



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

EFFECTOS DE LA CAÍDA DE CENIZA EN LA BIOTA
DEL ÁREA DEL VOLCÁN DE COLIMA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

PRESENTA:

AMIEL NIETO TORRES

TUTORA

Dra. ANA LILLIAN MARTIN DEL POZZO

2008





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos:

Al Programa de Becas del Instituto de Geofísica, por el apoyo proporcionado durante la realización de esta Tesis. A DGAPA (PAPIIT) que proporcionó los recursos para el trabajo de campo. A la Secretaria de Salud del Estado de Colima y a la Secretaria de Salud del Estado de Jalisco por permitirme acceder a su base de datos. A la Dra. Ana Lillian Martin Del Pozzo por su dirección, pero sobre todo por su preocupación no sólo en el ámbito académico, sino a nivel personal. A Laura Escobar, Rita Fonseca, al Dr. Rodolfo Acuña y a Laura Hernández por sus atinados comentarios hacia esta Tesis. A Fabiola Mendiola por su apoyo durante el análisis de las muestras de ceniza. A la Unidad Estatal de Protección Civil Colima en especial a Melchor Úrsula y al 4 de la Unidad Municipal de Protección Civil Tuxpan, Jalisco por su apoyo en el trabajo de campo. A las muchachas del taller de impacto volcánico quienes colaboraron en la recolección de muestras y el trabajo de campo.

A quien le debo la vida, porque aún con treinta grados temperatura me dice que me ponga mi sweater, por que ya no quiere que trabaje en volcanes activos, mi amada mamá. A mi Virgilio que me ha guiado por los círculos de la vida y me ha enseñado que es mejor pasar por la puerta angosta, mi padre. A mi hermanita Esther, por todos esos lunes en la mañana que me llevaba a tomar el autobús de las 5:10. A Roy por rascarle tanto a esa guitarra y no dejarme dormir. A miguel por ser mi modelo, te extrañe cuando te fuiste. A Josué, por toda la infancia compartida.

A mi fiel escudero en la lucha contra los gigantes, Sir Choforo de las Torres. A Tania, por estos diez años de momentos buenos y malos, pero sobre todo por los peores. A XX por enseñarme lo que no se debe hacer. A Alanís, por su amistad y por aquel momento en el Ejido Atenquique. A mis lacayos Jack y Ricardo quienes siempre hacen el trabajo sucio. A la Pecosita, por todo su apoyo y por esas platicas en Tecocomulco. A Jazzher y Melissa quienes siempre están cerca. A mi Damita, porque, aunque no lo sabes, me recordaste la importancia que tiene sonreír, por tener las palabras precisas en el momento justo, por arreglarme.

ÍNDICE

	Página
Resumen	1
I INTRODUCCIÓN	2
Justificación	3
Objetivos	4
Hipótesis	4
Aspectos geográficos del sitio de estudio	5
Peligros a la salud	7
Variables de la erupción	10
Propiedades tóxicas de los componentes	10
Patrones de dispersión y permanencia	10
Variables biológicas	11
Afecciones en salud humana	12
Conjuntivitis	12
Cuerpos extraños	13
Dermatitis	14
Enfermedades respiratorias	14
Asma	16
Silicosis	17
Crisis nerviosas	17
II MÉTODO	18
III ANTECEDENTES DE IMPACTO VOLCÁNICO	22
Casos Volcánico	23
Volcán Ruapehu	23
Yasur	24

Ambrym	24
Santa Helena	25
Cerro Negro	26
Guagua Pichincha	26
Montserrat	27
Popocatépetl	27
Modelos experimentales	27
IV VOLCÁN DE COLIMA	28
Actividad histórica	28
Actividad reciente	33
V RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
Caída de ceniza	40
Análisis de la ceniza	42
Resultados de observaciones y encuestas	45
Resultados del procesamiento de las bases de datos de Colima y Jalisco	48
VI CONCLUSIONES	58
Referencias	60

Resumen

Este estudio se realizó para identificar el posible efecto que produce la ceniza volcánica en la biota (humanos, animales y plantas) en el área del Volcán de Colima. Se llevó a cabo durante 2005, debido a que el volcán presentó una serie de erupciones con caída de ceniza. Se estableció una red de muestreo de ceniza en las poblaciones circundantes al Volcán y se encontró que las cenizas fueron distribuidas principalmente hacia el sur. A las muestras de ceniza se les realizó un análisis granulométrico y mineralógico, con el fin de conocer la potencialidad de daño que tenían. Se estimó la altura de las columnas de las erupciones más importantes durante 2005. Por medio de las observaciones hechas y 289 entrevistas en 21 localidades alrededor del Volcán se pudieron reconocer las repercusiones que las cenizas del Volcán de Colima tuvieron en la salud de la población y algunos animales y plantas. También se procesaron 15 000 datos de la Secretarías de Salud de Colima y Jalisco, encontrándose 1 933 casos de conjuntivitis y 12 630 casos de enfermedades respiratorias a lo largo del 2005. Fue posible correlacionar enfermedades como molestias respiratorias y conjuntivitis con la caída de ceniza, cuando la emisión de cenizas aumentó, también aumentaron estas afecciones. La caída de ceniza también afectó a algunos frutales y al ganado principalmente.

I INTRODUCCIÓN

El Volcán de Colima (N 19°31', W 103° 37', 3960 msnm), conocido también como Volcán de Fuego, es considerado uno de los volcanes mas activos de Norteamérica y el mas activo de México (Yarza, 1992; Reyes *et al.*, 2002). Es un volcán andesítico situado en la parte occidental del Sistema Volcánico Transmexicano en los limites de Colima y Jalisco. Actualmente presenta erupciones con columnas de ceniza de hasta 9400 msnm.

Este estudio forma parte de las investigaciones que se llevan a cabo en el Taller de Impacto Volcánico de la Facultad de Ciencias. Esta Tesis se realizó durante 2005 para identificar el posible efecto que produce la ceniza en la biota (humanos, animales y plantas) en el área del Volcán de Colima, mediante observaciones directas en campo, entrevistas y procesamiento de los registros de la Secretaria de Salud, aunque se llevo a cabo un reconocimiento de campo con anterioridad y se extendió el muestreo hasta 2006.

La caída de ceniza puede afectar a la biota que habita las cercanías de un área volcánica, así como a la población humana. Este fenómeno de afección puede no verse reflejado en el corto plazo, pues fisiológicamente el organismo tiene sistemas de defensa que actúan eficazmente. Sin embargo, durante una exposición prolongada a la caída de ceniza pueden alterarse algunos de los sistemas de los organismos.

Las cenizas son partículas producidas por fragmentación mecánica del magma o la roca madre durante las erupciones volcánicas y tienen un rango de diámetro menor a 2 mm. La ceniza fina, con tamaño menor de 64 μm es producto de la fragmentación más energética (Zimaowski *et al.*, 2003).

Los principales gases expulsados durante la actividad volcánica son: H₂O, CO₂, SO₂, HCl, HN₃, H₂S, HF y son subsecuentemente removidos de la atmósfera por procesos de reacción química, depositación húmeda y seca, y por absorción dentro de la superficie de las partículas finas, como la ceniza. Cuando esta ceniza se deposita, los gases pegados en ella pueden ser dispersados en el ambiente, donde tienen el potencial de dañar la vegetación, la

fauna y a las personas. La tasa de dispersión depende de la afinidad de los materiales a la ceniza, el sustrato en el cual la ceniza es depositada y la presencia de agua (tanto en cuerpos de agua como en agua de lluvia). El estilo eruptivo determina la concentración de gases y partículas en la pluma eruptiva, así como el tiempo de permanencia de la ceniza en la pluma y su distribución (Witham, *et al.*, 2005).

Los riesgos que tiene la lluvia de ceniza en la salud de las personas se valoran por seis factores: la concentración total de las partículas suspendidas que viajan por el aire; el tamaño de la partículas; la frecuencia de las caídas y la duración de la exposición; factores adicionales como enfermedades preexistentes de las vías respiratorias, y la presencia de sílice cristalino (SiO_2) en las cenizas (Reaman *et al.*, 1984).

Justificación:

La ceniza volcánica dependiendo del tipo de componentes y de su tamaño, puede tener efectos en humanos, animales y vegetales, a través de diversos mecanismos tales como: contacto directo, inhalación de ceniza o de gases retenidos en la misma; por la ingestión de alimentos contaminados por la ceniza o agua contaminada por lixiviados. Los efectos se observan como manifestaciones de diversa índole; como afecciones respiratorias, trastornos gastrointestinales y/o daños oculares. En el caso de los humanos los más afectados son las personas que padecen problemas respiratorios o alergias. (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, 2002).

Las partículas de ceniza pueden ser peligrosas, sobretodo las más finas, porque pueden permanecer suspendidas en la atmósfera y tener una amplia distribución.

La fauna y la vegetación pueden también sufrir daños en diferentes grados por la ceniza de caída, de acuerdo con el tamaño de la misma, el tiempo de exposición y el espesor de la capa, así como a la susceptibilidad del organismo. Si la capa de ceniza es gruesa, la vegetación puede resultar seriamente afectada, puede dañar cultivos, así como producir la muerte de algunos animales (Bardintzeff *et al.*, 2000).

En general para las zonas circundantes a los volcanes del mundo y en particular para las del Volcán de Colima, son pocos los estudios realizados sobre impacto de la caída de ceniza en la biota, incluidos seres humanos. Este estudio pretende conjuntar dos ciencias tradicionalmente separadas, pero naturalmente muy cercanas, la Biología y la Geología. Además de proporcionar datos útiles, que permitirán conocer los daños que la actividad volcánica produce, para tomar medidas de planeación y precaución ante una eventualidad volcánica.

Objetivo General:

Delimitar las localidades donde se presenta caída de ceniza del Volcán de Colima
Determinar los efectos que tiene la ceniza volcánica en humanos, animales y vegetación.

Objetivos Particulares:

Identificar las afecciones de mayor incidencia en humanos, animales y vegetación, debidas a la caída de ceniza e identificar las zonas donde la ceniza causó un mayor índice de afección.

Hipótesis:

La ceniza volcánica dependiendo de su tamaño, composición y distribución puede afectar la salud humana y la de otros animales, así como dañar la vegetación.

Aspectos Geográficos del Área de Estudio.

El área de estudio se definió con base a la distribución observada de la caída de ceniza mediante un primer reconocimiento en noviembre de 2004, además de la distribución potencial descrita en el mapa de peligros del Volcán de Colima (Martin Del Pozzo, *et al.*, 1995). Se extiende desde Coquimatlán al sur hasta Sayula al norte y desde Tuxpan al este hasta La Becerrera al oeste y comprende 1,841,283.492 km² en un perímetro de 177.346 km. alrededor del Volcán, desde 19° 11' a 19° 53' N y 103° 22' a 103° 43' W (Fig 1).

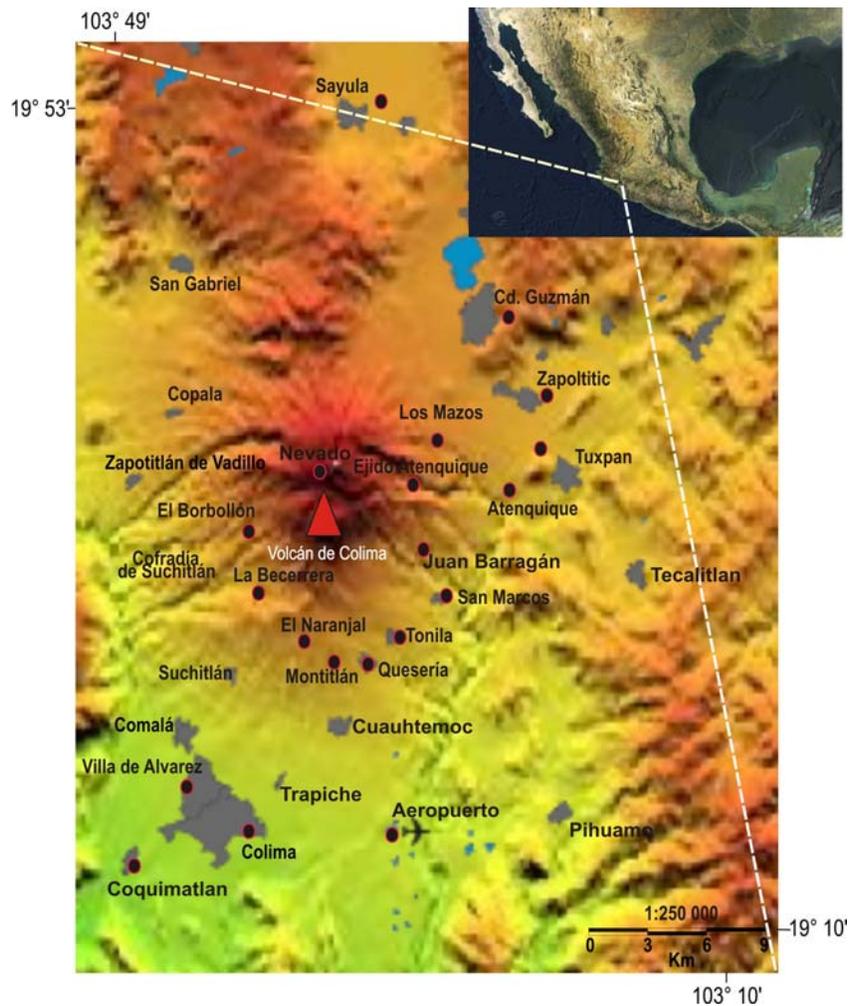


Fig 1. Localización de los sitios de estudio.

La ciudades de Colima, Villa de Álvarez, sur del municipio de Comala y sur del municipio de Cuauhtémoc tienen un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, mientras que la parte norte de Comala y Cuauhtémoc tienen un clima semicálido subhúmedo con lluvias en

verano. Las faldas del Volcán que corresponden a estos municipios el clima es templado subhúmedo con lluvias en verano. Las localidades que pertenecen al Estado de Jalisco y se encuentran en la parte este del Volcán, Tonila, San Marcos y Tuxpan, tienen un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, las situadas al norte, Cd. Guzmán y Sayula, así como las situadas al oeste del Volcán como El Borbollón, tienen un clima semicálido subhúmedo con lluvias en verano (www.inegi.gob.mx, 2008).

La estación meteorológica del Volcancito, a 3500msnm, muestra que los vientos pueden alcanzar velocidades alrededor de 22 m/s y se presentan principalmente durante la noche. La velocidad media del viento es de 3-4 m/s, sin embargo durante diciembre y enero la velocidad promedio del viento es de 6-7 m/s. La dirección del viento durante la época de sequía es del W-WNW mientras que en el verano es del NE-SE, (Galindo *et al.*, 1998)

La temperatura media anual en Comala es de 23.5° C, en Cuauhtémoc de 23.2°C, y en Colima de 25.3°C; Tonila, San Marcos y Tuxpan tienen una temperatura media anual de 21.7°C, mientras que en Cd. Guzmán y Sayula es de 20° C, y del lado oeste del volcán y en El Borbollón es de 19°C. La precipitación para Tonila, San Marcos y Tuxpan es de 962.2 mm mientras que en Cd. Guzmán y Sayula es de 1000 mm, en El Borbollón 1200 mm, en Comala es de 1147.1 mm, Cuauhtémoc de 1233.4 y Colima 1008.6 mm.

El cultivo principal de la región bajo estudio comprendida en el Estado de Colima es, el maíz, sorgo y caña de azúcar. En años recientes, el agave se ha convertido en un cultivo de importancia. El uso potencial del suelo es principalmente agrícola y pecuario. En el Estado de Jalisco el principalmente se cultiva maíz, caña de azúcar, sorgo, agave tequilero y frijol. El uso potencial del suelo es también agrícola y pecuario.

Los bosques de las faldas del complejo Volcánico Colima están compuestos por *Quercus magnolifolia* y *Pinus hartweggi* principalmente. Los pastizales en su mayoría son compuestos por *Cynodon plectostachyum* (www.inegi.gob.mx, 2008).

Peligros a la salud

El hombre ha evolucionado en una atmósfera cargada en grado variable de materiales pulverizados orgánicos e inorgánicos. Existen mecanismos anatomofisiológicos para la defensa contra estos polvos (Alarcón, 1980), y que pueden causar irritación, obstrucción nasal, flemas, tos y en casos aislados dermatitis (Rojas *et al.*, 2001).

La Organización Panamericana de la Salud (OPS) agrupa en cuatro clases los peligros para la salud humana causados por la actividad volcánica explosiva; ejemplificada por las erupciones de La Soufrière Montserrat, St. Helens y El Chichonal (Tabla 1).

Tabla 1. Riesgos de las erupciones volcánicas para la seguridad, la salud y el bienestar humano (OPS,1983).

