán, situado a 80 km al noreste de Quito, estaban afectando a la calidad del aire y a la salud de la población en Quito. Sin embargo, los hospitales informaron que el impacto en la salud había sido pequeño, reportando un ligero aumento en el número de pacientes con problemas de las vías respiratorias altas y bajas; por informes se identificó que la mayoría de heridas y muertes fueron producidas por caídas desde los techos durante la limpieza de la ceniza. (Baxter, 2003).

Pocos estudios han evaluado el comportamiento de la FEV1 de acuerdo a la inhalación de cenizas volcánicas. En nuestro estudio se encontró una disminución significativa entre el porcentaje de espirometrías normales en el grupo sin exposición (99,0%) y el grupo expuesto a cenizas (92,2%). Algunos

autores no han evidenciado asociación en las funciones espirométricas y la exposición a las cenizas (Benítez et al., 2014); no encontraron diferencias en FEV1 pre-broncodilatador ( $p=0,30$ ) y FEV1 post-broncodilatador ( $p=0,19$ ) tras la erupción del complejo volcánico Puyehue-Cordón Caulle, situado en el norte de la Patagonia chilena, el cual comenzó un ciclo eruptivo emitiendo un enorme volumen de cenizas. Los vientos dispersaron este material en sentido sudeste afectando a la ciudad de San Carlos de Bariloche, Argentina. En un estudio realizado por Rojas y colaboradores (Rojas et al. 2001), estudiaron durante 7 meses a la población expuesta a las cenizas del Volcán Popocatepetl en México en el año 1994 y 1995. Reportaron una disminución significativa de la capacidad vital forzada (FVC) y la FEV1 al momento de la erupción, pero esto se consideró como hallazgos agudos ya que 7 meses luego los valores de su capacidad vital forzada y de FEV1 fueron normales, lo que nos indica que la exposición a cenizas volcánicas está asociada con una inflamación reversible de las vías aéreas. Resultados similares fueron reportados en un estudio prospectivo de cohorte a 4 años de la erupción del volcán St. Helens (Buist, Vollmer, Johnson, Bernstein y McCamant, 1986).

Sin embargo en nuestro estudio, los hallazgos traducen una disminución de la FEV1 de manera tardía, lo que sugiere un componente de inflamación crónica posterior a la exposición a cenizas por lo que se deben realizar estudios prospectivos que evalúen el comportamiento de los parámetros de función respiratoria ante la exposición crónica de cenizas volcánicas.

Nuestro estudio buscó analizar la información existente sobre el impacto que causan los volcanes en todo el mundo, con especial enfoque al impacto que causa la exposición a la ceniza en poblaciones cercanas que habitan cerca a los volcanes. Al comparar con una población no expuesta, nos damos cuenta del impacto que a lo largo de los años esto provoca; he ahí la importancia de tomar medidas preventivas ante nuevos eventos de esta naturaleza, poner en alerta a las autoridades y a la población que habita en estas zonas más susceptibles, de igual manera se recomienda evitar nuevos asentamientos de poblaciones en las zonas vulnerables y con alta exposición a ceniza volcánica, previniendo así esa exposición a ceniza ante futuras erupciones.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

- Diversas alteraciones respiratorias se encuentran asociadas a la exposición de cenizas tales como asma bronquial, empeoramiento de patología de base con la exposición a cenizas, tos, irritación de garganta, y alergias.
- Se concluye que las alteraciones espirométricas son más frecuentes en los sujetos expuestos a cenizas volcánicas.
- La exposición a cenizas volcánicas aumentan 8,66 veces el riesgo de presentar alteraciones espirométricas.
- Protección del sistema respiratorio mediante el uso de mascarillas comerciales o un pañuelo de tela húmedo para cubrir nariz y boca.
- En caso de abundante ceniza, las personas con enfermedades crónicas como asma, EPOC se recomienda permanecer en sus viviendas.