Clase general de riesgo	Ejemplos específicos de posibles efectos
Directos inmediatos:	Riesgos para la seguridad causados por los efectos de las explosiones y las corrientes piroclásticas y de lava.
	Riesgos para la salud (por ejemplo, irritación de las vías respiratorias, exacerbación del asma ya existente, de la bronquitis crónica o de las enfermedades cardiopulmonares, y sofocación) causados por exposición a intensas concentraciones de ceniza y gases en el aire.
	Riesgos psicosociales, ambientales o económicos causados por los rumores o la incertidumbre de los acontecimientos, interrupción de los servicios normales, traslado de un gran número de personas a campamentos de refugiados y destrucción de la propiedad.
Directos demorados:	Nueva aparición, exacerbación o aceleración de las enfermedades respiratorias crónicas por la exposición frecuente, intensa y prolongada a gases tóxicos o a partículas de ceniza inhalables.
Indirectos inmediatos:	Riesgos para la seguridad ocasionados por corrientes de barro, inundaciones repentinas, incendios causados por rayos y tsunamis (olas sísmicas).
	Riesgos para la salud ocasionados por brotes epidémicos de enfermedades endémicas, como resultado de la interrupción de los servicios regulares de conservación del medio ambiente, salud pública y atención médica.
Indirectos demorados	Riesgos para la salud resultantes del posible aumento de la patogenicidad de los microorganismos pulmonares infecciosos y tóxicos, como consecuencia de los efectos irritantes y tóxicos de los gases y la ceniza volcánicos en los mecanismos de defensa del pulmón.
	Problemas psicosociales, económicos y de salud pública como resultado de las intensas o prolongadas modificaciones sufridas por la sociedad o el medio ambiente.

Los flujos piroclásticos, avalanchas, y lahares son responsables del mayor número de muertes en erupciones volcánicas, sin embargo el efecto de la caída de ceniza puede provocar daños considerables.

Las consecuencias en la población debidas a la caída de ceniza se presentan en la tabla 2 (OPS, 1983).

Tabla 2. Consecuencias de la caída de ceniza en los humanos. Según la OPS (1983).

Consecuencias	Impacto en la comunidad
Inhalación de ceniza fina (<10 micras de diámetro).	Asma; recrudecimiento de enfermedades pulmonares previas.
Inhalación de polvo silíceo (presencia de sílice; e.g., cuarzo).	Silicosis, si existe una exposición fuerte y continua (años).
Ingestión de agua contaminada con flúor, posiblemente también metales pesados (ej. Aluminio, Cobre).	Malestar gastrointestinal hasta muerte en personas vulnerables (enfermos crónicos).
Ingestión de alimentos contaminados (como en el caso anterior), incluido la leche.	Como en el caso anterior.
Cuerpos extraños en ojos.	Conjuntivitis; desgaste de las córneas.
Colapso y caída de techos.	Traumas.
Accidentes de tránsito (por caminos resbalosos y poca visibilidad).	Traumas, Suspensión del transporte de emergencia; viajeros desamparados.
Interferencias en radio y televisión.	No pueden recibirse las alertas y no funciona la transmisión por satélite.
Interrupción de la electricidad.	Averías en servicios públicos, sistemas de calefacción, etc.

Los estudios de campo y laboratorio indican que la exposición moderada a la ceniza volcánica puede dar paso a enfermedades respiratorias e incluso a fibrosis pulmonar (Bernstein *et al.*, 1986b; Malilay *et al.*,1997).

Los componentes de la ceniza de mayor relevancia para el ambiente y la salud son principalmente Cl, F, Fe, Hg, Pb, SO_4^{2-} y Se. Elementos como el Fe, son importantes por que incrementan la superficie ácida y la reactividad de las partículas, la cual incrementa los riesgos asociados con la ceniza (Horwell *et al.*,2003). El principal elemento tóxico absorbido en la ceniza es el Flúor (Witham *et al.*,2005). Aunque las concentraciones que se

presentan en el Volcán de Colima son muy bajas, es necesaria una relación de 1.5 mg/L para exceder los parámetros que se plantean en la guía de agua potable de la Organización Mundial de la Salud. (OMS, 1993).

La tefra dispersada es la mayor causa de morbilidad después de una erupción. La tefra arrojada dentro de la atmósfera puede causar enfermedades en poblaciones humanas a través de la caída de partículas provenientes de las columnas eruptivas. La emisión de grandes fragmentos de roca como bloques y bombas, pueden causar daños fisiológicos como laceraciones y fracturas. Grandes caídas (especialmente de pómez) pueden enterrar y asfixiar tanto directamente como a través del colapso de techos. Pequeñas partículas de pómez, escoria y ceniza son distribuidas en una amplia área alrededor del sitio de la erupción, y en algunos casos las columnas llegan a afectar localidades establecidas a cientos de kilómetros (Selinus *et al.*,2005).

Las partículas que viajan por el aire y que tienen tamaño "respirable", (menos de 10µm de diámetro por partícula) cuando penetran al alvéolo pulmonar pueden irritar las vías respiratorias y ocasionar síntomas de obstrucción. Si la exposición se hace a una concentración suficientemente grande por bastante tiempo, puede producir silicosis, que es una fibrosis pulmonar incapacitante y a veces mortal. Dado que las cenizas volcánicas pueden contener cristales de sílice de tamaño "respirable", esto es de interés tanto en problemas agudos como de largo plazo para las poblaciones expuestas a cenizas volcánicas. Las partículas de ceniza pueden también penetrar en los ojos como "cuerpos extraños" y causar abrasiones de la córnea o conjuntivitis. (Reaman *et al.*, 1984).

En los pacientes con hiperreactividad bronquial, asma o enfermedades pulmonares obstructivas crónicas la exposición a la ceniza puede complicar la enfermedad. A nivel de la conjuntiva, la ceniza actúa como un cuerpo extraño, siendo los cristales de dióxido de azufre los que afectan directamente a la conjuntiva y a la córnea, produciendo abrasiones, además de efecto irritante. También el efecto de la ceniza en la piel es principalmente irritante (Rivera *et al.*, 2005).

Además de los evidentes daños físicos resultado de una erupción, el material eyectado puede contener también elementos y componentes tóxicos que dañan los sistemas biológicos. Estos componentes pueden presentarse en forma de gases volcánicos o ser acarreados con el material de caída proveniente de las columnas eruptivas (Selinus *et al.*, 2005).

El mecanismo en el que una erupción volcánica puede repercutir en la salud esta influenciado por varios factores: variables de la erupción, propiedades toxicas de los componentes, patrones de dispersión y persistencia, así como variables biológicas (Selinus *et al.*, 2005).

Variables de la erupción.

La naturaleza de la erupción, efusiva o explosiva, duración de la emisión, composición química de los componentes tóxicos y el rango de dispersión. Por ejemplo, en erupciones de tipo Plinianas, que son erupciones explosivas se presentan grandes cantidades de gas y ceniza fina, no así en erupciones tipo Hawaianas que son efusivas, donde se presentan grandes flujos de lava sin grandes columnas de gas y piroclastos (Selinus *et al.*, 2005).

Propiedades tóxicas de los componentes.

Se refiere a la composición química y física de las partículas. Los productos volcánicos varían en términos del tamaño de las partículas, concentración, pH y solubilidad en agua. Todos estos factores pueden influir en los efectos patológicos de las partículas (Selinus *et al.*, 2005).

Patrones de dispersión y permanencia.

En términos de evaluar el posible efecto en las poblaciones humanas, la proximidad al sitio de erupción es importante para determinar el riesgo. Poblaciones que se encuentran a menor distancia de un volcán están expuestas casi a la totalidad del material eyectado, por el

contrario poblaciones distantes al volcán o que están protegidas de los productos volcánicos por barreras naturales, presentan menor concentración y son menos vulnerables (Selinus *et al.*, 2005).

La duración de la exposición tiene un papel fundamental en la determinación de las consecuencias en la salud. Algunas afecciones pueden ser de corto plazo y reversibles como es el caso de la irritación de la conjuntiva. Otras son crónicas e irreversibles como la inhalación de partículas de sílice que a largo plazo resultan en problemas de silicosis. (Selinus *et al.*, 2005).

Las propiedades del ambiente como el relieve, presión del aire y clima también afectan los patrones de dispersión y asentamiento de los productos volcánicos (Selinus *et al.*, 2005).

Variables biológicas.

El mecanismo de daño puede ser considerado a un nivel histopatológico. Los productos volcánicos pueden dañar tejidos y células tanto de manera individual como en combinación, mediante los siguientes mecanismos: puede haber daño físico directo, como en el contacto de la ceniza con la piel que en algunas personas produce alergia, o puede iniciarse un proceso crónico de daño, como en el caso de la fibrosis por la deposición de sílice en el tejido pulmonar. La disrupción metabólica puede ocurrir por la toxicidad del dióxido de carbono. También pueden presentarse alteraciones genéticas por la exposición a agentes carcinogénicos como el radón (Selinus *et al.*, 2005).

Parámetros como la edad, la preexistencia de enfermedades cardio-respiratorias son importantes, pues determinan la presencia o no de afecciones debidas a los productos volcánicos (Selinus *et al.*, 2005).

Los ojos son particularmente sensibles a la emisión de partículas finas de tefra. Los daños oculares más comunes son abrasión de la córnea y conjuntivitis por la acumulación de ceniza en el saco conjuntival (Blong, 1984). La irritación ocular ha sido reportada en gente que usa lentes de contacto, debida a la interposición de material entre el lente y el ojo (Selinus *et. al.*, 2005).

Afecciones en Salud Humana

La homeostasis es la característica de un sistema abierto o de un sistema cerrado, especialmente en un organismo, mediante la cual se regula el ambiente interno para mantener una condición estable y constante. Los múltiples ajustes dinámicos del equilibrio y los mecanismos de autorregulación hacen la homeostasis posible. La homeostasis también está sometida al desgaste termodinámico, el organismo necesita del medio el aporte para sostener el ciclo, por lo que es sometido a actividades que, por un lado permiten regular la homeostasis y por otro son un constante ataque a dichas funciones. Cuando es imposible sostener la homeostasis se presentan afecciones.

Conjuntivitis

La conjuntiva es una membrana mucosa transparente, que cubre la superficie posterior de los párpados y la superficie anterior de la esclerótica y une los párpados con el globo ocular. (Riordan *et. al.*, 2005; Padilla de Alba, 2006). La conjuntiva es muy rica en células productoras de mucus (células caliciformes) cuya secreción sumada a la de las lagrimas forma la película lacrimal que da sus características de tersura a la conjuntiva y de transparencia a la córnea. Su principal función es proteger la superficie del globo ocular de estímulos externos. Estos pueden ser de muchas índoles y los más frecuentes son los estímulos irritativos, que comprenden irritaciones ambientales y respuesta inflamatoria a sustancias extrañas (humo, gérmenes, piedrecillas) (Graue *et. al.*, 2003). La producción excesiva de mucus y lágrimas es un primer intento de remover cualquier irritante y significa el inicio de cualquier conjuntivitis (Padilla de Alba, 2006).

Los ojos y sus anexos, situados en lugar muy prominente de la cara están frecuentemente sujetos a agresiones, tanto de tipo mecánico (contusiones, heridas) como de tipo físico (calor, radiaciones) o químico (polvos, humos, vapores, cáusticos), que pueden dañarse en forma grave (Padilla de Alba, 2006).

Cuerpos extraños

Generalmente se alojan en la cara tarsal del párpado superior o fondo del saco conjuntival superior, pudiendo ser piedrecillas, fragmentos metálicos, partículas vegetales. Causan una intensa irritación con fotofobia, dolor y lagrimeo al erosionarse la córnea por el paso del cuerpo extraño al parpadear, condición que se exagera al frotarse de forma imprudente tratando de aliviar las molestias. La gravedad de la lesión ocular producida por el cuerpo extraño depende de tres factores: tamaño, fuerza de penetración, naturaleza química. Un cuerpo puede ser bastante grande como para destrozar el ojo en su penetración, así mismo, si la energía que mueve el cuerpo es muy grande, puede atravesar completamente el globo ocular y alcanzar la órbita, donde terminará alojándose (Padilla de Alba, 2006).

Los datos en una conjuntivitis pueden ser subjetivos y objetivos; los primeros, llamados, síntomas, son, ardor que varía desde sensación de calor a quemadura, escozor y sensación de cuerpo extraño “como arenillas” a los cuales puede agregarse fotofobia y dolor. Los datos objetivos o signos, son la congestión y la presencia de secreción en cantidad variable (Padilla de Alba, 2006).

La inflamación de la conjuntiva (conjuntivitis) es la enfermedad ocular mas frecuente en el mundo. Las causas principalmente son exógenas y rara vez endógenas (Riordan, 2005).

Los síntomas más importantes de la conjuntivitis consisten en sensación de cuerpo extraño, ardor, prurito y fotofobia. La sensación de cuerpo extraño y de ardor se relaciona con la tumefacción (hinchazón) e hipertrofia (aumento de tamaño) de la pupila y por lo general acompañan a la hiperemia (aumento del flujo sanguíneo) conjuntival, esto da el aspecto de “ojo rojo”(Riordan, 2005).

Dermatitis

La dermatitis por contacto es una inflamación de la piel provocada por el contacto físico directo con una sustancia que causa una reacción alérgica. Generalmente el síntoma es una urticaria, y aunque puede aparecer en cualquier parte del cuerpo, comúnmente aparece en las manos. (Domínguez Soto, 1996).

La gravedad de la dermatitis depende de la sustancia y la sensibilidad que se tenga a ésta. Algunas veces, la dermatitis desaparece en un día pero puede agravarse y convertirse en dermatitis crónica. Generalmente la dermatitis comienza con ronchas rojas, y si la sustancia no se retira, puede producir heridas y caída de la piel (Domínguez Soto, 1996).

Enfermedades respiratorias

Neumoconiosis es un término que en general designa un grupo de enfermedades causadas por la inhalación, retención y reacción tisular a diversas partículas de polvos inorgánicos, naturales y artificiales, dentro de las cuales está la silicosis, enfermedad de los trabajadores del carbón y talcosis (Roaj, 2000).

Los polvos inorgánicos que causan las neumoconiosis tienen una distribución muy amplia en el medio ambiente; para el desarrollo de estas enfermedades además de las partículas suspendidas en el ambiente se requieren factores adicionales como las características de la partícula y la susceptibilidad del huésped.

En actividades económicas tales como la extracción minera; la industria de la construcción; la fabricación de cerámicas, vidrio, cemento, abrasivos, porcelana; en labrado de piedra; pulimento de mármol, entre otras, se crean en sus procesos aerosoles de partículas suspendidas en el aire, lo suficientemente pequeñas para alcanzar el tracto respiratorio inferior y presentar un peligro para la salud, de la misma manera que las partículas de ceniza lo hacen.

El recorrido de las partículas inhaladas en las vías respiratorias, depende principalmente de su tamaño. La nariz es un “filtro” muy eficaz y extrae todas las partículas con un diámetro mayor a 20 micras aproximadamente, así como una gran proporción de partículas más pequeñas que estas. Las partículas entre 3 y 9 micras de diámetro que no son depositadas en la nariz tienden a depositarse especialmente en las vías respiratorias proximales al bronquiolo. Después pueden ser eliminadas por la acción ciliar en el término de 12 horas. Las partículas más pequeñas de 3 micras son más factibles de penetrar hasta los alveolos y las de 1 micra es posible que se depositen ahí (Brewis, 1979; Buist *et. al.*, 1986).

Muchos factores determinan el sitio de depósito dentro de las vías respiratorias: las propiedades físicas, la geometría de la vía aérea, el patrón respiratorio y factores del huésped. El principal determinante de la localización es el tamaño de las partículas de ceniza, ya que a medida que las partículas disminuyen, se depositan más distalmente en las vías aéreas. El depósito se hace mayor con la ventilación minuto, con la respiración bucal (al perderse el filtro nasal), con las inspiraciones profundas y con la presencia de enfermedades preexistentes (Roaj, 2000).

Existe una susceptibilidad individual que condiciona el desarrollo de la enfermedad y su severidad. Si bien la mayoría de las personas expuestas a una concentración alta de partículas por un tiempo prolongado desarrolla la enfermedad, su severidad no es siempre la misma y algunos individuos desarrollan formas muy severas mientras que otros presentan solamente pequeñas alteraciones. Los hábitos personales pueden crear variaciones; el antecedente de fumar, la presencia de enfermedades respiratorias previas u otras alteraciones médicas tienen un gran impacto en el depósito de las partículas, en su depuración y en la susceptibilidad de desarrollar alguna enfermedad. Uno de los factores más importantes es la falla del individuo en usar las medidas de control para evitar la exposición (Roaj, 2000).

El tracto respiratorio responde a la inhalación de polvos inorgánicos con un rango de reacciones que van desde la remoción rápida, hasta la lesión tisular y disfunción del órgano,

el tiempo para generar cualquiera de estas respuestas puede ser desde pocas horas hasta varios años. La mayoría de las partículas se remueve por depuración mucociliar en los primeros días, pero puede demorarse meses, generando una reacción a largo termino (Roaj, 2000).

Asma

Esta afección respiratoria se considera de largo plazo. El asma es una alteración inflamatoria crónica de las vías aéreas caracterizada clínicamente por la presencia de tos, por lo general seca, dificultad respiratoria, sibilancias. Estas manifestaciones se presentan con la exposición a uno o mas desencadenantes, que al entrar en contacto con las células del árbol bronquial, característicamente hiperreactivo, producen una serie de mediadores que conducen a la inflamación de la mucosa bronquial, al aumento de la producción de moco y a la broncoconstricción de la musculatura lisa bronquial. Las manifestaciones clínicas resuelven con el tratamiento o de manera espontánea y el sujeto puede permanecer asintomático por periodos variables de tiempo (Roaj, 2000).

Siguiendo la exposición a un alérgeno, el sujeto sensible presenta una rápida broncoconstricción que alcanza su pico a los 20 minutos. Esta respuesta temprana es producida por la acción directa de los productos de la degradación de los mastocitos, que interactúan con el musculo liso bronquial hiperreactivo. Los mastocitos, son células que participan como mediadores en la respuesta inmunitaria. Esta respuesta puede detenerse luego de la inactivación de estos mediadores iniciales, pero en algunos casos se puede generar una segunda fase, que por producirse seis horas después del estímulo inicial, se denomina reacción tardía (Roaj, 2000).

Silicosis

Es una enfermedad pulmonar crónica fibronodular secundaria a la inhalación por largo tiempo de polvo que contiene cristales de sílice libre, mayor componente de la corteza de la tierra y de la ceniza volcánica. De acuerdo a la exposición a este alérgeno; la silicosis

nodular crónica que aparece después de 20 años de exposición al sílice libre, por lo general no presenta síntomas pero cuando la enfermedad avanza, se instala paulatinamente la disnea (dificultad para respirar). La silicosis acelerada se desarrolla después de 5-15 años de exposición, es similar a la silicosis nodular, los síntomas clínicos casi siempre son tos y disnea. Por último la silicosis aguda, 6 meses a 2 años después una exposición masiva, tiene un curso fulminante con tos, disnea progresiva, pérdida de peso y muerte temprana. No existe ningún tratamiento efectivo; por tanto debe tratar de prevenirse y evitar la exposición continua al sílice libre (Roaj,2000)

Crisis nerviosas-ansiedad.

La ansiedad es un estado que se caracteriza por un incremento de las facultades perceptivas ante la necesidad fisiológica del organismo de incrementar el nivel de algún elemento que en esos momentos se encuentra por debajo del nivel “adecuado”; o por el contrario, ante el temor de perder un bien preciado. La ansiedad no siempre es patológica o mala: es una emoción común, junto con el miedo, la ira, tristeza o felicidad, y tiene una función muy importante relacionada con la supervivencia (OMS, 1992).

II MÉTODO

Este estudio se realizó para conocer los posibles efectos que tiene la caída de ceniza del Volcán de Colima tanto en la población humana, como en la biota (plantas y animales) debido a las numerosas erupciones actuales. Se realizó un primer trabajo de reconocimiento en noviembre de 2004, en el que se delimitó el área de estudio, basándose en la distribución de la caída de ceniza observada en campo, así como en la distribución descrita en el mapa de peligros del Volcán de Colima (Martin Del Pozzo *et al*, 1995). Se midieron los espesores de la caída de ceniza en las localidades alrededor del volcán, y se reconocieron las poblaciones con caída que podrían resultar afectadas por la ceniza. Con los espesores medidos de caída de ceniza, se delimitó el área de distribución.

Se revisó la información escrita sobre la distribución y características de la ceniza del Volcán de Colima y con base en la distribución observada de la caída, se estableció una red de muestreo de ceniza que sirvió como base para las diferentes colectas. Se llevó a cabo un muestreo continuo realizado de noviembre del 2004 a mayo del 2006. Las muestras fueron guardadas en bolsas plásticas y se rotulaban con el lugar de muestreo, fecha y hora. Se escogieron las muestras del 2005 para llevar a cabo análisis más detallados.

El número total de muestras colectadas a lo largo del periodo de estudio en las distintas localidades fue de 103. De las cuales se realizó un análisis de los elementos mayores, por fluorescencia de rayos X en 10 muestras de ceniza, Las muestras analizadas se seleccionaron por distintos criterios: representatividad de cada erupción, de distintas erupciones y para cubrir la mayor área posible, desde las colectadas en áreas cercanas al cráter como distantes y cuyo volumen fuera suficiente para realizar todos los análisis. Se realizaron 29 análisis de textura (granulometría), componentes (líticos, vidrio y cristales) y lixiviados a cada muestra

El análisis de granulometría se llevo a cabo en el laboratorio de sedimentología “A” del Instituto de Geofísica. Se extrajo una submuestra de cada muestra que fue pesada en la balanza analítica OHAUS GT2100. El análisis de textura se realizó para obtener las

fracciones de 0 a 5 phi, que equivalen a 1 y 0.030 mm respectivamente utilizando tamices de diferentes mallas. Cada tamiz fue lavado después de cada procesamiento y se pesó cada fracción para determinar los porcentajes texturales respectivos. El análisis granulométrico también permite conocer el porcentaje de ceniza fina, respirable de las muestras.

El análisis de componentes se realizó en el Instituto de Geofísica, para conocer el porcentaje de vidrio, cristales y líticos de la ceniza, así como las características de estos componentes.

Los lixiviados son gases que se encuentran sobre las partículas de ceniza. Éste análisis se realizó en el laboratorio de Química Analítica del Instituto de Geofísica de la UNAM. Se determinaron las concentraciones de cloruros, sulfatos y fluoruros.

Estos análisis se elaboraron para determinar el potencial que tienen las cenizas del Volcán de Colima para causar afección, pues la granulometría indica el porcentaje de partículas respirables, mientras que la mineralogía y lixiviados muestran el tipo de material del que están hechas las cenizas.

Se realizó una descripción detallada de la actividad del Volcán de Colima a lo largo del 2005. Se estimó la frecuencia de erupciones, así como la altura y distribución de las columnas eruptivas. Para esto, además de las observaciones en campo, nos apoyamos en el boletín vulcanológico de la Universidad de Colima, en el que se describía la actividad diaria del Volcán. Con la altura de las columnas eruptivas más representativas se describió el comportamiento del Volcán. En los periodos de mayor actividad se presentaron las columnas más altas.

Se diseñó un cuestionario para conocer si las personas presentaban algún padecimiento debido a la exposición a la ceniza volcánica, si observaban alguna enfermedad o algún cambio en la conducta de los animales tanto silvestres como domésticos, así como daño o beneficio en la vegetación y cultivos. Se prepararon 15 preguntas cortas, 5 enfocadas a salud humana, 5 a fauna y 5 a vegetación. Larios (2001) recomienda que deben hacerse

menos de 30 preguntas ya que con más preguntas la gente comienza a desesperarse. La encuesta se preparó en lenguaje coloquial y oraciones cortas para su mejor entendimiento. Se propició que la respuesta fuera abierta, para no sesgar la respuesta. La encuesta fue parcial, es decir, no se abarcó al total de la población, sino a una muestra, seleccionada al azar. El cuestionario fué diseñado con metodología de lista en el que el cuestionario es preguntado por un entrevistador (Larios, 2001). El cuestionario se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3. Cuestionario aplicado a la población.

Salud Humana	Fauna	Vegetación
Cuando cae ceniza. ¿Usted o algún conocido suyo se ha enfermado o ha tenido alguna molestia?	¿Ha observado cambios en la manera de comportarse de los animales, debido a la actividad volcánica?	Las plantas que usted conoce o consume ¿Han tenido alguna afección?
¿Cuánto tiempo después de la caída?	¿Cuánto tiempo antes o después de alguna erupción?	¿Qué tipo de afecciones?
¿Dónde?	¿Se han enfermado?	¿Cuáles plantas?
¿Visitó al doctor?	¿Qué animales?	¿Cuándo?
Dirección (Doctor)	¿Cuántos?	¿Dónde?

El cuestionario se aplicó por medio de distintos métodos de entrevista: uno-uno, en el que un entrevistador aborda a un entrevistado; uno-varios, un entrevistador abordando a varios entrevistados; varios-uno, varios entrevistadores con un entrevistado; varios-varios simple, varios entrevistadores con varios entrevistados en el que cada entrevistador aborda a un entrevistado a la vez; y varios-varios compleja, varios entrevistadores con varios entrevistados interactuando todos a la vez (Byczowski, 2005).

En total se elaboraron 289 entrevistas en toda el área de estudio. Los datos obtenidos fueron corroborados en los servicios de salud de cada localidad a través de entrevistas con los médicos encargados en cada centro de salud. De esta manera se pudo obtener información continua sobre la presencia de enfermedades en la población durante y después de cada caída de ceniza. Éste cuestionario permitió conocer, de manera preliminar, las afecciones que se presentaban con mayor frecuencia en la población y en la biota;

Por otro lado, a través de la Secretaria de Salud del estado de Colima se obtuvieron los registros oficiales de las enfermedades en cada localidad del Estado de Colima durante 2005. La base de datos esta organizada en registros diarios por cada centro de salud. Se agruparon en localidades y se procesaron por día, así, se pudo conocer la frecuencia por día de cada enfermedad a lo largo del 2005.

La Secretaria de Salud del Estado de Jalisco proporcionó los registros de salud de los años 2003, 2004 y 2005 del estado de Jalisco. La base de datos de Jalisco está organizada de manera anual y sus registros son por localidad. En 2003 e inicios de 2004, la actividad del Volcán no fué tan importante como a lo largo del 2005, esto permitió hacer una comparación de los años 2003 y 2004, en los que la caída de ceniza fue mínima con 2005 cuando la caída de ceniza fue considerable a lo largo de todo el año.

Se revisaron trabajos previos sobre afecciones en la biota y en salud humana causadas por la ceniza de caída. Se identificaron las afecciones que produce la ceniza volcánica en la biota y en los humanos de Colima y se compararon con las afecciones de dichos trabajos. Por medio del procesamiento de los datos obtenidos, se identificaron los sitios en los que se presentan estas afecciones y su frecuencia.

Para comprobar la relación entre las cenizas y afecciones en la población, se realizó un análisis de correlación. El índice de correlación r , indica qué tanto la ocurrencia de la variable Y depende de la ocurrencia de la variable X . Se asociaron las alturas de las columnas (variable independiente) con el número de individuos enfermos por localidad para cada padecimiento (variable dependiente) a lo largo del 2005. Para probar si en Jalisco el incremento en el número de individuos enfermos durante los años 2003, 2004 y 2005 se realizo un análisis de varianza ANOVA, se utilizó un índice de significancia de 0.05.

III ANTECEDENTES DEL IMPACTO VOLCÁNICO

Efectos en salud pueden ocurrir lentamente a cortas y grandes distancias del sitio de erupción como resultado de la dispersión de material volcánico como la ceniza y aerosoles. Son pocos los trabajos sobre los efectos agudos en la salud respiratoria ocasionados por el aire contaminado con ceniza volcánica. Gracias a las medidas preventivas implantadas en erupciones recientes se han reducido los efectos severos en poblaciones expuestas a altas concentraciones de este material. Sin embargo, pueden presentarse problemas respiratorios en la población si no se siguen las medidas de protección, o bien, si los servicios de salud no se encuentran preparados para atender eficazmente la demanda de pacientes con dificultades respiratorias. Los estudios epidemiológicos realizados en países donde se han registrado erupciones volcánicas demuestran un incremento importante en el número de consultas por problemas respiratorios en los servicios de urgencias.

Los impactos que tiene la ceniza pueden pasar desapercibidos y durar por mucho tiempo después que la erupción ha terminado (Witham *et al.*, 2005). Bernstein *et al.*, (1986b), categoriza, en orden de mayor a menor probabilidad, los efectos respiratorios de la ceniza en individuos con intensa exposición, frecuente o prolongada:

1. Irritación aguda de ojos y vías respiratorias.
2. En individuos con hiperreactividad bronquial preexistente, más severas formas de agotamiento respiratorio y deterioro pulmonar.
3. Para personas con hipersecreción preexistente de moco o enfermedades obstructivas de las vías respiratorias, exacerbación y aceleración de estas enfermedades y daño pulmonar.
4. Potencial de desarrollar enfermedades obstructivas.
5. Potencial de desarrollar fibrosis o lo que el mismo llama neumo”vul”coniosis.

La agricultura y la vegetación pueden resultar afectadas por el incremento de las concentraciones de ciertos elementos y en la acidez debido a la lixiviación. La caída de ceniza ácida en plantas y cultivos puede ser benéfica en ciertos casos, pero en otros, puede provocar la aparición de puntos negros en los frutos y hacerlos inservibles para su venta (Le Guern *et al.*, 1980).

La ceniza puede también aumentar la concentración de sulfuros en el suelo y disminuir el pH, lo que produciría un efecto benéfico para la vegetación, favoreciendo su crecimiento (Cronin *et al.*, 1997, 1998, 2003).

Casos Volcánicos

Volcán Ruapehu, Nueva Zelanda.

Ruapehu es un estratovolcán andesítico que después de las erupciones freatomagmáticas en 1995-1996 provocó que los pastos se contaminaran con los componentes de la ceniza, además se presentaron daños en cultivos hortícolas como calabaza y zanahoria (Johnston *e. al.*, 2000). En esta erupción, la agricultura resultó beneficiada, pues gracias al aporte de nutrientes provenientes de la ceniza en el suelo, se redujo significativamente la necesidad del uso de fertilizantes (Cronin *et al.*, 1996).

Debido a la ceniza de las erupciones de 1995, en tres ríos cercanos al Volcán Ruapehu, muchos peces murieron; además, patos, que se alimentaban de estos peces tuvieron que dispersarse debido al estrés alimenticio (Keys, 1996). En 1996 se reportó morbilidad y mortalidad de ganado debido a envenenamiento por fluorosis (Cronin *et al.*, 2003). Después de la erupción del 17 de junio de 1996 del Volcán Ruapehu, ovejas en la región de Kinloch a 70 km de distancia del cráter mostraron ataxia e inapetencia (Cronin *et al.*, 2003). El departamento de conservación reportó la muerte de 30 venados a 30 Km del volcán (Johnston *et al.*, 2000).

Con respecto al efecto de las cenizas en humanos, en 1945, se reportaron casos de irritación en los ojos y garganta, debido al número de personas con malestar en la garganta, se popularizó el término “garganta Ruapehu”. Cuatro escuelas permanecieron cerradas por precaución ante la caída de ceniza (Johnston *et al.*, 2000).

Se presentaron altos niveles de ansiedad en tres comunidades cercanas al Volcán en algunos individuos durante la fase inicial de la erupción del Ruapehu en 1995-96 (Johnston *et al.*, 2000).

Yasur, Vanuatu

El cono cinerítico de Yasur en la isla de Tanna, desde 1774 ha presentado pequeñas erupciones tipo estromboliano con una constante emisión de ceniza. En periodos eruptivos con grandes cantidades de ceniza y gas se produjeron daños en la vegetación. Reportes de la oficina de salud de Tanna mostraron que la actividad volcánica presento efectos adversos en salud humana, edificios, arboles frutales, cultivos, reservas de agua y el ambiente en general.

En Tanna algunos cultivos fueron afectados por la ceniza, incluyendo frijol y maíz. Presentaban retraso en su maduración, mazorcas pequeñas, hojas descoloridas, y descascaradas, mientras que las plantas silvestres sólo presentaron un pequeño amarillamiento en las hojas. De acuerdo con entrevistas a granjeros, el cultivo más seriamente afectado son las frutas, con la pérdida de las hojas de mango durante el periodo de mayor caída de ceniza (Cronin y Sharp, 2002).

En el área de Tanna, dos maestros nuevos presentaron irritación de garganta y nariz, además de dificultad para dormir debida a la preocupación sobre el Volcán (Cronin y Sharp, 2002).

La elevación en las concentraciones de SO₂ en 1990, de 400 a 1200 Ton /día, causó daño en jardines y plantaciones de café, en la dirección del viento (Eissen *et al.*, 1990).

Ambrym, Vanuatu

Durante la actividad del volcán basáltico de escudo de la isla Ambrym en 1979, se reportaron pastos y cultivos con quemaduras en un área de 90 km², debido a la lluvia ácida producto de la combinación con ceniza y gas volcánico (Mcfarlane, 1979). La población sufrió trastornos gástricos y quemaduras en la piel (Eissen *et al.*, 1989) También se reportó afección en las hojas de las palmeras de cocos, mientras que los frutos permanecieron intactos. (Cronin, y Sharp, 2002).

Santa Helena, Estados Unidos.

La caída de ceniza de la erupción del estratovolcán dacítico Santa Helena en 1980 produjo necrosis en las hojas del maíz. (Kennedy, 1981).

También en esta erupción del Monte Santa Helena, se notificaron problemas oculares y respiratorios por efecto de la ceniza después de las erupciones (Baxter *et al.*, 1982; Bernstein *et al.*, 1986a; Buist *et al.*, 1985; Johnson, 1982; Yano *et al.*, 1986). Algunos efectos inmediatos causados por la acción de la ceniza y los gases volcánicos, fueron la irritación aguda y pasajera de las membranas mucosas de los ojos, de las vías respiratorias y la exacerbación de neumopatías crónicas ya presentes como consecuencia de la gran acumulación de ceniza durante la erupción y el período posterior. Estudios que se realizaron a la ceniza demostraron que ésta no tenía elementos tóxicos, sin embargo, la porción respirable contenía de 3 a 7 % de sílice cristalino libre, lo que representaba un gran riesgo para la salud (Johnson *et al.*, 1982).

Registros de los servicios de salud confirmaron un incremento en la frecuencia de enfermedades respiratorias, después de la erupción del Monte Santa Helena (Bernstein, 1986b). Durante las cuatro semanas siguientes a la erupción se registraron 185 visitas a los servicios de salud debido a asma y bronquitis, contrastando con las 92 registradas para el mismo periodo un año antes (Baxter *et al.*, 1983). En un trabajo realizado por Buist *et al.* (1985) en esta misma erupción, concluyó que sólo en el caso de alguna enfermedad respiratoria preexistente la ceniza volcánica podría ser de riesgo para la salud de las personas, aunque no descarta que la presencia de hipersecreción crónica de moco y sensibilidad en las vías aéreas puedan incrementarse. Sin embargo en su estudio sobre un grupo de fumadores y otro de no fumadores, encontró que los no fumadores eran más afectados que los fumadores, porque estos últimos presentaban cierta resistencia causada por el humo del tabaco (Buist *et al.*, 1985).