## REFERENCIAS

- Ansmann, A., Tesche, M., Gross, S., et al. (2010). The 16 April 2010 major volcanic ash plume over central Europe: EARLINET lidar and AERONET photometer observations at Leipzig and Munich, Germany. *Geophys Res Lett*, 37: L13810.
- Baxter, P.J., (1986). Preventive Health Measures in Volcanic Eruptions. *American Journal of Public Health* 76 (1986) Supplement: pp. 84-90
- Baxter, P.J. (2003). The eruption of El Reventador volcano 2002: health hazards and the implications for volcano risk management in Ecuador. Report to the Pan-American Health Organization, Washington DC.
- Baxter, P.J., Bonadonna, C., Dupree, R., et al. (1990). Cristobalite in volcanic ash of the Soufrière Hills Volcano, Montserrat, British West Indies. *Science*, 283: pp. 1142–1145.
- Baxter, P.J., Ing, R., Falk, H., et al. (1981). Mount St. Helens eruption, May 18 to June 12, 1980. An overview of the acute health impact. *JAMA*, 246: pp. 2585–2589.
- Baxter, P.J., Ing, R., Falk, H. y Plikaytis, B. (1983). Mount St. Helens eruptions: the acute respiratory effects of volcanic ash in a North American community. *Arch Environ Health*, 38: pp.138–43.
- Benítez, S., Sobrino, E., Calandrelli, M., Gutiérrez, L., Irazola, V. y Rubinstein, A. (2014). Efectos de la ceniza volcánica sobre la función pulmonar en una cohorte de personas mayores de 45 años en Bariloche, Argentina. *RAMR* 4: pp. 411-416.
- Briem, H. (2010). Rannsókn á heilsufarsáhrifum gosösku frá Eyjafjallajökli (in Icelandic). *Farsóttufréttir*, 6:1–2. Recuperado el 22 de Febrero del 2015 de: <http://www.landlaeknir.is/pages/275>.
- Buist, A.S., Johnson, L.R., Vollmer, WM., Sexton, G.J. y Kanarek, P.H. (1983). Acute effects of volcanic ash from Mount Saint Helens on lung function in children. *Am Rev Respir Dis*, 127: pp. 714–719.

- Buist, A.S., Vollmer, W.M., Johnson, L.R., Bernstein, R.S. y McCamant, L.E. (1986). A four-year prospective study of the respiratory effects of volcanic ash from Mt. St. Helens. *Am Rev Respir Dis*, 133 (4): pp. 526–534.
- Calverley, P. y Walker, P. (2003). Chronic obstructive pulmonary disease. *Lancet* 352: pp. 1053–1061.
- Cullen, R.T., Jones, A.D., Miller, B.G., Donaldson, K., Davis, J.M., Wilson, M. y Tran, C.L. (2002). Toxicity of volcanic ash from Montserrat. Institute of Occupational Medicine, Edinburgh, pp. 55
- Davies, SM., Larsen, G., Wastegard, S., et al. (2010). Widespread dispersal of Icelandic tephra: how does the Eyjafjöll eruption of 2010 compare to past Icelandic events? *J Quat Sci*, 5: pp. 605–611.
- Dean, AG., Sullivan, KM. y Soe, MM. (2014). OpenEpi: Open Source Epidemiologic Statistics for Public Health, Versión 3.03. [www.OpenEpi.com](http://www.OpenEpi.com), actualizado 2014/09/22, accedido 2015/03/23.
- Donovan, A.R. y Oppenheimer, C. (2010). The 2010 Eyjafjallajökull eruption and the reconstruction of geography. *Geogr J*, pp. 1–8.
- Durand, M. y Grattan, J. (1999). Extensive respiratory health effects of volcanogenic dry fog in 1783 inferred from European documentary sources. *Environ Geochem Health*, 21: pp. 371–376.
- Forbes, L., Jarvis, D., Potts, J. y Baxter, PJ. (2003). Volcanic ash and respiratory symptoms in children on the island of Montserrat, British West Indies. *Occup Environ Med*, 60: pp. 207–211.
- Fubini, B. y Wallace, W.E. (1999). Modulation of silica pathogenicity by surface processes. In: Papirer E (ed) *Absorption on silica surfaces*. Mulhouse, France, pp. 645–664.
- Grattan, J.P., Durand, M. y Taylor, S. (2003). Illness and elevated human mortality coincident with volcanic eruptions. In: Oppenheimer C, Pyle DM, Barclay J, editors. *Volcanic Degassing*. Special Publication 213. London, Geological Society, pp. 401–414.
- Grattan, J., Rabartin, R., Self, S. y Thordarson, T. (2005). Volcanic air pollution and mortality in France 1783–1784. *Comptes Rendus Geosci*, 337: pp. 641–651.

- Gudmundsson, M.T., Larsen, G., Hoskuldsson, A. y Gylfason, A.G. (2008). Volcanic hazards in Iceland. *Jökull*, 58: 251–268.
- Gudmundsson, M.T., Pedersen, R., Vogfjörð, K., Thorbjarnardóttir, B., Jakobsdóttir, S. y Roberts, M.J. (2010). Eruptions of Eyjafjallajökull volcano, Iceland. *Eos*, 91: pp. 190–191.
- Halliwell, B. (1984). Oxygen radicals: a commonsense look at their nature and medical importance. *Med Biol* 62: pp.71–77.
- Hansell, A.L., Horwell, C.J. y Oppenheimer, C. (2006). The health hazards of volcanoes and geothermal areas. *Occup Environ Med*, 63: pp. 149–156.
- Hansell, A. y Oppenheimer, C. (2004). Health hazards from volcanic gases: a systematic literature review. *Arch Environ Health*, 59: pp. 628–639.
- Holt, P.F. (1987) Inhaled dust and disease. Wiley, pp. 325.
- Hansen, K. y Mossman, B.T. (1987). Generation of superoxide (O<sub>2</sub><sup>-</sup>) from alveolar macrophages exposed to asbestiform and nonfibrous particles. *Cancer Res* 47: pp. 1681–1686.
- Hornung, V., Bauernfeind, F., Halle, A., Samstad, E., Kono, H., Rock, K., Fitzgerald, A. y Latz, E. (2008). Silica crystals and aluminum salts activate the NALP3 inflammasome through phagosomal destabilization. *Nature Immunology*. Vol 9-Núm. 8: pp. 847-855.
- Horwell, C. Guía de preparación antes, durante y después de una lluvia de cenizas, pp. 4-9
- Horwell, C.J., Fenoglio, I., Vala, K., Sparks, R.S. y Fubini, B. (2003). Surface reactivity of volcanic ash from the eruption of Soufrière Hills volcano, Montserrat, West Indies with implications for health hazards. *Environ Res*, 93: pp. 202–215.
- Horwell, C.J., Le Blond, J.S., Michnowicz, S.A.K. y Cressey, G. (2010). Cristobalite in a rhyolitic lava dome: evaluation of ash hazard. *Bull Volcanol*. 2010, 72: pp. 249–253
- Horwell, C.J. y Baxter, P.J. (2006). The respiratory health hazards of volcanic ash: a review for volcanic risk mitigation. *Bull Volcanol*, pp. 1–24.
- Institute of Earth Sciences. (2010). Eruption in Eyjafjallajökull. Recuperado de: [http://www.earthice.hi.is/page/ies\\_Eyjafjallajokull\\_eruption](http://www.earthice.hi.is/page/ies_Eyjafjallajokull_eruption). University of Iceland.

- Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. (2014). Recuperado de:  
<http://www.igepn.edu.ec>
- Lehnert, BE. (1993). Defense mechanisms against inhaled particles and associated particle-cell interactions. In: Guthrie GDJ, Mossman BT (eds) Health effects of mineral dusts. Reviews in mineralogy. Mineralogical Society of America, Washington DC, pp. 425–469.
- Le Pennec, J.L., Samaniego, P., Eissen, J.P., Hall, ML., Molina, C.I., Robin, C., Mothes, P., Yepes, H., Ramón, P., Monzier, M. y Egred, J. (2005). Los peligros volcánicos asociados con el volcán Tungurahua. Segunda edición modificada y aumentada. Quito, Ecuador: Corporación Editora Nacional, IG-EPN, IRD. pp: 118-122.
- Madero, J.O., Valle, L., Rodríguez, A., Ordoñez, S., Enríquez, M., Miranda, O., Álvarez, G., Gonzales, F. y López, R. (2013). Efectos de la exposición crónica a la ceniza volcánica emitida por el Volcán Tungurahua en Ecuador. Rev.Ecu.Med. Eugenio Espejo. Vol 2-Núm. 4: pp. 30
- Miller, TP. y Casadevall, TJ. (2000). Volcanic ash and hazards to aviation. In: Sigurdsson H, editor. Encyclopedia of Volcanoes. San Diego, Academic Press, pp. 913–930.
- Ministerio Coordinador de Conocimiento y Talento Humano, equipo de Gestión de Riesgos del Hospital de Especialidades Eugenio Espejo, Recuperado el 04 de Marzo del 2015 de:  
<http://www.talentohumano.gob.ec/recomendaciones-para-protegerse-de-la-caida-de-ceniza-volcanica/>
- Mossman, BT. (1993). Cellular and molecular mechanisms of disease. In: Guthrie GDJ, Mossman BT (eds) Health effects of mineral dusts. Reviews in mineralogy. Mineralogical Society of America, Washington DC, pp. 514–521.
- Naumova, E.N., Yepes, H., Griffiths, J.K., Sempértegui, F., Khurana, G., Jagai, JS., Játiva, E., y Estrella, B. (2007). Emergency room visits for respiratory conditions in children increased after Guagua Pichincha volcanic eruptions in April 2000 in Quito, Ecuador observational study: time series analysis. Environ Health. 6: pp. 21.

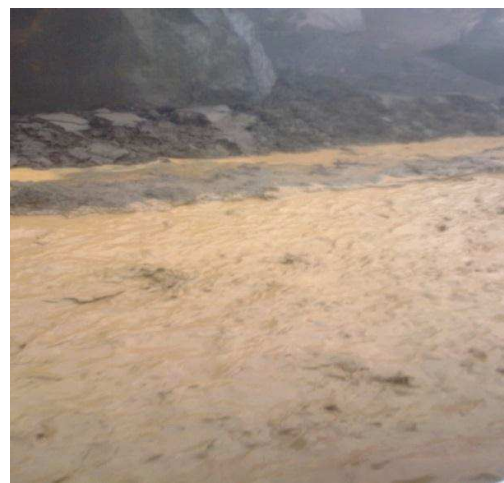
- Newnham, RM., Dirks, KN. y Samaranayake, D. (2010). An investigation into long-distance health impacts of the 1996 eruption of Mt Ruapehu, New Zealand. *Atmos Environ.* 44: pp. 1568–78.
- OPS. (2000). Erupciones volcánicas y protección de la salud. Organización Panamericana de la Salud. Quito, Ecuador.
- Red Internacional sobre los Riesgos Volcánicos para la Salud (IVHHN), Los peligros de las cenizas volcánicas para la salud. Recuperado de: [www.ivhnh.org](http://www.ivhnh.org)
- Rock, K., Latz, E., Ontiveros, F. y Kono, H. (2010) .The Sterile Inflammatory Response. *Annu. Rev. Immunol.* 28: 321-342.
- Rojas-Ramos, M., Catalan-Vazquez, A.L., Martin-Del Pozzo, E., García-Ojeda, J., Villalba-Caloca, J. y Pérez-Neria. (2001). A Seven Months Prospective Study of the Respiratory Effects of Exposure to Ash from Popocatepetl Volcano, Mexico. *Environmental Geochemistry and Health*, 23 (4): pp. 379-392.
- Rom, WN., Reibman, J., Rogers, L., Weiden, MD., Oppenheimer, B., Berger, K., Goldring, R., Harrison, D. y Prezant, D. (2010). Emerging exposure and respiratory health: World Trade Center dust. *Proc Am Thorac Soc*, 7: pp.142–145.
- Searl, A., Nicholl, A. y Baxter, P.J. (2002). Assessment of the exposure of islanders to ash from the Soufriere Hills volcano, Montserrat, British West Indies. *Occup Environ Med*, 59: pp. 523–31.
- Shi, X., Mao, Y., Daniel, L.N., Saffiotti, U., Dalal, N.S. y Vallyathan, V. (1995) Generation of reactive oxygen species by quartz particles and its implication for cellular damage. *Appl Occup Environ Hyg* 10: pp.1138–1144.
- Sierra, P. (2012). Las cenizas, gases volcánicos y la salud respiratoria. *Neumol Cir Torax*. Vol 71-Núm. 2: pp.132-138.
- Sigmundsson, F. y Hoskuldsson, A. (2010). Develop instruments to monitor volcanic ash fallout. *Nature*, 466: pp. 28.
- Sigurdsson, H. (1999). *Encyclopedia of Volcanoes*. San Diego, CA, Academic Press, pp. 1035–1043.
- Small, C. y Naumann, T. (2001). Holocene volcanism and the global distribution of human population. *Environ Hazards*, pp. 93–109.