También después de esta erupción, se encontraron incrementos en la ansiedad, insomnio, irritación de los ojos y garganta de la población. El estrés psicológico depende del entendimiento de los factores de riesgo en una erupción volcánica y en el grado en el que los individuos y sus seres queridos han sido afectados (Bernstein *et al.*, 1986a).

También en el Santa Helena en junio de 1980, oftalmólogos reportaron 1523 pacientes con padecimientos asociados a la ceniza, según los mismos oftalmólogos la mayoría de los problemas oculares fueron reacciones a sensación de cuerpo extraño. Aproximadamente la mitad de estos, habían desarrollado conjuntivitis irritativa y en ninguno de los pacientes se observó infección secundaria mayor o decremento significativo de la visión. La ceniza actúa como agente abrasivo y raya los lentes de contacto, además de que los síntomas oculares disminuyen uno o dos días después de la exposición a la ceniza. La ceniza es muy irritante para las membranas del ojo en exposiciones bajas a moderadas pero los síntomas disminuyen pronto, no hay evidencia de que la ceniza cause inflamación crónica o afecte por completo las funciones del ojo (Buist *et al.*, 1986a).

Cerro Negro, Nicaragua

El Volcán Cerro Negro es un cono andesítico, que en 1992 produjo una erupción estromboliana. Después de este evento las consultas en los servicios médicos por diarrea aguda fueron casi 6 veces más numerosas que antes de la erupción en las localidades de Malpasillo y Telica, debido a la contaminación del agua (Malilay, 1997).

Volcán Guagua Pichincha, Ecuador

Se registró un incremento porcentual cercano al 200% en enfermedades como la rinitis y el asma en la ciudad de Quito, Ecuador durante las erupciones del 6 y 7 de octubre y del 26 y 27 de noviembre de 1999 del Volcán Guagua Pichincha, un estratovolcán andesítico (Gob. de Ecuador 2000).

Volcán Montserrat, Antillas

Durante la erupción del 1995 del Volcán Montserrat, un complejo de domos andesíticos que presentan erupciones vulcanianas, Forbes *et al.* (2003) observaron que las cenizas de esta erupción habían afectado considerablemente a los niños que vivían en áreas con alta exposición a la ceniza, los cuales presentaron síntomas de afecciones respiratorias con mayor frecuencia que aquellos que vivían en áreas de menor exposición. Un experimento realizado con ratas demostró que la ceniza de esta erupción producía una inflamación retardada en el pulmón (Hee Lee *et al.*, 2004).

Volcán Popocatepetl, México

El Volcán Popocatepetl es un estratovolcán andesítico, que desde 1994 presenta pequeñas erupciones fundamentalmente de tipo vulcaniano. Durante la erupciones de 1994-1995, un estudio realizado a 35 personas no fumadoras, que trabajaban al aire libre y vivían a menos de 25 km del volcán, mostró que la caída de ceniza ocasionó afecciones en las vías respiratorias, encontrando una disminución en su capacidad respiratoria la cual fue reversible después de siete meses (Rojas *et al.* 2001).

Ejemplos en Modelos Experimentales

La inhalación de ceniza en modelos animales demuestra una disminución en la movilidad ciliar a nivel del epitelio traqueal. El tejido traqueal presenta cambios citomorfológicos moderados, después de dos horas de exposición a concentraciones de ceniza de 1, 10 y 100 mg/ml. El daño al epitelio y los cambios en la movilidad ciliar están determinados por la cantidad de ceniza y el número de exposiciones (Schiff *et al.*, 1981 y Bland *et al.*, 1985).

La exposición de hámsters a la inhalación de cenizas proveniente de la actividad del Volcán Popocatepetl en 1994 provocó una reacción inflamatoria aguda y crónica, foco neumónico con detritos celulares e infiltración de linfocitos en el tejido pulmonar (Rivera *et.al.*, 2003).

IV VOLCÁN DE COLIMA

Actualmente el Volcán de Colima presenta frecuentes erupciones explosivas. Este tipo de actividad es semejante a la que antecedió a los eventos explosivos de 1611, 1818 y 1913 que produjeron importantes cantidades de ceniza.

El antiguo Volcán de Colima o paleofuego creció en el flanco sur del Volcán Nevado, y es posible que la actividad temprana del Volcán de Colima haya coexistido con la última actividad del Nevado. El actual cono, que se formó en la cicatriz del paleofuego, está constituido por una serie de flujos de lava y depósitos piroclásticos (Martin Del Pozzo *et al*, 1995).

Las cenizas del Volcán de Colima son de color gris claro, fundamentalmente andesitas calco-alcalinas con hornblenda y un porcentaje de 57-59 % de SiO₂.

Actividad Histórica del Volcán de Colima.

Se tienen diversos registros prehispánicos de la actividad del Volcán de Colima, sin embargo, por ser de difícil verificación, no se les da el valor que podrían tener. En la mitología náhuatl existe la leyenda de los cinco soles; en la que el tercer sol, Nahui Quiahuitl es representado por una lluvia de fuego que causa la muerte del hombre y la destrucción de casas. Este mito ha sido interpretado como una violenta erupción volcánica que causa mucha destrucción. No se sabe exactamente si es resultado de la actividad del Volcán de Colima o cualquier otro volcán en México (Monjaras-Ruiz, 1989).

En la ciudad de Colima, existe un centro ceremonial prehispánico llamado El Chanal. Las pirámides en este centro ceremonial están claramente orientadas hacia el Volcán de Colima, lo que refleja la importancia que el Volcán tenía para los habitantes de este centro ceremonial prehispánico (Hardi, 1996 en Bretón *et al.*, 2002).

En 1576 según Tello (1651) se presentó una fuerte actividad en el Volcán de Tzapotlán, un nombre asociado al Volcán de Colima (Bretón *et al.*, 2002).

El 10 de febrero de 1585 una explosión acompañada de fuerte actividad es reportada como la causa del bloqueo de los rayos del sol con ceniza distribuida aproximadamente 220 km, cubriendo campos y causando la muerte de mucho ganado (Tello, 1651).

El 14 de enero de 1590 se presentó una erupción con importantes cantidades de ceniza, seguida de una plaga, que resultó en la muerte de muchos pobladores (Mota-Padilla, 1742).

En 1602 Sebastián Vizcaíno a bordo de un barco a 83 km de distancia del Volcán hace referencia “*al volcán que hace humo*”; se cree que estas emisiones debieron ser considerablemente grandes para poder ser vistas a esa distancia (AGI, 1602 en Bretón *et al.*, 2002). En 1606 una fuerte explosión causó el oscurecimiento del cielo y caída de considerables cantidades de ceniza en áreas del estado de Michoacán a 200 Km del Volcán. El 15 de abril y 29 de octubre de 1611 una serie de erupciones produjeron grandes cantidades de ceniza (Tello, 1651).

Erupciones explosivas en 1623 produjeron caída de ceniza en el Estado de Zacatecas a más de 400 km al noreste del Volcán, esta caída de ceniza oscureció el sol y cubrió las casas de blanco, tanto dentro como fuera (Tello, 1651). En 1711 Puga (1889) reporta caída de ceniza en la ciudad de Guadalajara durante tres días y se volvió indistinguible el día de la noche.

En 1769 ocurrió una explosión cuyas flamas iluminaron los alrededores y que fue posible ver desde la ciudad de Colima. En la media noche del 10 de marzo de 1770 el humo de una erupción, bloqueó la visibilidad de las estrellas, al día siguiente el sol se oscureció y los poblados al norte del Volcán fueron afectados por la caída de ceniza (Lasaga, 1793, en Bretón *et al.*, 2002).

La descripción de Pérez de León (1789) detalla la erupción del 10 de marzo de 1770:

“El 10 de marzo de 1770, a las doce de la noche, acaeció en Colima y sus comarcas un fuerte temblor de tierra, al que siguió un espantoso bramido del Volcán, despidiendo de humo que cubrió la esfera, de suerte que impidió la vista de las estrellas; por cuyas tinieblas se vieron las llamas que bostezaban aquel altivo vegetal gigante, que después se convirtió en arroyos de fuego que descendían por su cumbre al valle devorando cuanto a su pie fecunda. Siendo tantas las materias que arrojaba, que hasta el día se perciben a modo de calzadas las brechas que abrió en sus rocas, cuyo conjunto terraplano parte de la muy honda barranca de La Joya dejando sepultado sin consumirse mucho ganado. Tres horas duro este raudal de fuego envuelto en maquinias combustibles, nitrosas y azufrosas, representando a Vulcano, el monte y sus cavernas con cada exhalación, publicaban el fruto de sus fuerzas, de suerte que las aves dejaban sus nidos, los brutos las selvas y todos buscaban amparo. Este Goliat continuamente esta cual otro Vesubio, despidiendo por su boca humo, que eleva más o menos la dominación del aire; y algunas ocasiones se le perciben cortas llamas.”

El 15 de febrero de 1818 a las 8 de la noche se presentó una gran erupción. La columna eruptiva de esta explosión creció hasta oscurecer la luna. Se presentó caída de ceniza en Guadalajara, Guanajuato, Zacatecas, San Luis Potosí, Querétaro y México. La ceniza fue tal en Zapotlan que causo el colapso de los techos de algunas casas. *“La oscuridad era tal que no se distinguían aun objetos cercanos”* (Pérez De-León, 1789; Bárcena, 1887).

La formación del volcancito comenzó el 12 de junio de 1869, esta es la primer erupción bien documentada que existe del Volcán de Colima. El volcancito comenzó a formarse a partir de una fisura en el flanco noreste formándose así un cono parasito a 1 km de la base del Volcán (Barcena, 1887).

El 26 de febrero de 1872 una nueva serie de erupciones comenzaron con nubes en forma de arboles, que rápidamente se elevaron y se desplazaron. La erupción finalizó dos horas después, cayó ceniza en Zapotlán (hoy Cd. Guzmán), primero los granos medios y luego la ceniza fina, eventos similares fueron reportados en San Gabriel y Tonila (Barcena, 1887).

“En 1873 los vecinos de Colima fueron sorprendidos por una pirámide de humo salida del Volcán de Colima, más grande y hermosamente caprichosa que las que ha arrojado la constante ignición del Volcán” (Ortoll, 1988).

A finales de 1880 y principios de 1881 se presentaron numerosas erupciones, la ceniza fue llevada por el viento a la ciudad de Colima donde cubrió los techos con un velo gris y blanco (Bretón et. al., 2002).

Un nuevo periodo eruptivo comenzó en diciembre de 1885, cuando algunos balísticos causaron incendios forestales. A lo largo de 1886 se presentaron algunas erupciones tipo vulcanianas, la mas significativa entre el 26 y 27 de agosto, causó importante caída de ceniza en la ciudad de Colima. Actividad similar se presento entre noviembre y diciembre, teniendo como resultado la caída de ceniza durante ocho horas en Tecolotlán ,75 km al NW, y dos horas en Poncitlan, 110 km al NE, (DOGEJ, 1889 y Puga, 1889). El 26 de agosto de 1886 las calles, azoteas y arboles de Colima, amanecieron cubiertos por una capa de ceniza a consecuencia de la erupción del Volcán (Ortoll, 1988).

El 8 de noviembre de 1889, el Volcán de Colima volvió a hacer erupción acompañada de un fuerte estallido. Se cubrió de lava las dos terceras partes del cono y se incendiaron los montes que se encuentran en su falda (Ortoll, 1988).

El 16 de febrero de 1890 se presentó una erupción de casi cuatro horas de duración y con caída de ceniza en Guanajuato a 300 km al NE.

El 20 de febrero de 1903 una columna oscura de ceniza ascendió desde el cráter produciendo un fuerte sonido que fue escuchado hasta Colima. Desde esta distancia fue posible distinguir proyectiles incandescentes que produjeron incendios forestales que duraron varios días. La ceniza producida por esta erupción llevo hasta Tuxpan (25 km al E) y Colima (32 km al S) y las calles en Zapotlán permanecieron en oscuridad durante dos horas (Bretón *et al.*, 2002).

El 20 de enero de 1913 el Volcán de Colima comenzó a tener una de las erupciones mas importantes. Se produjeron grandes cantidades de ceniza que cayó en las poblaciones cercanas, acompañadas de descargas eléctricas. Waitz en 1915 reporta caída de ceniza en Saltillo, Coahuila; aproximadamente a 725 km al NNE del Volcán.

Después de la erupción de 1913 el Volcán entró en un periodo de aparente calma. En 1930 una emisión de vapor fue vista desde la hacienda La Esperanza (Zehle, 1932).

Desde 1941 se ha visto al Volcán con actividad intermitente en 1957, 1961, 1975, 1981, 1991, 1994, 1998, 2000, 2003 y 2004. Estas etapas fueron acompañadas de crecimientos de domos, erupciones con bloques de lava, flujos de lava y algunas explosiones y flujos piroclásticos

La mañana del 18 de noviembre de 1998 cerca de 180 personas fueron evacuadas del poblado La Yerbabuena localizada 8 km al suroeste del cráter. Ese mismo día, ante el aumento de la actividad volcánica, fueron también evacuadas cerca de 120 personas de la comunidad de Juan Barragán 10 km al sureste del cráter (Bretón *et al.*, 2002).

El 17 julio de 1999 una violenta explosión generó una columna eruptiva de 12 km, con caída de material incandescente en los costados del Volcán y caída de ceniza en Zapotitlán de Vadillo 21 km al W. Esta explosión se consideró en el momento como una de las mas violentas para este periodo eruptivo, más potente que las previas del 10 de febrero y 10 de mayo de 1999 (Bretón *et al.*, 2002).

A lo largo del 2000 y 2001 se presentó un derrame de lava y algunos lahares En 2003 ocurrieron algunas explosiones que produjeron columnas con ceniza y flujos piroclásticos. Estos flujos piroclásticos produjeron incendios en los bosques cercanos al Volcán. En agosto del 2003 se presento una columna con ceniza de 10.5 km (Universidad de Colima, 2003).

Actividad del Volcán de Colima de junio del 2004 a abril del 2006

Durante el mes de junio del 2004 se presentaron un promedio de tres explosiones diarias, con columnas de menos de 1500 a 2000 m sobre el cráter, la dirección predominante del viento fue hacia el oeste, lo cual provocó que se presentara caída de ceniza en las poblaciones de La Becerrera y El Borbollón (Universidad de Colima, 2004).

El mes de julio del 2004, se mantuvo constante esta actividad, presentando cuatro eventos explosivos de importancia, los días 4, 11, 17 y 25. La ceniza de estos eventos cayó en el área de La Becerrera y El Borbollón (W). En el mes de agosto aunque se mantuvo en promedio el mismo numero de eventos, la intensidad de estos fue mayor, registrando columnas de mas de 2500 metros sobre el nivel del cráter.

El mes de septiembre puede dividirse en dos fases, las primeras tres semanas del mes presentaron actividad similar a la de los meses anteriores, el día 29, se detectó el inicio de derrumbes de material expulsado desde la cima del volcán hacia el lado norte, continuando durante la noche hacia el lado oeste. Estos derrumbes tuvieron un alcance de 1 km de distancia. Este derrame de lava tapó el camino al Playón ubicado al norte del volcán (Universidad de Colima, 2004).

Para el 5 de octubre se registraban 169 derrumbes por día con alcances de 2-2.5 km desde la cima sobre los flancos norte y noreste. La ceniza producto de la fragmentación de los bloques de lava descendió por el flanco oeste, hacia las poblaciones de La Becerrera y El Borbollón, estas poblaciones no se vieron afectadas, pues la lava no tuvo mayor alcance. Se estimó que la cantidad de dióxido de azufre fué entre 1300-1700 ton/ día.

El 9 de octubre el Observatorio Vulcanológico de la Universidad de Colima, determinó los alcances de los derrumbes y frentes de lava. El frente de lava sobre el flanco norte fue de 900 m de longitud y 150 m de ancho aproximadamente. El frente de lava sobre el flanco oeste-noroeste es de 300 m de longitud por 200 en su parte más alta. Los alcances de los

derrumbes se mantienen en el rango de hasta 2 km desde la cima. Los flujos piroclásticos por el flanco oeste (Barranca La Lumbre) alcanzaron aproximadamente 5 km. La estimación de bióxido de azufre de la fumarola fué de 2500 a 2800 ton/día y el martes 12 mostró una disminución a 500 ± 120 ton/día. Las mediciones de SO₂ terrestres tomadas desde el nevado del día 15 mostraron un promedio de 880 ton/día. Las del día 16 del mismo mes desde La Mesa de La Yerbabuena fueron de 100 ton/día. El valor de SO₂ del día 22 de octubre fue de 840 ton/día. En un vuelo realizado el día 27 de octubre la medición de SO₂ fue de 1168 ton/día (Universidad de Colima, 2005).

El día 15 de noviembre se pudo observar una muy clara disminución de la actividad, que se mantuvo a lo largo del mes, presentando un promedio de 24 pequeñas explosiones y de 4 a 20 derrumbes por los flancos oeste, noreste y sur. Esta tendencia de disminución de la actividad se mantuvo para el mes de diciembre. En la primera semana se mantuvo un promedio de 250 pequeñas explosiones por día y para la segunda semana alrededor de 11 pequeñas explosiones.

En enero del 2005 la actividad disminuyó hasta presentar solamente un promedio de 5 pequeñas explosiones por día. El 12 de enero se produjo una explosión con flujos piroclásticos con dirección al sur, que abrió el cráter en forma de V. En febrero sólo se presentaron 4 pequeñas explosiones por día. Este bajo nivel de actividad se mantuvo durante los primeros 9 días de marzo, excepto el 6 en que una explosión causó flujos piroclásticos (Tabla 4, fig. 2).

Tabla 4. Alturas de las columnas de las principales erupciones en 2005.

Fecha	Altitud msnm	Altura msnc	Fecha	Altitud msnm	Altura msnc
15-Ene-05	4310	450	05-Jun-05	9428	5568
30-Ene-05	4310	450	06-Jun-05	8500	4640
15-Feb-05	4360	500	30-Jun-05	8360	4500
22-Feb-05	4310	450	05-Jul-05	5252	1392
28-Feb-05	5360	1500	30-Jul-05	6860	3000
10-Mar-05	5860	2000	15-Ago-05	6960	3100
30-Mar-05	6160	2300	30-Ago-05	6960	3100
15-Abr-05	6160	2300	15-Sep-05	6860	3000
30-Abr-05	7160	3300	27-Sep-05	7620	3760
07-May-05	5560	1700	15-Oct-05	4260	400
10-May-05	8500	4640	30-Oct-05	4260	400
16-May-05	6180	2320	15-Nov-05	4060	200
23-May-05	6860	3000	30-Nov-05	4060	200
30-May-05	8500	2140	15-Dic-05	4160	300
02-Jun-05	8036	4176	30-Dic-05	4160	300

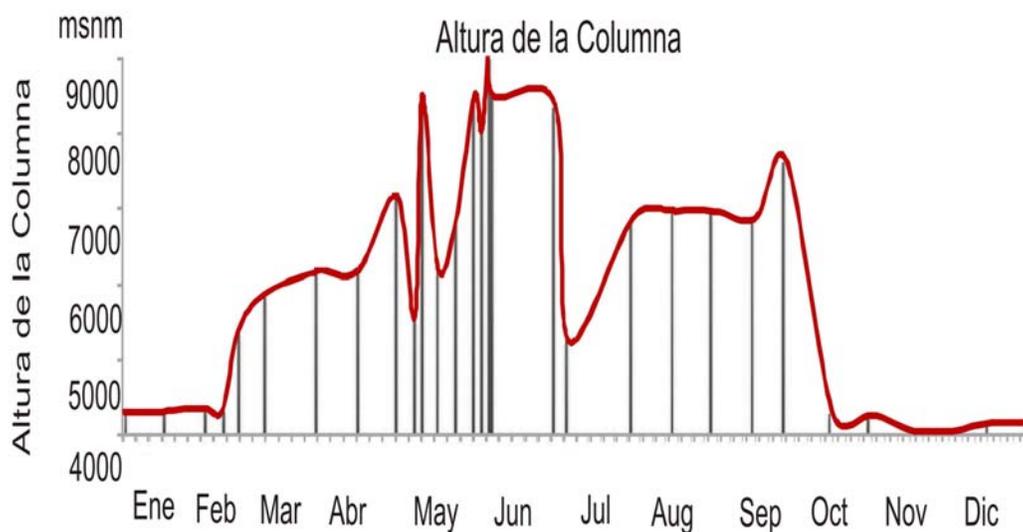


Figura 2 Comportamiento del Volcán de Colima durante 2005.

El 10 de marzo del 2005 minutos después de las 08:00 hrs, el Volcán de Colima presentó una explosión que fué más grande a la de los meses anteriores. Se presentaron flujos piroclásticos que abarcaron tres kilómetros a la redonda, la altura de la fumarola alcanzó dos mil metros por encima del cráter, misma que ocasionó la caída de ceniza en Ciudad Guzmán, Jalisco (Universidad de Colima, 2005).

El día 13 de marzo se presentó a las 15:28 hrs. una explosión que produjo flujos y oleadas piroclásticas por las barrancas El Muerto, Montegrande, San Antonio y El Cordobán Oriental. Esta explosión fue el evento más importante que se había registrado en los últimos 5 años. Se reportó caída de ceniza y fragmentos de roca en la población de Los Mazos, Jalisco, a 12.5 km. al noreste del volcán. Los días posteriores se mantuvo una actividad de entre 1 y 5 explosiones pequeñas por día. El 19 de abril, se registró una explosión a las 20:56, que produjo incandescencia en los costados del volcán. Después de esta explosión, se presentaron nuevamente niveles bajos de actividad con 2 a 3 explosiones por día (Universidad de Colima, 2005).

Para el día 9 de mayo se presentaron dos explosiones importantes una a las 5 hrs. y otra a las 7 hrs. El 10 de mayo a las 9:15 hrs., se produjo una explosión que presentó flujos piroclásticos por todos los costados del volcán provocando incendios forestales. La columna tuvo una dirección oeste-noroeste produciendo caída de ceniza en esa dirección. El día 15 de mayo a las 21:01hrs se presentó una explosión que produjo flujos piroclásticos por todos los flancos del volcán. El 23 de mayo a las 19:10 hrs. tiempo local se registró un evento explosivo con una columna eruptiva de más de 3 km sobre el nivel del cráter y fue llevada al oeste. Esta erupción produjo flujos piroclásticos principalmente por las barrancas San Antonio y Monte Grande que llegaron a 4 y 5 km. La ceniza, producto del flujo piroclástico, fue llevada al este, mientras que la de la columna explosiva se dirigió al oeste. Se observaron balísticos hacia el oeste y suroeste entre distancias de 3 a 4 km. Personal de Aeromar informó que el vuelo programado para arribar a Colima a las 10 de la noche, tuvo que ser desviado a la ciudad de Guadalajara por presencia de ceniza volcánica en el ambiente (Universidad de Colima, 2005).

El 30 de mayo las 3:26 de la mañana se registró una de las explosiones más grandes en los últimos 30 años. Datos de satélite muestran que la nube de ceniza alcanzó una altura de 4550 metros sobre el nivel del cráter y fue llevada por los vientos al sureste, mientras que la ceniza que se localizó a 1450 m sobre el nivel del cráter, fue llevada al noreste. La velocidad del viento en la parte superior fue de 15.4 a 18 m/s. y en la parte baja de 12.8 m/s. Alrededor de 2 hrs después de la explosión, la porción sureste se extendió 102 km

desde el Volcán, y la porción noreste 81.5 km Se produjeron flujos piroclásticos por los flancos del volcán en dirección oeste y se registraron algunos incendios forestales por la explosión (Universidad de Colima, 2005).

El día 1 de junio del 2005, la actividad sísmica mostró microsismicidad similar a la observada 48 horas previas a la última explosión (Universidad de Colima, 2005). A las 23:50 hrs del día 1 de junio y a las 00:22 hora local del día 2 de junio se presentaron explosiones en el Volcán de Fuego de Colima. La altura de la columna eruptiva fue de 2140 m sobre el cráter y la velocidad del viento fue de 5.1 a 10 m/s hacia el sursuroeste. El 5 de junio se presentó una erupción que produjo una columna de 5500 m sobre el nivel de cráter. La dirección de la nube de ceniza fue en dirección sur-suroeste, reportándose caída de ceniza en las ciudades de Colima, Villa de Álvarez y poblaciones cercanas. A las 5:25 a.m. la nube de ceniza se encontraba a 74.8 km, en las costas de Colima. (Universidad de Colima, 2005). En el aeropuerto de Colima se tomó la decisión de cerrar operaciones desde las 17:00 horas del 5 de junio hasta las 12:00 horas del lunes seis de junio, con objeto de proceder a limpiar la ceniza de la pista y garantizar la seguridad del ascenso y descenso de las aeronaves. (Trejo, 2005).

El día 6 de junio a las 14:20 hrs. tiempo local se presentó una explosión que causó flujos piroclásticos en casi la totalidad del edificio volcánico y tuvo una columna que se levantó 4600 m. encima del cráter, la cual fue llevada al sureste. Tomando en consideración la amplitud del registro sísmico, este evento fue 1.2 veces más grande que el del 30 de mayo del 2005 y 3 veces mayor que el del 17 de julio de 1999. (Universidad de Colima, 2005). Se reportó caída de ceniza en las poblaciones de Quesería, Montitlán y Cofradía de Suchitlán. (Magallón, 2005).

El día 7 de junio del 2005, un evento explosivo levantó una columna de ceniza de más de 4500 m sobre la cima del volcán. La unidad de Protección Civil de Colima, invitó a la población a efectuar una evacuación preventiva por la noche en las comunidades de Juan Barragán y el rancho de la barranca El Durazno, en el municipio de Tonila, y de El Borbollón, en el municipio de Zapotitlán de Vadillo. Las familias que aceptaron la

evacuación, durmieron en el refugio temporal que se habilitó en la casa ejidal de San Marcos, y en el caso de El Borbollón, en casas de familiares en la localidad de San José del Carmen. Se repartieron un poco más de 20 mil cubre bocas, dándole prioridad a seis comunidades: La Yerbabuena, La Becerrera, EL Naranjal, La Lima, Quesería y Montitlán (Trejo, 2005).

El día 9 de junio a las 21:54 hora local ocurrió una explosión en el Volcán de Fuego de Colima, que tuvo un sonido perceptible hasta la ciudad de Colima a 40 km. de distancia del cráter. Después de este día la actividad explosiva disminuyó, reportándose únicamente de 1 a 4 emisiones de vapor de agua y gas.

El día 25 de junio del 2005, por medio de señal sísmica, se reporto un lahar, que se quedó en las partes altas del volcán, sin alcanzar a las poblaciones cercanas. La madrugada del 30 de junio se presentaron dos lahares, uno en La Barranca de Montegrande con alcance de 7 u 8 km y el otro en La Barranca La Lumbre con un alcance de 10 km, que dañó la protección del puente del mismo nombre, que une a Colima con Jalisco por el lado de La Becerrera. Estos dos lahares no alcanzaron poblaciones humanas(Universidad de Colima, 2005).

Al mediodía del 5 de julio, se produjo una explosión (Universidad de Colima, 2005), con una columna de más de 5000 metros de altura sobre el nivel del cráter y produjo flujos piroclásticos. En el lado este del volcán, se reportó caída de ceniza en La Becerrera y La Yerbabuena. El día 7 se presentaron dos señales de lahar en la estación de Montegrande de las 15:00a las 15:30 y de las 19:30 a las 20:10, sin que se reportaran daños a poblaciones (Universidad de Colima, 2005). Debido a las lluvias que se presentaron en el área de volcán, nuevamente el día 19 de julio se presento un lahar de 17:15 a 18:30 por La Barranca Montegrande. Después de 22 días sin explosiones, el 27 de julio a las 4:14 hrs ocurrió una explosión que fue escuchada a 25 km. del Volcán (Universidad de Colima, 2005).

Durante el mes de agosto, se observó una considerable disminución en la actividad del volcán con un promedio de 3 explosiones pequeñas por día. Este nivel se mantuvo para la

mayor parte del mes de septiembre. El día 14 de septiembre el observatorio vulcanológico reporto microsismicidad (Universidad de Colima, 2005).

El día 27 de septiembre a las 05:07 hrs se produjo una explosión con una columna de 3760 metros sobre la cima del volcán, y se dirigió hacia el suroeste, lo que ocasionó caída de ceniza en las ciudades de Colima, Villa de Álvarez y Comala, situadas a más de 30 km del cráter. Este mismo día a las 22:00 se registro un lahar en la barranca de Montegrando.

Para el mes de octubre la actividad permaneció en un promedio de 2 explosiones por día, extendiéndose hasta los meses de noviembre, diciembre del 2005, y enero, febrero y marzo del 2006.

V RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caída de Ceniza

Las observaciones realizadas en campo sobre la distribución de la ceniza mostraron que las poblaciones que fueron afectadas con caída de ceniza se encuentran entre 8 Km y 41 Km del volcán (Tabla 5).

Tabla 5. Localización geográfica de sitios que presentaron caída de ceniza.

Localidad	Clave	Estado	Municipio	Longitud	Latitud	msnm	Distancia al cráter (Km)	Número de habitantes*
Atenquique	At	Jalisco	Tuxpan	1034380	195297	1040	18	849
Becerrera	Be	Colima	Comala	1034019	194536	1200	12	274
Borbollón	Bo	Colima	Comala	1037186	194794	1440	10	7
Cd. Guzman	CDG	Jalisco	Zapotlan el grande	1032745	194210	1520	26.5	85,118
Cofradía de Suchitlan	CS	Colima	Comala	1037022	194097	1290	14.5	1,601
Colima	Co	Colima	Colima	1034350	1914350	500	32	119639
Ejido	EAT	Jalisco	Tuxpan	1035186	195658	1880	8.8	110
Atenquique Juan Barragán	JB	Jalisco	Tuxpan	1035338	194805	1520	9.2	59
Los Mazos	LM	Jalisco	Tuxpan	1035130	195725	1780	13.7	190
Montitlan	Mon	Colima	Cuauhtemoc	1036205	194008	1440	12.2	148
Naranjal	Nj	Colima	Villa de Alvarez	1035730	194052	1420	12.3	149
Queseria	Qu	Colima	Cuauhéemoc	1033430	192315	1250	14.7	8,079
San Marcos	SM	Jalisco	Tonila	1033015	192642	1120	13.8	3,279
Sayula	Sa	Jalisco	Sayula	1033602	195258	1360	41.2	27,311
Tonila	Ton	Jalisco	Tonila	1033256	192429	1240	13.4	3,099
Tuxpan	Tx	Jalisco	Tuxpan	1032232	193314	1140	25.5	26,134
Yerbabuena	Yb	Colima	Comala	1036844	194761	1470	8.1	31
Zapotiltic	Za	Jalisco	Zapotiltic	1032457	193729	1300	24.2	21,440

*Fuente: Censo de población INEGI 2005

La ceniza es transportada en función de la dirección del viento y varía de acuerdo a la altura a la cual se alza la columna eruptiva. En la tabla 6 se muestran las alturas de las principales columnas eruptivas durante 2005, así como la dirección predominante del viento.

Durante los meses de verano, que también coincidió con las columnas más altas, la ceniza fue llevada hacia el W-WSW-SW, provocando mayor acumulación de ceniza en Montitlán, El Naranjal y La Becerrera.

Tabla 6. Alturas de las principales columnas eruptivas y dirección del viento.

Fecha	Altitud msnm	Dirección	Fecha	Altitud msnm	Dirección
15-Ene-05	4310	E	05-Jun-05	9428	W
30-Ene-05	4310	NE	06-Jun-05	8500	SW
15-Feb-05	4360	E	30-Jun-05	8360	-
22-Feb-05	4310	SW	05-Jul-05	5252	-
28-Feb-05	5360	W	30-Jul-05	6860	-
10-Mar-05	5860	NE	15-Ago-05	6960	W
30-Mar-05	6160	W	30-Ago-05	6960	W
15-Abr-05	6160	E	15-Sep-05	6860	-
30-Abr-05	7160	E	27-Sep-05	7620	WSW
07-May-05	5560	E	15-Oct-05	4260	-
10-May-05	8500	NW	30-Oct-05	4260	-
16-May-05	6180	W	15-Nov-05	4060	-
23-May-05	6860	E	30-Nov-05	4060	-
30-May-05	8500	SE	15-Dic-05	4160	-
02-Jun-05	8036	SW	30-Dic-05	4160	-

Con la distribución observada y los espesores medidos, se elaboro un mapa de distribución de ceniza (Fig. 3).

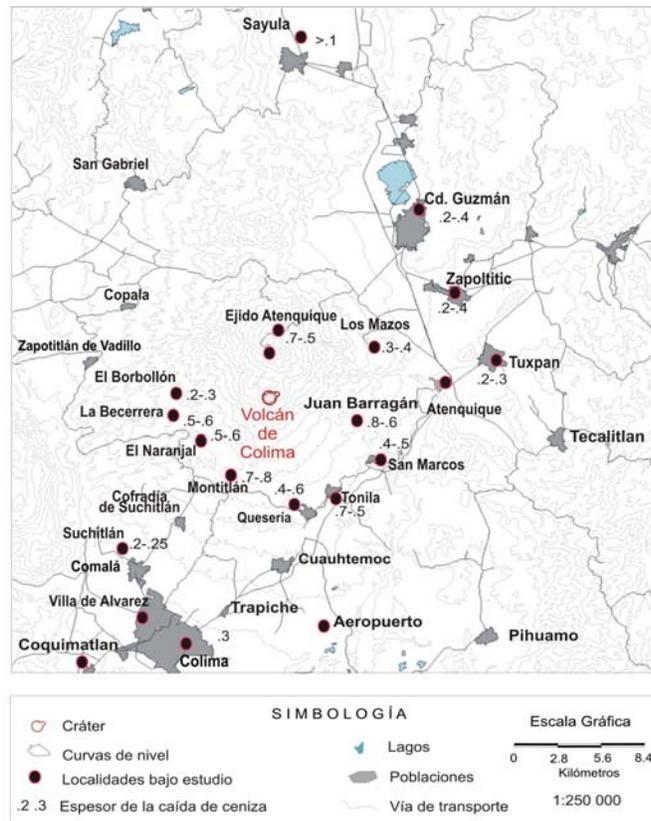


Fig. 3 Distribución de la caída de ceniza con espesores medidos a lo largo del 2005. Espesores en mm.

Análisis de la Ceniza

En el análisis granulométrico de las cenizas, se observa que el mayor porcentaje de partículas finas se encuentran en las localidades más distantes al volcán, como es el caso de Cd. Guzmán, (CDG) a 26.5 km del volcán. Las cenizas con contenido de partículas más grandes se presentan en los lugares más cercanos, como en El Borbollón (Bo) a 10 km y Ejido Atenquique (EAT) a 8.8 km del volcán. (Tabla 6) (Fig.4) Sin embargo, también hubo cenizas finas en estas poblaciones.

En los resultados del análisis de la ceniza se observa que aunque la textura de las muestras varía en su mayoría de phi 0(1mm) a phi 5(0.030 mm). El contenido de ceniza fina es muy alto en algunas de las muestras de llegando hasta 91%. El análisis granulométrico muestra que principalmente se trata de ceniza media (phi 1-3) aunque, con importantes cantidades de ceniza fina (phi 4-5) (Tabla 7). Las cenizas finas son las que mayor potencial de daño tienen.

Tabla 7. Granulometría de las muestras de ceniza.

Clave	Phi-3 (8mm)	Phi-2 (4mm)	Phi -1 (2mm)	Phi 0 (1mm)	Phi 1 (0.5mm)	Phi 2 (0.25mm)	Phi 3 (0.122mm)	Phi 4 (0.063mm)	Phi 5 (0.030mm)	Total %
Co120405Bo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.67	5.00	42.67	16.00	86.33
Co100505EAT	0.00	0.00	90.91	3.03	3.03	3.03	0.00	0.00	0.00	100.00
C010a1300505Tx	0.00	0.00	0.00	1.20	87.22	6.64	2.36	1.48	0.56	99.46
Co230505Bo	0.00	0.00	3.50	74.90	20.65	0.25	0.20	0.25	0.00	99.75
Co140605JB	0.00	0.00	0.00	0.00	0.91	33.18	5.45	47.27	10.91	97.73
Co020605Bo	0.00	0.00	0.00	0.30	62.70	35.60	0.05	0.25	0.00	98.90
Co05a1120605Tx	0.00	0.00	0.00	1.40	49.52	34.36	7.00	3.20	0.96	96.44
Co060605To	0.00	0.00	1.50	14.50	54.00	21.00	0.50	3.00	2.50	97.00
Co060605Bo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.33	0.33	69.33	23.33	94.33
Co090605Qu	0.00	0.00	1.00	24.00	58.00	12.00	1.00	2.50	1.50	100.00
Co090605Co	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	58.00	2.50	28.50	8.00	97.00
Co100605NV	0.00	0.00	0.45	14.00	60.00	15.60	5.35	1.60	0.15	97.15
Co100605SM	0.00	0.00	0.00	0.43	56.73	0.00	29.07	9.53	1.07	96.83
Co10a1130605EAT	0.00	0.00	0.37	2.22	42.59	46.30	0.74	4.44	3.33	100.00
Co120605CoSu	0.00	0.00	0.00	0.00	50.00	4.75	4.00	27.63	13.50	99.88
Co120605DCh	0.00	0.00	0.00	0.00	37.00	40.33	3.00	15.67	4.00	100.00
Co130605EAT	0.00	0.00	0.00	0.00	5.88	23.53	5.88	41.18	23.53	100.00
Co210605Bo	0.00	0.00	0.00	0.00	27.80	54.60	3.40	10.40	2.60	98.80
CO270705BO	0.00	0.00	0.36	22.00	44.80	15.20	10.00	4.40	0.80	97.56
CO300705BO	0.00	0.00	0.00	0.00	18.00	57.60	12.80	7.60	1.60	97.60
C0270905Bo	0.00	0.00	98.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
Co041005Bo	0.00	0.00	0.00	1.00	74.67	21.67	0.00	1.00	1.67	100.00
Co231005B0	0.00	0.00	0.00	0.00	4.33	33.33	8.00	30.33	21.33	97.333
Co241105Bo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50.75	7.38	25.50	15.00	98.63
C01105EAT	73.29	26.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
Co29y301105CDG	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.33	4.00	72.00	15.33	98.67
Co061205CDG	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	28.67	24.67	38.67	9.00	100
Co01a1101205EAT	0.00	0.00	0.30	0.67	39.00	27.67	17.33	10.33	4.00	99.30
CO121205Qu	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.67	64.00	16.67	85.33

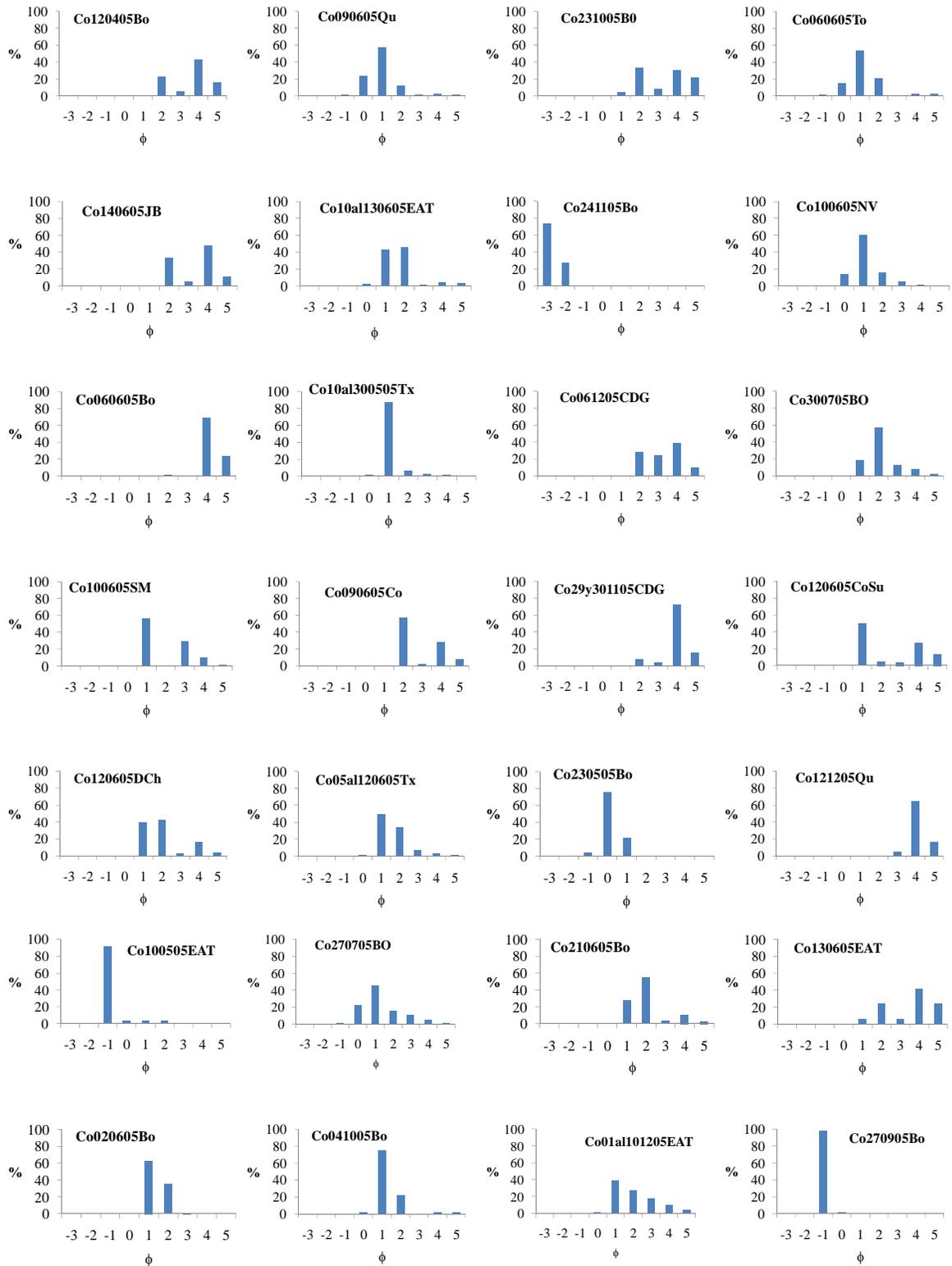


Fig 4. Gráficas que muestran las variaciones texturales de la ceniza. Porcentaje de phi.

Análisis Químico de Elementos Mayores de la Ceniza.

Los resultados de los análisis de ceniza muestran que la ceniza tiene un contenido de sílice que varía del 54 al 59 % y con contenido elevado de aluminio típico de rocas calcialcalinas (Tabla 8).

Tabla 8. Análisis químico de las cenizas. Se muestra el % de cada compuesto.

Muestra	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	PxC	Suma
Co140605JB	57.56	0.549	18.58	4.731	0.088	2.113	6.443	4.501	1.278	0.225	2.43	98.49
Co100605EAT	55.58	0.591	17.98	5.31	0.092	2.318	6.238	4.207	1.212	0.248	4.11	97.89
Co100605EAT	59.43	0.663	17.42	6.153	0.104	3.64	6.089	4.321	1.304	0.208	0.02	99.35
Co100605NV	58.69	0.669	17.27	6.477	0.118	4.031	6.208	4.163	1.234	0.192	0.14	99.2
Co060605To	58.37	0.641	16.7	6.202	0.1	3.551	6.554	4.291	1.292	0.209	1.14	99.04
Co060605To	58.84	0.647	17.79	5.867	0.101	3.301	6.377	4.401	1.266	0.212	0.44	99.24
Co120405Bo	56.02	0.565	18.41	4.849	0.09	2.338	6.366	4.452	1.195	0.234	2.68	97.21
Co230505Bo	58.33	0.659	17.21	6.129	0.113	3.783	6.01	4.254	1.253	0.202	0.73	98.77
Co020605Bo	57.84	0.596	18	5.43	0.106	2.928	6.02	4.408	1.326	0.224	1.46	98.34
Co020605Bo(2)	54.89	0.562	17.46	4.824	0.079	2.123	6.039	4.292	1.355	0.324	5.41	97.35
Co060705Bo	59.21	0.55	19.01	4.67	0.079	2.1	6.45	4.63	1.26	0.223	1.96	100.1

El principal gas lixiviado es el SO₄, con concentraciones que varían de 7 a 54 mg/l en la ceniza que cayó en la parte suroeste. El contenido de flúor alcanzó el 0.378 (Tabla 9). Estos valores no representan riesgo para la población pues es necesario 1200mg/l de SO₄ para poner en riesgo la salud de las personas (EPA, 1999) y 1.5 mg/l de F⁻ para exceder los parámetros planteados en la guía de agua potable de la OMS (1993)

Tabla 9. Análisis de lixiviados

Muestra	SO ₄ (mg/l)	Cl(mg/l)	F ⁻ (mg/l)
Co270705Bo	44.29	4.97	0.345
Co280705Bo	54.19	3.32	0.325
Co290705Bo	24.62	3.96	0.378
Co300705Bo	7.33	2.29	0.316
Co310705EAT	20.33	3.7	0.16

Resultados de las Encuestas y Observaciones.

Las observaciones en campo y las entrevistas (289) realizadas a la población permitieron conocer cuales eran las afecciones que se presentaron en plantas y animales. Además fue posible conocer de manera preliminar los padecimientos que se presentan en la salud de las personas. Alrededor del 50% de las personas entrevistadas (152) no reportaron afección.

Se reportaron 65 casos de problemas en las vías respiratorias, que van desde simples molestias en la garganta, tos, y algunos casos en los que personas con enfermedades preexistentes presentan crisis debido al contacto con la ceniza volcánica.

Se obtuvieron 42 reportes de afectaciones en los ojos; comezón, enrojecimiento, dificultad para ver e inflamación.

Seis personas tuvieron irritación en la piel, muy posiblemente se debió a alguna alergia a los componentes de la ceniza.

En Tonila 15 personas presentaron diarrea al tomar agua de un manantial. Esta afectación pudo deberse al contacto que tiene el cuerpo de agua con los gases magmáticos o a la caída de ceniza en el manantial, pues datos otorgados por los servicios médicos, indican que los análisis de calidad de agua no presentaron organismos que pudieran causar diarrea.

Se registró la muerte de 9 cabezas de ganado asociadas a la caída de ceniza, 4 en el Borbollón, 3 en Tuxpan, 2 en el Naranjal, además de un número no cuantificado de ganado enfermo en El Borbollón, Quesería, San Marcos y Ejido Atenquique. Presumiblemente estos animales comieron pastura y bebieron agua contaminada con ceniza de caída, lo que primero causó diarrea abundante y días después su muerte.

De acuerdo a las referencias de los entrevistados se ha observado una disminución en el número de aves que se observan, desde que el volcán entró en este último periodo de actividad. Esto puede deberse también a otros factores, como aumento en la temperatura,

disminución en la cantidad de agua y perturbación del ambiente natural, sin embargo, la actividad volcánica puede, para este caso, considerarse como un factor en la disminución del número de aves. (Tabla 10).

Tabla 10. Frecuencia de enfermedades y muerte en animales según entrevistas.

Localidad	Ganado enfermo	Casos de Afección.		
		Muerte de ganado	aves	perros
Ejido Atenquique	X			
El Borbollón	X	4		
El Naranjal		2	X	X
Los Mazos			X	
Montitlán				X
Quesería	X		X	X
San Marcos	X		X	X
Sayula				X
Tuxpan		3		
Total		9		

Se observó también, que algunas plantas como orégano, papaya, durazno, chayote, noche buena, rosas y guayaba, presentaban afectaciones, como pérdida de turgencia y en el caso del fruto un tipo de putrefacción, principalmente la guayaba, cuando la ceniza proveniente de la actividad volcánica tenía contacto con estas plantas (Tabla 11).

Tabla 11. Plantas y sitios en los que se presentó daño a la vegetación.

Planta	Lugar
Orégano	Qe, Sm,
Papaya	AT, Be,
Noche buena	Sm, Qe, Mon,
Chayote	Bo, Be, EAT,
Guayaba	Nj, Bo, Be, Qe, Sm, EAT, Mon, Cg, To, Jb, Sa,
Durazno	Bo, EAT, Mon

Otro dato sobresaliente al cual se refieren las personas en el campo es que han notado que segundos previos a emisiones de gas y ceniza en el volcán, animales domésticos como los perros tienen un comportamiento extraño, lo que a estas personas les ha servido como sistema de alerta.

Estos datos son resultado de las observaciones directas y las entrevistas con los pobladores de las localidades bajo estudio. A continuación se presentan los resultados del procesamiento de los datos de las secretarías de salud tanto de Colima como de Jalisco. En Colima a lo largo del 2005 se registraron 975 casos de conjuntivitis en 13 comunidades

alrededor del volcán; mientras que fueron 27 594 los casos de enfermedades respiratorias en 13 localidades. En Jalisco, se observó un ligero incremento en la presencia de estos dos tipos de afecciones en la población a partir del 2003 y hasta el 2005.

Resultados del Procesamiento de las Bases de Datos de las secretarías de salud. Jalisco y Colima.

Los resultados de las estadísticas de las enfermedades respiratorias muestran que al tiempo que la actividad volcánica aumentaba, también aumentaba la frecuencia de estos padecimientos (Tabla12) (Fig.5).

Los vientos dominantes a lo largo del 2005 dispersaron la ceniza hacia el suroeste, sur, este y noreste del Volcán. Los espesores más grandes se presentaron principalmente en el sector sur-suroeste del Volcán, mientras que los más pequeños fueron en la parte noroeste y norte. La distribución de la ceniza depende de varios factores: de que tan alta sea la columna eruptiva, de la fuerza con que sopla el viento y del tamaño de las partículas. La ceniza proveniente de erupciones con columnas eruptivas altas alcanzarán una mayor dispersión. Del mismo modo, si las partículas de ceniza son finas, permanecerán más tiempo suspendidas en el aire y podrán ser acarreadas a mayor distancia. Aún cuando la columna eruptiva sea de poca altura, si el viento sopla con fuerza, la ceniza puede ser llevada a grandes distancias.

Al comparar la actividad del volcán con la frecuencia de las enfermedades respiratorias y la conjuntivitis (tabla 13, fig. 6), en la población, se observó que cuando la actividad se incrementaba también aumentan las afecciones en la población. Esto puede observarse al analizar los índices de correlación obtenidos. En poblaciones cercanas al volcán y donde el espesor de la ceniza fue considerable, se observan altos índices de correlación entre la caída de ceniza y número de afecciones, con valores de 0.83 hasta 0.93, mientras que en las poblaciones más distantes los valores de correlación fluctuaron entre 0.64 a 0.7.

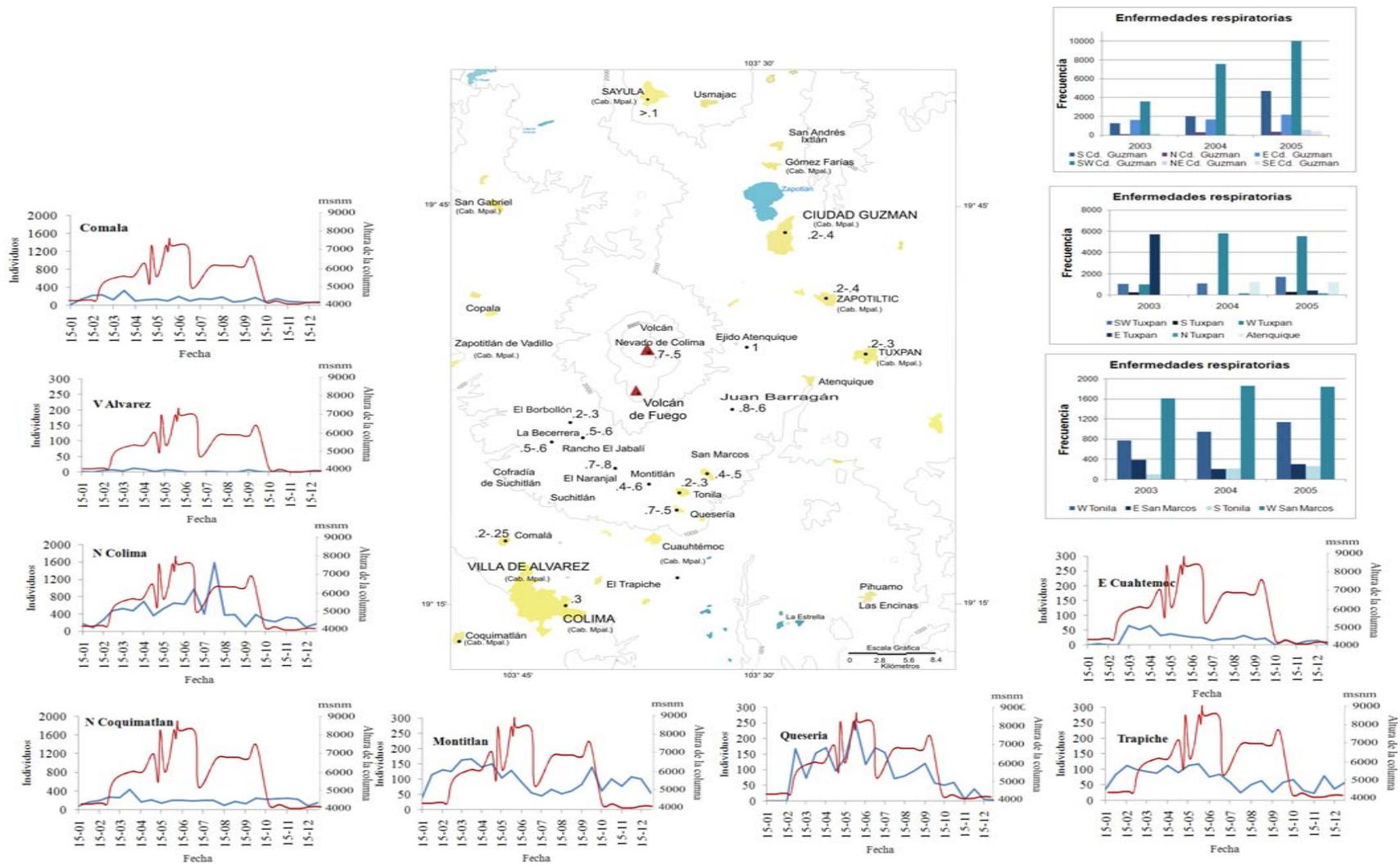


Fig 5. Enfermedades respiratorias durante 2005 Colima y 2003, 2004 y 2005 Jalisco. En azul el numero de individuos, en rojo actividad del Volcán de Colima durante 2005.

Tabla 12. Casos de enfermedades respiratorias en Colima 2005. Se muestran por región. Se presenta también el valor r del análisis de correlación.

Fecha/Lugar	Altura columna msn	S Colima	E Colima	W Colima	N Colima	Comala	N Coquimatlan	E Coquimatlan	Montitlan	S Cuauhtemoc	Trapiche	E Cuauhtemoc	Queseria	Villa de Alvarez
15-01	450	10		15	170	17	87	43	40		36	1		2
30-01	450	18		13	90	131	163	78	114	3	82	4		
15-02	500	10	7	19	270	221	200	79	131	31	112	1		5
28-02	1500	13	17	22	474	230	274	69	125	30	101		168	8
15-03	2000	24	19	24	528	125	259	102	162	13	93	65	74	4
30-03	2300	44	27	23	475	328	433	193	167	35	88	53	154	12
15-04	2300	18	5	33	686	98	161	90	139	12	112	65	171	9
30-04	3300	23	12	26	360	120	209	56	150	9	90	32	96	2
15-05	4640	10	5	26	528	132	142	48	103	10	112	38	138	7
30-05	2140	8	3	28	650	102	201	56	128	13	118	33	258	6
15-06	5568	10	10	31	632	194	195	52	90	7	76	27	116	1
30-06	4640	12	3	34	984	100	190	18	56	10	85	25	171	1
15-07	1392	20	8	32	400	150	200	34	44	11	58	15	155	3
30-07	3000	4	2	23	1580	134	200	6	66	3	24	22	72	3
15-08	3100	16	11	33	379	190	94	52	52	12	51	21	80	
30-08	3100	15	17	13	388	70	175	21	61	8	63	32	98	1
15-09	3000	9	14	18	109	101	131	31	82	7	27	20	121	7
30-09	3760	18	1	9	382	167	250	54	139	7	59	23	58	2
15-10	400	7	5	6	267	76	220	21	61	2	67		51	
30-10	400	8	1	7	230	149	232	25	100	4	31	18	59	3
15-11	200	3		17	331	90	250	44	77	3	23	5	5	
30-11	200	4		7	300	80	225	33	108	8	79	13	38	1
15-12	300	10		19	100	66	80	65	101	4	37	15	5	
30-12	300	6		11	170	69	156	13	52	12	58	5	3	
Total		320	167	489	10483	3140	4727	1283	2348	254	1682	533	2091	77
r		0.7	0.8	0.9	0.665	0.7	0.66	0.77	0.87	0.83	0.81	0.88	0.84	0.7

Se midieron los espesores de la caída de ceniza hasta 41 km al norte del volcán. Los espesores resultantes fueron de 0.1mm, sin embargo para esta área no se registraron afecciones porque no hay poblaciones.

Para el área oeste-suroeste, el municipio Comala, tiene un índice de correlación para enfermedades respiratorias de 0.7(tabla 12), mientras que para las afecciones en los ojos(tabla 13) es de 0.9, Estos resultados pudieran deberse a que las columnas eruptivas más altas se produjeron en el verano, época en que los vientos se dirigen principalmente al oeste, produciendo mayor caída de ceniza.

Los sitios de estudio del sector sur del volcán presentaron valores de 0.8 a 0.88, los cuales son altos índices de correlación. Esto se puede justificar debido a la poca distancia al volcán. En esta área los espesores de la caída de ceniza variaron de 0.4 a 0.8 mm.

En el área este del volcán, que pertenece al Estado de Jalisco, no es posible realizar el mismo tipo de análisis, debido a que los registros de salud no están detallados de la misma manera que los registros de salud en Colima, por lo tanto, los resultados sólo se pueden interpretar de manera anual. Revisando los datos desde 2003 hasta 2005 se observa un incremento en la frecuencia de persona afectadas tanto por conjuntivitis como por enfermedades respiratorias. La caída de ceniza fue menor en 2003 y 2004 con respecto al 2005

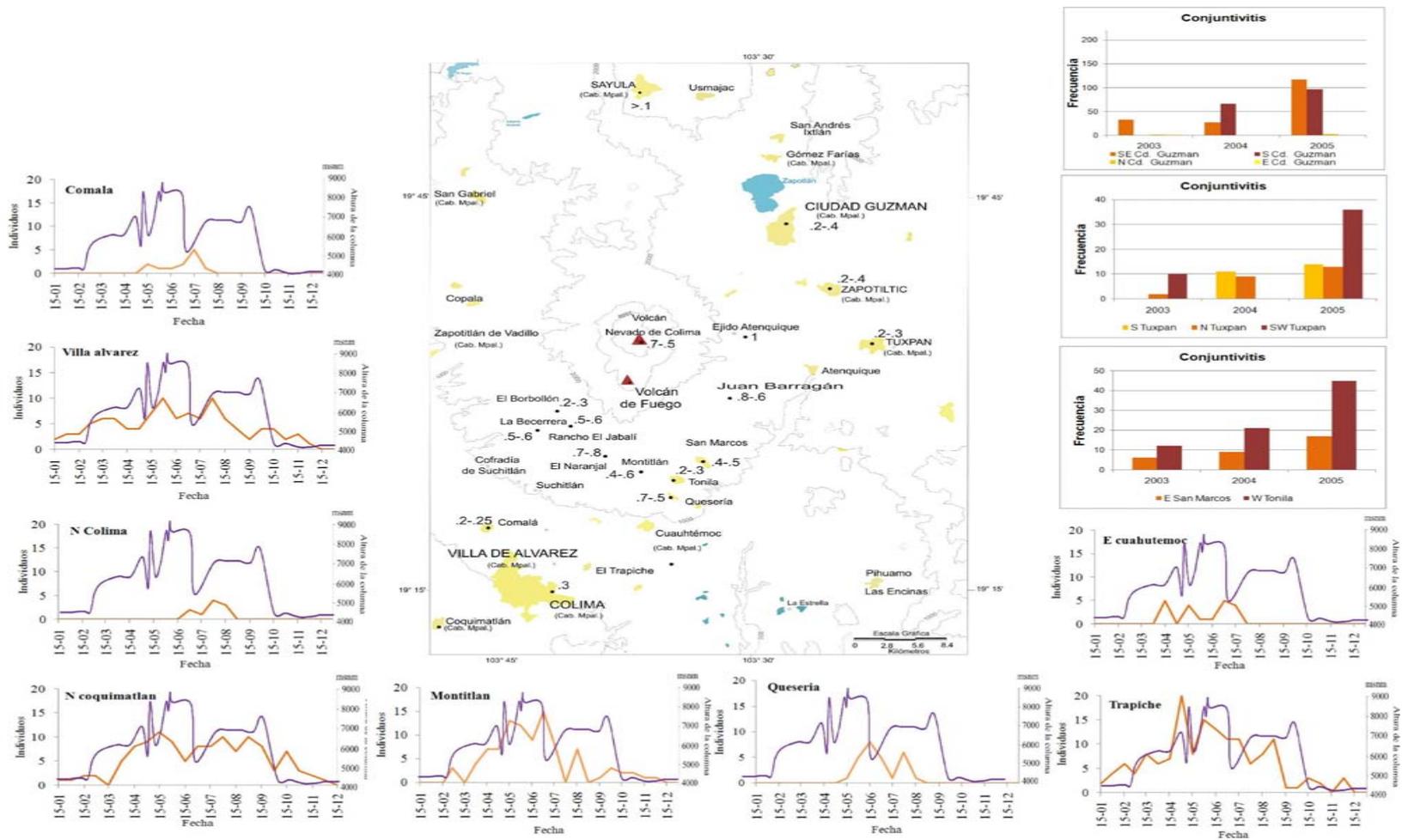


Fig 6. Conjuntivitis durante 2005 Colima y 2003, 2004 y 2005 Jalisco. En naranja el número de individuos, en morado la actividad del Volcán de Colima durante 2005.

Tabla 13. Casos de conjuntivitis en Colima 2005. Se muestran por región. Se presenta también el valor r del análisis de correlación.

Fecha/Lugar	Altura columna msnc	S Colima	E Colima	W Colima	N Colima	Comala	N Coquimatlan	E Coquimatlan	Montitlan	E Cuauhtémoc	Trapiche	N Villa Alvarez	Quesería	Villa Alvarez
15-01	450	1					1				2	3		2
30-01	450	7					1				4	4		3
15-02	500	4	1				2				6	2		3
28-02	1500	7	3	1			2		3		4	4		5
15-03	2000	8	3	1							8	4		6
30-03	2300	10	3				5		4		6	6		6
15-04	2300	9	1				8		7	5	7	12		4
30-04	3300	15	4	1			9	1	7		20	12		4
15-05	4640	18	5	3		2	11	1	13	4	8	13	1	7
30-05	2140	20	5	4		1	9		12	1	15	12	5	10
15-06	5568	13	2			1	5		9	1	13	10	8	6
30-06	4640	11	4		2	2	8	1	15	5	11	15	5	7
15-07	1392	13	11	5	1	5	8	4	8	4	11	9	1	6
30-07	3000	7	3		4	1	10	4			6	9	6	10
15-08	3100	10	1	1	3		7	4	7		8	5	1	6
30-08	3100	13		4			10	1			11	8		4
15-09	3000	10		1			8	5	1		1	7		2
30-09	3760	9	1				3		3		1	5		4
15-10	400	3	1				7		2		3	3		4
30-10	400		1				3		2		2	4		2
15-11	200	3					2		1			1		3
30-11	200	3					1	1	1		3	3		1
15-12	300													
30-12	300													
Total		194	49	21	10	12	120	22	95	20	150	151	27	105
r		0.75	0.64	0.86	1	1	0.89	0.79	0.93	1	0.8	0.92	1	0.81

En Jalisco la base de datos permitió comparar el número de casos de enfermedades respiratorias durante 2003, 2004 y 2005. En 2003 y 2004 la actividad del volcán no produjo cantidades importantes de ceniza, mientras que en 2005 sí. (Tabla 14) (Fig. 5).

Tabla 14. Casos de enfermedades respiratorias en Jalisco durante 2003, 2004 y 2005.

Lugar	2003	2004	2005
S Cd. Guzman	1262	2000	4704
N Cd. Guzman	110	328	378
E Cd. Guzman	1640	1657	2174
SW Cd. Guzman	3561	7586	10000
NE Cd. Guzman	15426	11544	11618
NE Cd. Guzman	153	110	551
SE Cd. Guzman	0	0	402
S Sayula	2736	3471	5421
Usmajac	117	673	1005
N Sayula	52	529	267
E Sayula	5983	6771	6354
W Sayula	111	148	344
W Tonila	771	946	1136
E San Marcos	386	200	303
S Tonila	92	214	258
W San Marcos	1612	1863	1843
SW Tuxpan	1034	1077	1728
S Tuxpan	282	0	306
W Tuxpan	1024	5823	5523
E Tuxpan	5736	0	452
N Tuxpan	0	158	197
Atenquique	76	1218	1211

A través del análisis de varianza (ANOVA) se pudo determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre las frecuencias de las enfermedades respiratorias de los años 2003, 2004 y 2005 (Tabla 15). Los análisis de varianza se realizaron por región geográfica. Las regiones son: Cd. Guzmán, Sayula-Usmajac, Tonila-San Marcos y Tuxpán-Atenquique.

Ho: $\mu_{2003} = \mu_{2004} = \mu_{2005}$

Hi: $\mu_{2003} \neq \mu_{2004} \neq \mu_{2005}$

Tabla 15a. ANOVA Cd Guzmán.

Fuente	SS	G. L.	MS	F
Tratamiento	4935398	2	2467699	0.8945
Error	33104986	12	2758748	
Total	445760252	20		

F calculada= 0.8945 < F tabla= 3.49

Alfa 0.05

Tabla 15b. ANOVA Sayula- Usmajac

Fuente	SS	G. L.	MS	F
Tratamiento	5052704	2	2526352	2.1693
Error	9316781	8	1164597	
Total	99278870	14		

F calculada= 2.1693 < F tabla =3.74

Alfa 0.05

Tabla 15c. ANOVA Tonila- San Marcos

Fuente	SS	G. L.	MS	F
Tratamiento	57714	2	28857	2.1639
Error	80012	6	13335	
Total	4928996	11		

F calculada= 2.1639 < F tabla= 3.98

Alfa 0.05

Tabla 15 d. ANOVA Tuxpán-Atenquique

Fuente	SS	G. L.	MS	F
Tratamiento	162082.333	2	0.0226	0.0226
Error	35880188	10		
Total	69864144	17		

F calculada= 0.0226 < F tabla= 3.59

Alfa 0.05

Con un intervalo de confianza de 0.05 no es posible rechazar H_0 en cuatro regiones estudiadas del Estado de Jalisco. Las pequeñas variaciones observadas en los registros de las enfermedades respiratorias a lo largo del 2003, 2004 y 2005 no son estadísticamente significativas, sin embargo si fué posible observar que en las poblaciones mas cercanas al Volcán de Colima y que reciben más ceniza (Tonila y San marcos), el valor para f calculada esta más cercano al valor de f en tablas, a diferencia de las regiones que están más alejadas al volcán y que la cantidad de ceniza es menor (Cd. Guzmán, Tuxpan y Atenquique), en las que el valor de f calculada es mucho menor al valor de f en tablas.

A través del procesamiento de la base de datos de Jalisco fue posible comparar el número de casos de afecciones en los ojos durante 2003, 2004 y 2005. (Tabla 16, Fig. 6).

Tabla 16. Casos de conjuntivitis en Jalisco durante 2003, 2004 y 2005.

Lugar	2003	2004	2005
SE Cd. Guzman	33	27	117
S Cd. Guzman	0	66	96
N Cd. Guzman	2	0	3
E Cd. Guzman	2	0	1
SW Cd. Guzman	28	5	22
S Sayula	2	35	211
N Sayula	0	39	27
Usmajac	62	45	43
W Sayula	0	10	28
E San Marcos	6	9	17
W Tonila	12	21	45
S Tonila	0	6	0
S Tuxpan	0	11	14
N Tuxpan	2	9	13
SW Tuxpan	10	0	36

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) para las molestias en los ojos a lo largo del 2003, 2004 y 2005(Tabla 17). Esto se llevo a cabo de la misma manera que para las enfermedades respiratorias.

Ho: μ 2003= μ 2004 = μ 2005

Hi: μ 2003 \neq μ 2004 \neq μ 2005

Tabla 17 a. Cd. Guzmán

	SS	G. L.	MS	F
Tratamiento	803.444	2	401.722	5.514
Error	728.555	10	72.8556	
Total	2545.611	17		

F calculada= 5.514 >F tabla =4.45.

Alfa 0.05

Tabla 17b.Sayula

Fuente	SS	G. L.	MS	F
Tratamiento	8054.166	2	4027.083	1.2981
Error	18613.166	6	3102.194	
Total	35601.666	11		

F calculada =1.2981 <F tabla =3.98

Alfa 0.05

Tabla 17 c.Tonila-San Marcos

Fuente	SS	G. L.	MS	F
Tratamiento	803.444	2	401.722	5.514
Error	728.555	10	72.855	
Total	2545.611	17		

F calculada= 5.514 >F tabla 3.59

Alfa 0.05

En las regiones de Tonila, San Marcos y Cd. Guzmán, se apreció un incremento significativo en los casos de molestias en los ojos durante 2003, 2004 y 2005. Tonila y San Marcos, por estar más cercanas al volcán recibieron mayores cantidades de ceniza. A su vez, Cd. Guzmán, aunque se encuentra alejada del volcán y la cantidad que recibió de ceniza es menor, si presenta un incremento significativo en la frecuencia de afecciones en los ojos, no así en Sayula, que por estar más alejada del volcán recibió cantidades de ceniza muy pequeñas.

VI CONCLUSIONES

La caída de ceniza producida por el Volcán de Colima causó enfermedades de tipo respiratorio y conjuntivitis en Cd. Guzmán, Sayula, El Borbollón, Tuxpan, Atenquique, Ejido Atenquique, Juan Barragán, Tonila Los Mazos, Zapotiltic, Cofradía de Suchitlán, Naranjal, Montitlan, San Marcos, Quesería, La Yerbabuena, y La Becerrera.

Se observó que el brote de enfermedades coincide con la actividad del Volcán de Colima, es decir, cuando la actividad aumenta lo hace también la frecuencia de estas enfermedades en la población. Puede entonces asociarse la aparición de conjuntivitis, y problemas respiratorios con la caída de ceniza en las localidades estudiadas.

La ceniza volcánica actúa como irritante en los ojos, aún en bajas concentraciones, actúa también como irritante de las vías respiratorias, causando tos, flemas y muy probablemente exacerbación de asma. Estos problemas son temporales en el corto plazo, pero no se conoce con certeza los efectos que la exposición constante a la ceniza del Volcán de Colima podrían tener en la salud de la población.

La ceniza del Volcán de Colima, es agente de morbilidad en la población, así como causante de afección en los cultivos y enfermedad en el ganado.

La ceniza volcánica en Colima provocó daños en cultivos de guayaba y algunas herbáceas

La ceniza volcánica produjo inapetencia en ganado, así como quemaduras y probablemente la muerte de algunas cabezas.

La forma en la que la ceniza volcánica puede afectar a la biota dependerá de las condiciones específicas de cada organismo, de factores como clima y dirección del viento, así como de las características fisicoquímicas de las partículas.

Se debe estar prevenidos para cualquier eventualidad volcánica, en la erupción del Monte Santa Helena las personas se rehusaban a creer que una gran erupción podía ocurrir y los servicios de salud no contaban con una plan de contingencia (Buist et. al., 1986b), esto mismo puede ocurrir en el Volcán de Colima y en otros volcanes de México.

Es necesario reducir la exposición humana a la ceniza volcánica; reducir las actividades al aire libre y si estas son necesarias usar cubreboca y permanecer en lugares libres de ceniza. Las autoridades, protección civil y los servicios médicos, deben también estar informadas sobre los efectos que las erupciones volcánicas tienen a largo plazo y diseñar programas de prevención, no solo para contingencias, sino, para efectos a mediano y largo plazo.

Los resultados de esta tesis respaldan la hipótesis de que la ceniza volcánica produce afecciones tanto en humanos, animales y plantas. Por consiguiente y debido a la alta probabilidad de que las emisiones de ceniza del Volcán de Colima continúen, es necesario fomentar la interacción entre el sector salud, protección civil, la población y los organismos responsables del monitoreo volcánico.

Referencias

AGI. Archivo General de Indias. 1692

Baxter P. J, Bernstein R. S, Falk H, French J, Ing R. 1982 Medical aspects of volcanic disasters: an outline of the hazards and emergency response measures. *Disasters*; 6:268-276.

Baxter P. J., Ing R., Falk H., Plikaytis B. 1983 Mount St. Helens eruptions: The acute respiratory effects of volcanic ash in a north American community. *Archives of environmental health*. Vol38 No 3.

Bárcena, M., 1887. Informe sobre el estado actual del Volcán de Colima. *Anales del Ministerio de Fomento, México*, 328-365.

Bardintzeff ,J. M., McBirney A. 2000. *Volcanology*, second edition. Jones and Bartlett publishers inc. London UK.

Bernstein R.S, Baxter P. J, Buist A. S.1986a. Introduction to the epidemiological aspects of explosive volcanism. *Am J Public Health*;76:3-9.

Bernstein R. S., Baxter P. J., Buist A. S. 1986b. Immediate public health concerns and actions in volcanic eruptions: lessons from the Mount St. Helens eruptions, May 18-October 18,1989. *Am J Public Health*:76:25-37.

Bland M. C., Nakaue H. S., Geoger M. P., Helfer D. H. 1985. Duration of exposure histological effects on broiler lungs, performance and house environment with Mt. St. Helens volcanic ash dust. *Poult Sci*; 64: 51-58.

Blong, R. J. 1984. *Volcanic hazards: A sourcebook on the effects of eruptions*. Academic Press Sydney.

Bretón, M., Ramírez, J., Navarro, C., 2002. Summary of the historical eruptive activity of Volcán de Colima, Mexico 1519-2000. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 117, 1-2: 21-46.

Brewis R.A. 1979. *Patología y terapia de las enfermedades respiratorias*. Editorial el manual moderno. Mexico. pp 241-250.

Buist A. S, Vollmer W. M., Jonson L. R, Bernstein R. S., and Mccamant L. E. 1985 A four years prospective study of the respiratory effects of volcanes ash from Mt. St. Helens. *Am. Rev respir dis*; 133:526-534.

Buist A. S., Bernstein R. S., Johnson L. R., Vollmer W. 1986a. Evaluation of physical health effects due to volcanic hazards: human studies. *Am. J. Public Health*:76: 66-75.

Buist A. S., Bernstein R. S. 1986b. Health effects of volcanoes: An approach to evaluating the health effects of an environmental hazard. *Am. J. Public Health* 76: 1-2.

Byczkowski L. T., Martin S.L. 2005. Planning a sample survey with many-to-many frame structure: an empirical investigation of the effects of frame imperfections on estimates of population totals. *Journal of statistical planning and inference* 135 (2005) 498-515.

Cronin S., Hedley M., Smith G., Turner m. 1996. Impacts on soil and pasture chemical composition, in impacts of October 1995 Ruapehu ash fall on soil fertility. Palmerston North Zeland, Massey University Department of Soil Science and Fertiliser and Lime Research Centre, 33p.

Cronin S. J., Hedley, M. J., Smith R. G., Neall V. E. 1997. Impact of Ruapehu as fall on soil and pasture nutrient status 1. October 1995 eruptions. *New Zeland Journal of Agricultural Research*. Vol 40:383-395.

Cronin, S. J., Hedley, M. J., Neall, V. E., Smith, R. G., 1998. Agronomic impacts of tephra from the 1995 and 1996 Ruapehu volcano eruptions, New Zeland. *Environmental Geology* 34(1), 21-30.

Cronin S. J., Sharp D. S. 2002. Environmental impacts on health from continuous volcanic activity at Yasur (Tanna) and Ambrym, Vanuatu. *International Journal of Environmental Health Research* 12, 109-123.

Cronin S. J., Neall V.E., Lecointre J.A., Hedley M. J., Loganathan P. 2003. Environmental hazards of fluoride in volcanic ash: a case study from Ruapehu volcano, New Zealand. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 121. 271-291.

DOGEJ. Diario Oficial del Gobierno del Estado de Jalisco. 1889.12.2

Domínguez Soto Luciano. 1996. *Dermatología*. Edit. Intersistemas. México. 48 pp.

Eissen, J., Lardy, M., Monzier, M., Mollard, L., Chaney, D., Latter, J., Kusselson, S. and Temakon, S. 1989. Ash plume and lava flow, recent eruption history, Ambrym. *SEAN Bull.* 14. 04.

Eissen, J., Lardy, M., Monzier, M., Robin, C., Picard, C. and Douglas, C. 1990. Report on the volcanological field work on Ambrym and Tanna Islands (Vanatu) from 2 to 25 September 1990. *Rapp. Miss. Sci. Terre Geol.-Geophys.-ORSTOM (Noumea)* 22, 22 pp.

EPA. Environmental Protection Agency. 1999. Health effects from exposure to high levels of sulfate in drinking water study. Centers for disease control and prevention USA. EPA 815-R-99-001.

Estrategia internacional para la reducción de desastres. 2002. América Latina y el Caribe. *Revista* 2

Forbes L., Jarvis D., Potts J., Baxter P. 2003. Volcanic ash and respiratory symptoms in children on the island of Montserrat, British West Indies. *Occup. Environ. Med*; 60;207-211.

Galindo I., Elizalde A., Solano R., Cruz, M. 1998. *Climatología del Volcán de Colima*. Universidad de Colima. Pp 9-10.

Gobierno de Ecuador. 2000. Ecuador: alarmas de contaminación del aire de Quito. El proyecto volcanes y su impacto económico por disminución de las diarreas infantiles. Boletín No. 3 abril.

Graue W E. 2003. *Oftalmología en la practica medica general* 2ª ed. México. Facultad de Medicina, UNAM/Mc Graw Hill Interamericana editores. pp 79-92.

Hee Lee S., Richards R. J. 2004. Montserrat volcanic ash induces lymph node granuloma and delayed lung inflammation. *Toxicology* 195 155-165.

Horwell, C. J., Fenoglio, I., Ragnarsdottir, K. V., Sparks, R. S. J., Fubini, B., 2003. Surface reactivity of volcanic ash from the eruption of Soufriere Hills Volcano, Montserrat, West Indies with implications for health hazards. *Environmental Research* 93, 202-215.

INEGI: Censo de población y vivienda 2005. Colima

INEGI : Censo de población y vivienda 2005. Jalisco

Johnston D.M, Houghton B.F., Neall V.E., Ronan K.R., Paton D. 2000. Impacts of the 1995-1996 Ruapehu eruptions, New Zealand: an example of increasing societal vulnerability. *Geological Society of America Bulletin*. Vol 112:no.5 720-726.

Jonson Kit G., Loftsgaarden Don O and Gideon Rudy A. 1982. The effects of Mount St. Helens volcanic ash on the pulmonary function of 120 elementary school children. *Am rev respir dis*. 126: 1066-1069.

Kennedy, R. A., 1981. The eruption of Mount. St. Helens: impacts on agriculture and the effects of Mount St. Helens on plants. *Scanning Electron Microscopy* 4, 235-241.

Larios Osorio V. 2001. ¿Cómo hacer una encuesta? Hipertexto RRPPnet Depto. de Matemáticas de la Fac. de Ingeniería de la U. A. Q. México.

Lasaga D., 1793. Descripción geográfica del partido de Colima 85 pp.

Le Guern, F., Bernard, A., Chevrier, R. M., 1980. Soufriere of Guadeloupe 1976-1977 eruptio-mass and energy transfer and volcanic health hazards. *Bulletin of Volcanology* 43 (3), 577-593.

Magallón Estrada A. *Diario de Colima*. 2005.

Malilay, J., Guido R., M., Ramirez V., Á. 1997. Public health surveillance after a volcanic eruption: lessons from Cerro Negro, Nicaragua, 1992. *Rev Panam Salud Publica*, Mar. 1997, vol.1, no.3, p.213-219. ISSN 1020-4989.

Martin Del Pozzo A. L., Sheridan M., Barrera D., Lugo Hubp J. and Vazquez Selem L. 1995. Potencial hazards from Colima volcano, Mexico. *Geofisica internacional*, vol.34, num.4, pp. 363-376.

Mota-Padilla, M. 1742. *Historia de la conquista de la nueva Galicia*. Guadalajara.

Monjarez- Ruiz, J., 1989. *Mitos cosmológicos del México Indígena*. INAH, México.

Organización Mundial de la Salud (OMS) 1992. CIE 10. *Clasificación Estadística Internacional de Enfermedades y otros Problemas de salud*.

Ortoll S. 1988. *Colima, una historia compartida*; México, SEP, Instituto Mora. p 390-400.
Organización Panamericana de la Salud (OPS)/Pan American Health Organization (PAHO). 1982. *Epidemiologic surveillance after natural disaster*. Washington, DC. Publicación científica 420.

Organización Panamericana de la Salud (OPS)/PanAmerican Health Organization (PAHO). 1983. *Desastres Preparativos y Mitigación*. Boletín No. 16 - Julio, 8 p.

Padilla de Alba F. J. 2006. *Oftalmología Fundamental*. 7 ed. México: Méndez editores. pp.93-99, 355-367.

Pérez De-León J. M., 1789. *Descripción del distrito de Colima y del corregimiento de San Miguel Xilotlan en 1789*. Documentos para la historia de Colima. Siglos XVI-XIX, p 250.

Puga G.B., 1889. *La ultima erupción del Volcán de Colima*. Mem Soc. Cient. Antonio Alzate, México 3,97-102.

Reaman J., Leivesley S., Hogg C. 1984. *Epidemiology of natural disasters*. Basilea Suiza.

Reyes-Davila G. A., De la Cruz- Reina S. 2002. Experience in the short-term eruption forecasting at Volcan de Colima, Mexico, and public response to forecasts. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 117. 121-127.

Riordan-Eva P, Whitcher J. P. 2005. *Oftalmología general de Vaughan y Asbury* 13a ed. México. Editorial El manual moderno. pp 4-6, 107-112-

Rivera, T. A. Cedillo, R. L., Gil, J. C., Giono, C. S. 2003. Efectos de la exposición a la inhalación de la ceniza del Volcán Popocatepetl en hámsters. *Rev. Universidad y ciencia* 19: 53-61.

Rivera, T. A., Yañez, S. A., Cedillo, R. L. 2005. *Emisión de ceniza volcánica y sus efectos*. Ecosistemas. 2005/3

- Roaj, J. Neumología. Mc Graw Hill Interamericana editores, México, 2000.pp 303-319.
- Rojas, R. M., Pérez, N. J., Villalba J., Catalán V. M., Hernandez, V. E., Patricia, H. D. 1996. ¿San Nicolas de los ranchos un caso representativo de afecciones respiratorias, por exposición a ceniza volcánica? Rev. Inst. Nal. Enf. Resp., 9 (1): 14- 18.
- Rojas,R. M., Catalan, V. M., Martin,D. A.L., Garcia, O. E., Villalba, C. J. and Perez, N. J. 2001. A seven months prospective study of the respiratory effects of exposure to ash from Popocatepetl Volcano, Mexico. Environmental geochemistry and health 23:383-396.
- Schiff L. J., Byrne M. M., Eliot S. F., Moore S. J., Ketels K. V., Graham J. A. 1981. Response of hamster trachea in organ culture to Mt. St. Helens volcano ash. Scan Electron Microsc. PT: 169-178.
- Selinus O.,Alloway B., Centeno J.,Finkelman R.,Fuge R., Lindh U., Smedley P. 2005. Essentials of Medical Geology. Elsevier Academic Press. Oxford UK..pp 203-225.
- Tello, F. A., 1651. Libro Segundo de la cronica miscelanea en la que se trata de la conquista espiritual y temporal de la Santa Provincia de Xalisco en el Nuevo Reino de la Galicia y Nueva Vizcaina y descubrimiento del Nuevo México., imprenta de la república literaria, Guadalajara.
- Universidad de Colima, 2004. Boletín vulcanológico. www.ucol.mx
- Universidad de Colima, 2005. Boletín vulcanológico. www.ucol.mx
- Universidad de Colima, 2006. Boletín vulcanológico. www.ucol.mx
- Waitz, P.,1915. Der gegenwartige Zustand der mexikanischen Vulkanen und die letzte Eruption des Vulkans von Colima. Z. Vulkanol.1,247.
- Witham C. S.,Oppenheimer C., Horwell C. J. 2005. Volcanic ash-leachates: a review and recommendations for sampling methods. Journal of Volcanology and Geothermal research. 141, 299-326.
- World Health Organization (WHO). 1993. Guidelines for drinking- water quality, 2nd ed, Floride in drinking water. World Health Organization, Geneva.17p.
- Yano E, Yokoyama Y, Nishii S. 1986 Chronic pulmonary effects of volcanic ash: an epidemiologic study. Arch Environ Health; 41:94-99.
- Yano E.,Yokoyama Y., Higashi H., Nishi S., Maeda k., Koizumi A. 1990. Helath effects of volcanic ash: A repeat study. Archives of Environmental Health. Vol 45. No 61.
- Yarza De la Torre. 1992. Volcanes de México. Instituto de Geografía, UNAM.

Zehle, W. 1932. Neue Quellkuppenbildung in Colima Krater. Z. Vulkanol. XIV, 240.

Zimanowsky B., Wohletz K., Dellino P., Büttner R. 2003. The volcanic ash problem. Journal of Volcanology and Geothermal Research 122 1-5.

www.inegi.gob.mx 2008