- Thordarson, T. y Self, S. (2003). Atmospheric and environmental effects of the 1783–1784 Laki eruption; a review and reassessment. *J Geophys Res*, 108: D1. 4011, DOI:10.1029/2001JD002042.
- Tobin, G.A., Whiteford, L.M. (2001). Children's health characteristics under different evacuation strategies: The eruption of Mount Tungurahua, Ecuador. In: *Applied Geography Conference*, 24: pp. 183–191.
- Vallyathan, V., Mega, J.F., Shi, X. y Dalal, N.S. (1992). Enhanced generation of free radicals from phagocytes induced by mineral dusts. *Am J Respir Cell Mol Biol* 6: pp. 404–413.
- Weinstein, P. y Cook, A. (2005). Volcanic emissions and health. In: Komatina MM, editor. *Medical Geology: Effects of Geological Environments on Human Health. Developments in Earth and Environmental Sciences Series*. Amsterdam: Elsevier Science, pp. 203–226.
- Witham, C.S. y Oppenheimer, C. (2004). Mortality in England during the 1783–4 Laki Craters eruption. *Bull Volcanol*, 67: pp.15–26.

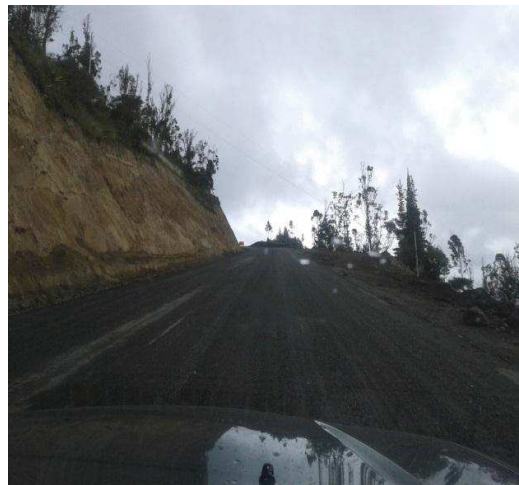
## **ANEXOS**

**ANEXOS:**

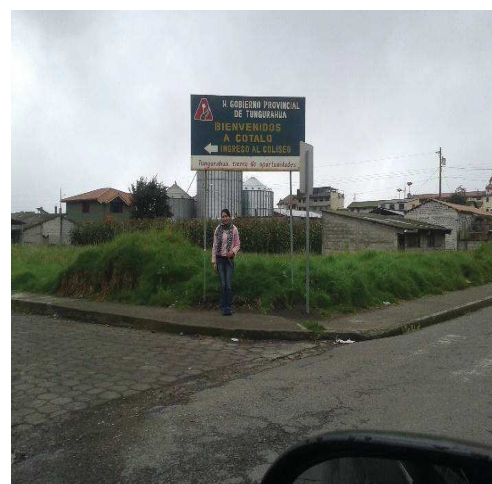
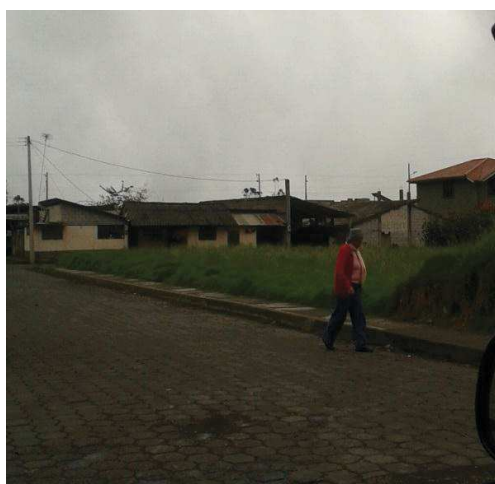




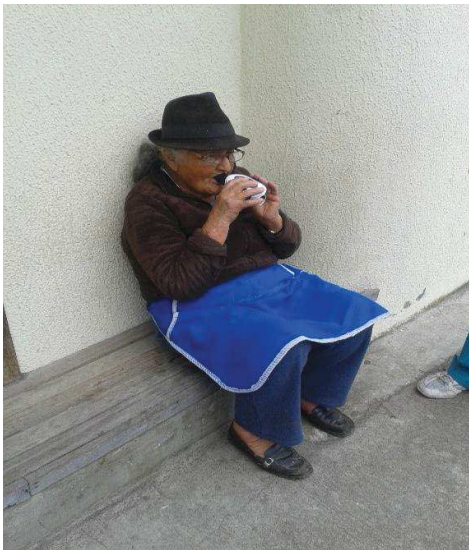














### Cuestionario de Recolección de Datos

#### Datos personales:

Sexo	Hombre	Mujer		
Edad				
Ocupación				
Estado Civil	Soltero	Casado	Viudo	Unión Libre
Nivel de instrucción	Primario	Secundario	Superior	Ninguno
Residencia	Expuesto	No Expuesto		
Ingreso promedio mensual				
Fuma	Si	No		

#### Ha presentado estos Síntomas en los últimos 3 meses:

Disnea	SI	NO
TOS	SI	NO
Irritación ocular	SI	NO
Cefalea	SI	NO
Náusea	SI	NO
Irritación de garganta	SI	NO
Rinorrea	SI	NO
Congestión nasal	SI	NO
Broncoespasmo	SI	NO
Flema	SI	NO
Fiebre	SI	NO
Escalofrío	SI	NO
Dolor torácico	SI	NO

#### Alergias

SI	NO
Recuerda a que:	----

**Le han diagnosticado alguna de estas enfermedades en los últimos 6 meses:**

ASMA	SI	NO
GRIPE COMÚN	SI	NO
SINUSITIS	SI	NO
FARINGITIS	SI	NO
BRONQUITIS	SI	NO
ENFISEMA	SI	NO
NEUMONÍA	SI	NO
EPOC	SI	NO

**Está en Tratamiento actual para esa enfermedad:**

SI	NO
----	----

**En su vida normal se cuida ante la exposición a ceniza volcánica:**

SI	NO	A veces
Uso de mascarilla de protección	SI	NO
Gafas protectoras	SI	NO
Otra protección	SI	NO

**Está preparado/a en caso de una erupción volcánica:**

SI	NO	A veces
Con materiales de protección	SI	NO
Seguridad en el hogar	SI	NO
Plan de contingencia	SI	NO

**Sobre la cocina:**

Cocina a Leña	SI	NO
Desde cuando	SIEMPRE	ULTIMAMENTE

Qué tipo de estufa utiliza principalmente para cocinar:

Carbón	
Gas	
Eléctrico	
Fogón a leña	
Microondas	
Otros	

**Características de la Enfermedad y Antecedentes:**

La enfermedad se desarrolló antes de la caída de la ceniza	<b>SI</b>	<b>NO</b>
La enfermedad se desarrolló tras la exposición a la caída de ceniza	<b>SI</b>	<b>NO</b>
Su enfermedad empeoró con la caída de ceniza	<b>SI</b>	<b>NO</b>
Ha tenido familiares que han muerto con cáncer de pulmón	<b>SI</b>	<b>NO</b>
Ha necesitado permanecer hospitalizado por algún problema respiratorio	<b>SI</b>	<b>NO</b>

Temperatura:

Altura:

Saturación de Oxígeno: