



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

EFECTO DE LA CAÍDA DE CENIZA EN CULTIVOS DE  
AGAVE AZUL (*Agave tequilana* Weber) Y CAÑA DE  
AZÚCAR (*Saccharum officinarum* Linneo) EN LAS  
CERCANÍAS DEL VOLCÁN DE COLIMA.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

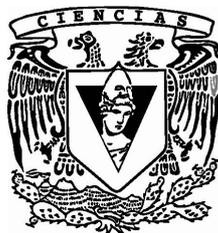
P R E S E N T A:

GARCÍA CASTILLO MIRNA GRISEL

TUTORA

DRA. ANA LILLIAN MARTIN DEL POZZO

2010





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.

*A mi mami por darme la vida,  
Educarme y cuidarme...  
Este logro es por ti y para ti,  
Gracias por apoyarme, dejarme ser yo misma  
Y por creer en mi... te amo*

*A mi hermana...  
Gracias Net por tu cariño,  
Apoyo y compañía en todo momento.*

*A mi abuelita Carmen y mi Papá  
Por ayudarme durante la carrera y  
Hasta llegar a este momento...*

*Y al amor por Enseñarme que la Suerte es  
Siempre resultado de la Inspiración de  
Cada Amanecer*

## **AGRADECIMIENTOS**

Esta tesis fue realizada en el Departamento de Vulcanología del Instituto de Geofísica, UNAM, bajo la dirección del la Dra. Ana Lilian Martin Del Pozzo, a quien agradezco su apoyo y paciencia durante la elaboración del presente trabajo.

La tesis se desarrolló con el apoyo del proyecto PAPIIT (DGAPA) y con equipo, material e instalaciones del Instituto de Geofísica. La Facultad de Ciencias fue la sede de mi desarrollo y enseñanza, donde culminé con el taller de Impacto Volcánico.

Agradezco a mis profesores Laura Escobar, Fabiola Mendiola, Rita Fonseca y Jorge Gamma, a mis compañeros de trabajo por la ayuda y colaboración, especialmente a Rosalinda. También agradezco a los profesores Gabriel Reyes, Tonatiuh Domínguez y Nick Varley de la Universidad de Colima.

Deseo hacer un especial agradecimiento a Protección Civil Colima, particularmente a Don Melchor Urzúa por su gentil ayuda y también a Carlos Hernández de Protección Civil Tuxpan.

También quiero agradecer a los Ingenieros Jaime Ochoa y Rigoberto Ramos del Ingenio de Quesería por la aportación de datos de producción de caña. El Servicio Meteorológico Nacional también me proporciono información climática y a la Sra. Marisela Sadoval de El Borbollón brindó ayuda en diversas tareas.

Le agradezco a Ernestina Vallejo Gómez, Kumiko Shimada Miyasaka y al Dr. Jorge Gamma Castro del Instituto de Geología (UNAM), por su ayuda en el trabajo de laboratorio para el análisis de suelos.

A todos mis amigos, especialmente a mis amigas colegas Eva, Mónica y Rocío por ser parte de la mejor etapa de mi vida, durante la hermosa carrera de Biología en mi querida Universidad Nacional Autónoma de México.

## INDICE

<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>2</b>
Objetivo	3
Hipótesis	3
<b>CAPITULO II. METODOS</b>	<b>4</b>
<b>CAPITULO III. ASPECTOS GEOGRÁFICOS</b>	<b>8</b>
Localización	8
Clima	9
Suelo	11
Vegetación y Uso de Suelo	11
<b>CAPITULO IV. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA</b>	<b>14</b>
Agave azul ( <i>Agave Tequilana</i> Weber, 1902).	14
Caña de azúcar ( <i>Saccharum officinarum</i> Linneo)	16
<b>CAPITULO V. ANTECEDENTES VOLCÁNICOS</b>	<b>18</b>
Actividad histórica del Volcán de Colima	19
Actividad eruptiva reciente	21
<b>CAPITULO VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>27</b>
Mapa de espesores y transectos	27
Caída de ceniza durante 2005 y 2006	28
Análisis granulométrico de la ceniza	29
Análisis geoquímico de la ceniza	31
• Componentes químicos	31
• Lixiviados	33
• Relaciones moleculares	34
Análisis de suelo	35
Meteorología	37
Transectos de agave	38
Transectos de caña	40
<b>CAPITULO VII. CONCLUSIONES</b>	<b>45</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>47</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>51</b>

## RESUMEN

Este estudio fue realizado para detectar el efecto de los depósitos de ceniza sobre cultivos de agave azul y caña de azúcar circundantes al Volcán de Colima, durante 2005 y 2006. El volcán durante este periodo, tuvo eventos eruptivos que incluyen la formación y destrucción de domos pequeños en el cráter, flujos piroclásticos y frecuente caída de ceniza. Se estableció una red de monitoreo de ceniza alrededor del Volcán de Colima en El Borbollón, Cofradía de Suchitlan, Colima, Comala, Cd. Guzmán, Ejido Atenquique, Fresnal, Rancho el Jabalí, Juan Barragán, La Lumbre, Quesería, San Marcos, Sayula, Montitlán, Naranjal, Nevado de Colima, Tuxpan, Yerbabuena y Zapotiltic durante 2005. El espesor de la ceniza medido fue de 0.1mm a 0.8 mm en junio 2005. Se tomaron muestras de ceniza para su análisis geoquímico, granulométrico, determinación de componentes y lixiviados. También se analizaron datos meteorológicos locales y se llevaron a cabo análisis de muestras de suelo. Se establecieron 6 sitios con transectos de 60 x 1m en cultivos de caña de azúcar y agave azul localizados en una periferia de 6 a 26 km del cráter para comparación subsecuente en zonas afectadas por la caída de ceniza. Se llevaron a cabo mediciones de ancho-largo de hojas y tallo en cultivos de caña de azúcar y agave, en los meses de junio y noviembre de 2005, en enero y mayo de 2006. Se observó una menor talla en la altura de agave y caña de azúcar en localidades que presentaron mayor caída de ceniza, indicando que existe un efecto negativo por caída de ceniza sobre estos cultivos. Se realizó la prueba estadística de Wilcoxon y mostró que las diferencias son estadísticamente significativas en el incremento de talla de las cañas más lejanas al volcán Para el agave la prueba indicó que no es estadísticamente significativa aunque si se observó un incremento en la talla de los mas lejanos. Un evento eruptivo de mayor intensidad causaría un daño económico importante en las regiones aledañas al volcán, pero no debe subestimarse el efecto de las cenizas asociadas a las erupciones pequeñas que son más frecuentes.

## CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

La actividad volcánica en el territorio mexicano siempre ha sido relevante; la transformación del paisaje y cambios de los asentamientos humanos son algunos de los efectos que producen los eventos volcánicos más impactantes. Los diferentes productos volcánicos pueden provocar daños a la biota circundante. La caída de piroclastos en forma de bombas, lapilli y ceniza puede afectar a la vegetación y fauna de las periferias del edificio volcánico; así mismo, los gases y aerosoles pueden modificar las condiciones ambientales (Araña y Ortiz, 1996).

El Volcán de Colima considerado el más activo de México (Figura 1), cuenta con un amplio historial de numerosas erupciones con diferente grado de explosividad produciendo lluvia de ceniza y pómez, derrames de lava de corta longitud, flujos piroclásticos de bloques y ceniza (nubes ardientes), oleadas (flujos turbulentos de ceniza), lahares (corrientes de lodo y bloques) y avalanchas de escombros (Martín del Pozzo *et al*, 2002).

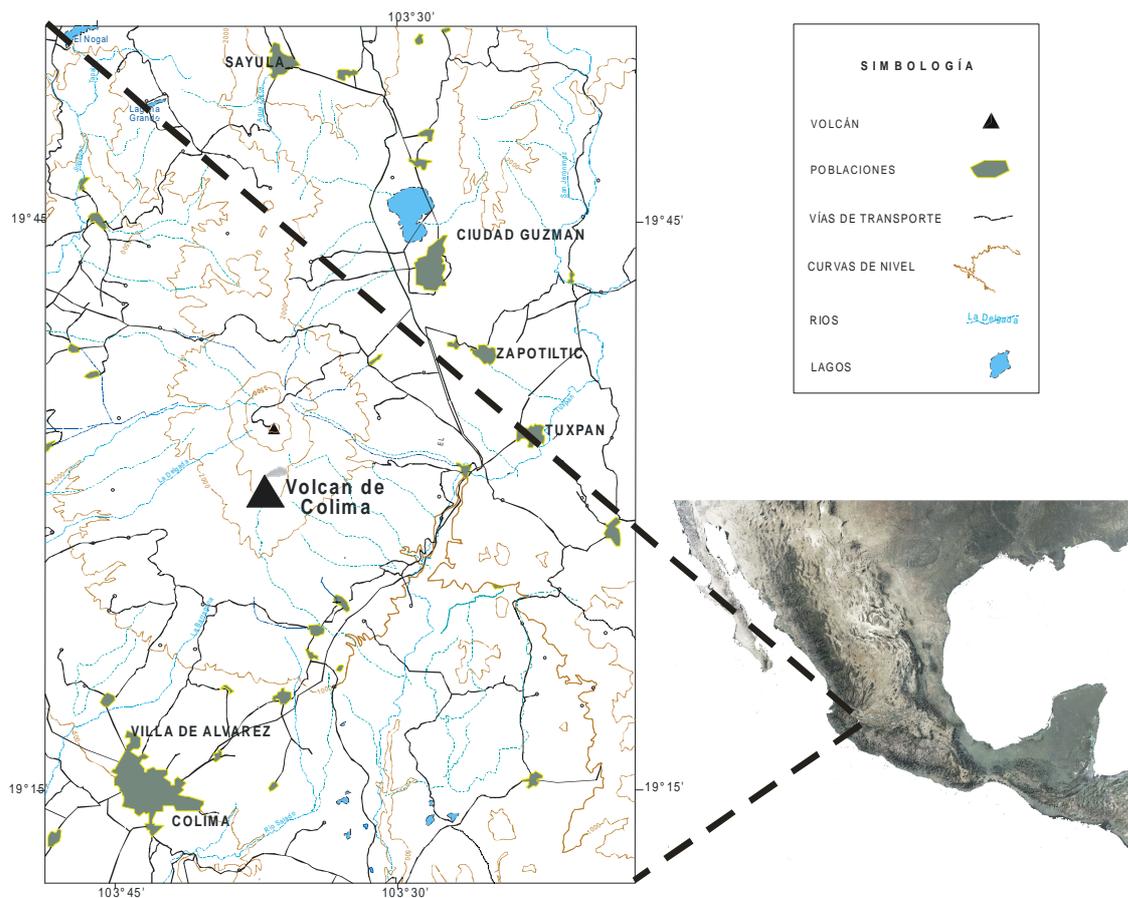


Fig 1. Localización del Volcán de Colima.

La caída de ceniza, proveniente del Volcán de Colima puede afectar a la vegetación aledaña. Con este propósito se llevó a cabo un estudio para evaluar el posible impacto ecológico y/o económico que pudiera presentarse actualmente y en el futuro. Este trabajo permitió detectar el efecto de caída de ceniza sobre agave azul (*Agave tequilana*) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), mismos que poseen una importancia agrícola y económica en las zonas cercanas al Volcán de Colima. Esto se logró mediante un reconocimiento y localización de áreas de cultivo de agave y caña de azúcar donde se tomaron una serie de mediciones periódicas para determinar diferencias en la talla de organismos, comparando distancia del volcán y cantidad de ceniza. Se realizaron colectas de ceniza durante 2005 y 2006 para su análisis y correlación con los parámetros biológicos, edáficos y climáticos.

### **Objetivo**

- Identificar el efecto de la caída de ceniza en agave azul (*Agave tequilana* Weber, Linneo, 1753) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum* Linneo) en las cercanías del volcán de Colima.

### **Hipótesis**

- Si la composición química, mineralógica y granulométrica de la ceniza presenta características nocivas o benéficas para las plantas, este efecto se verá reflejado en la talla y/o producción de agave y caña de azúcar, dependiendo de la actividad volcánica así como la proximidad de las plantas a la fuente.

## **CAPÍTULO II. METODOS**

En este capítulo se describen las siguientes etapas: Revisión histórica y actual detallada de la actividad del Volcán de Colima, caracterizada por frecuentes caídas de ceniza. Con base en esto, se determinaron las áreas con mayor caída de ceniza.

Análisis cartográfico al Oeste (W), Sur (S), Norte (N) y Este (E) del Volcán de Colima, para localizar zonas de cultivo que presentaran similitudes ambientales a diferentes distancias del Volcán de Colima y así comparar las afectaciones por caída de ceniza sobre estas plantas.

Reconocimiento de campo para establecer transectos en 6 áreas de cultivo (3 de agave y 3 de caña). Los criterios para determinar los transectos fueron la similitud de condiciones ambientales (edáficas y meteorológicas) y características físicas de las plantas (tallas) a diferentes distancias de la fuente para comparar efectos diferenciales con respecto a la cantidad de ceniza depositada. Con base en el mapeo de las caídas de ceniza, se determinaron los transectos situados a distancias de 6 a 26 Km del cráter. Se realizó un transecto por cada área de cultivo.

Los transectos se definieron extendiendo una cinta métrica que abarca 60 metros lineales y 1 m de ancho a cada lado de la línea, en donde se encuentran las plantas de agave azul y caña de azúcar. Estas medidas espaciales fueron basadas en la disposición de los campos de cultivo y considerando la expansión de la planta. A cada agave se le tomaron las medidas de ancho (el diámetro máximo que alcanza la roseta de lado a lado) y alto de roseta (desde el nivel de suelo hasta la penca mas alta del centro); para la caña de azúcar se consideró el alto del tallo (desde nivel de suelo hasta la parte más alta donde comienzan las hojas) y a las hojas se les midió el largo y ancho.

Se establecieron tres transectos de agave en los lugares conocidos como el Borbollón (8km), Tonila (13.4km) y Cd. Guzmán (26km), que pertenecen al estado de Jalisco. Los otros transectos de cañas de azúcar se ubican en Tuxpan (25.5km) en el estado de Jalisco y Montitlán (12.2km) y Naranjal (12 km) en el estado de Colima. La toma de datos fue aproximadamente cada 6 meses (junio 2005, noviembre 2005, enero 2006 y mayo 2006), para obtener los incrementos en las tallas en periodos de tiempo suficientes para detectarlo.

Aplicación de la prueba Wilcoxon (Wilcoxon signed-rank test) que es una prueba no paramétrica para comparar la mediana de dos muestras relacionadas y determinar si existen diferencias entre ellas (Wilcoxon, 1945). Esta prueba fue aplicada en los datos correspondientes al tallo de las cañas de azúcar y la altura de las rosetas en el agave, para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas en los incrementos de la talla de las plantas en las distintas distancias al volcán.

$$W^+ = \sum_{z_i > 0} R_i,$$

$R_i$ : rangos (incremento de talla)  
 $z_i$ :: valores (tallas)

Se obtuvieron datos anuales de las zafras de producción de caña de azúcar (tonelada por hectárea) de 2001 a 2007, proporcionados por el Ingenio de Quesería (Colima). Esta información fue comparada con el periodo 2005-2006 de actividad volcánica y con las mediciones obtenidas de los transectos en cultivos de caña.

Se llevó a cabo un monitoreo de la actividad del Volcán de Colima durante 2005 y 2006, a través de observaciones en el campo, así como por la revisión diaria de los boletines vulcanológicos de la Universidad de Colima (<http://www.ucol.mx/volcan>) y del Estado de Colima (<http://www.colima-estado.gob.mx/2006/seguridad/indvolcan.php>) para registrar las caídas de ceniza que se reportaron en las localidades en estudio.

Se realizó un monitoreo y muestreo de ceniza de junio de 2005 a enero de 2006 en diferentes localidades circundantes al Volcán de Colima como: El Borbollón, Cofradía de Suchitlan, Colima, Comala, Cd. Guzmán, Ejido Atenquique, Fresnal, Rancho el Jabalí, Juan Barragán, La Lumbre, Quesería, San Marcos, Sayula, Montitlán, Naranjal, Nevado de Colima, Tuxpan, Yerbabuena y Zapotiltic. Los criterios para el muestreo de ceniza en estas localidades, estuvieron basados en la distancia de la fuente y la incidencia en la caída de ceniza. Se realizaron observaciones sobre la presencia o ausencia de ceniza. En caso de tener ceniza se midió el espesor de la capa y se tomó una muestra.

Se seleccionaron muestras representativas de ceniza de las diferentes erupciones y con peso suficiente para su análisis (10grs). Se observaron las muestras al microscopio para determinar composición mineralógica y se realizaron análisis cuantitativos de elementos en roca total con pastillas fundidas de la ceniza con un Espectrómetro Secuencial de Fluorescencia de Rayos X (Siemens SRS 3000 automatizado) para determinar la composición química de la ceniza ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$ ). Con los datos de geoquímica de la ceniza se calcularon las relaciones moleculares:  $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2:\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2:\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2:\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2:\text{MgO}$ ,  $\text{SiO}_2:\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2:\text{P}_2\text{O}_5$  y  $\text{Si}:\text{Mg}+\text{Ca}+\text{Na}+\text{K}$ , para pronosticar la incorporación de estos elementos al suelo. También se determinaron las concentraciones de cloruros, sulfatos y fluoruros de los lixiviados en el Laboratorio de Química Analítica del Instituto de Geofísica UNAM por medio de potenciometría, emisión de flama y cromatografía de Iones.

Se tamizaron 41 muestras de ceniza, seleccionadas por fecha y lugar de colecta cubriendo el área de estudio para su análisis granulométrico. Las muestras se pasaron por los tamices 400, 200, 120, 60, 35, 18, 10 y 5/16, correspondientes a los Phi -3 al 5 con un rango de tamaño de 0.8 mm a < 0.038 mm y se obtuvieron porcentajes en peso acumulado.

Se revisaron las condiciones meteorológicas en las zonas de estudio a través del Servicio Meteorológico Nacional, para detectar si existen diferencias en las zonas de estudio. Se obtuvieron los datos de precipitación y temperatura mensual de 2005 y 2006 en las estaciones Colima y Cd Guzmán del Servicio Meteorológico Nacional.

Se calculó un Índice de Agresividad (factor R) de Wischmeier (1959) para descartar los elementos climáticos como factores de impacto en la vegetación.

$$R = f \left( \sum_1^{12} \frac{p^2}{P} \right)$$

R= Índice de erosividad de lluvia

p= precipitación mensual

P= precipitación anual

En 2006, se realizaron excavaciones de 1 metro de profundidad para la toma de muestras de suelo. Se obtuvieron 6 muestras correspondientes a 3 localidades: Borbollón (3 horizontes), Ciudad Guzmán (2 horizontes) y Tonila (1 horizonte) y se realizaron análisis edafológicos en el Instituto de Geología para determinar la influencia del suelo sobre las plantas.

Se llevaron a cabo análisis de Aloxido para la detección de aluminio y definir que tan rápido se ha intemperizado (Fieldes y Perrot, 1966) y de aluminio intercambiable, a través del método de Van Reenwijk (1992). También se incluyó una muestra de ceniza en los análisis edafológicos que corresponde a la localidad de Tonila obtenida en junio del 2005, que es representativa de las caídas de ceniza por su ubicación, cantidad y composición. El Carbono y Nitrógeno (porcentaje total) fueron analizados por duplicado utilizando un analizador elemental CNHS y de Perkin Elmer 2400 series II. También se midió el potencial de Hidrógeno (pH) de cada muestra de suelo con un potenciómetro OAKTON agregando muestra de suelo en agua destilada con relación suelo-solución 1:2.5. Se obtuvieron datos de Capacidad de Intercambio Cationico (CIC) mediante lavado (Cloruro de Calcio y Alcohol etílico) y titulación (EDTA) para 6 muestras de suelo. Se incluyó el análisis edáfico de la ceniza para predecir la integración de sus componentes al suelo.

## CAPÍTULO III. ASPECTOS GEOGRÁFICOS

### Localización

El Volcán de Colima es un estratovolcán ubicado entre 19°30'44" de latitud Norte y 103°37'02" longitud Oeste; es parte de la Faja Volcánica Transmexicana la cual atraviesa el territorio mexicano de Colima hasta Veracruz. El área de estudio se definió con base en la distribución de ceniza y comprende los estados de Colima y Jalisco, esta limitada al norte por Sayula (Jalisco) y al sur por la Ciudad de Colima (Colima), al este por Tuxpan (Jalisco) y al Oeste por la Becerrera (Jalisco). Las zonas de cultivo seleccionadas para este estudio están comprendidas en el área de afectación de caída de ceniza. Los transectos de caña de azúcar están ubicados en Montitlán (S), Naranja (S) y Tuxpan (E) y los transectos de agave azul en el Borbollón (W), Tonila (SE) y Ciudad Guzmán (N) (Fig. 2).

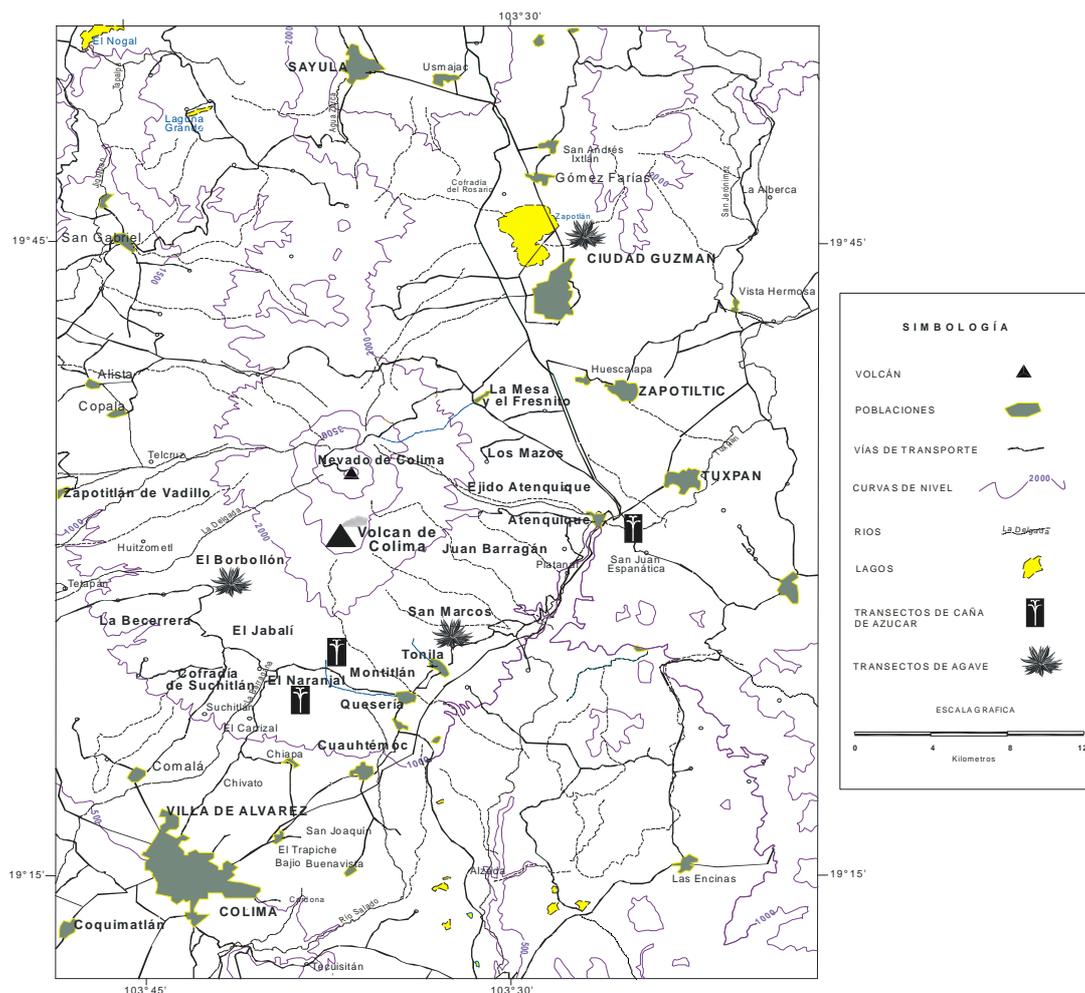


Fig. 2. Ubicación geográfica del Volcán de Colima.

## Clima

En el Estado de Colima existen 4 tipos de clima, mientras que en Jalisco existen 6 (INEGI, 2005). El cálido subhúmedo con lluvias en verano es el que corresponde al mayor porcentaje de superficie en ambos estados (Tabla 1).

Tabla 1. Climas de Colima y Jalisco

Estado	Tipo o subtipo	% de la superficie estatal
COLIMA	Cálido subhúmedo con lluvias en verano	77.84
	Semicálido subhúmedo con lluvias en verano	7.69
	Templado subhúmedo con lluvias en verano	1.84
	Semiseco muy cálido y cálido	12.63
JALISCO	Cálido subhúmedo con lluvias en verano	24.46
	Semicálido subhúmedo con lluvias en verano	45.77
	Templado subhúmedo con lluvias en verano	16.29
	Semiseco muy cálido y cálido	2.60
	Semiseco semicálido	6.74
	Semiseco templado	4.14

Basado en INEGI 2005

La cadena montañosa que forman el Nevado de Colima y el Volcán de Colima propician variaciones climáticas en la zona. Las partes altas del volcán presentan climas templados y semifríos. La temperatura media anual para las zonas templadas varía de 12 a 18°C y en las zonas semifrías (a partir de 3200 msnm); la temperatura media anual se encuentra entre los 5 y 12°C y en diciembre y enero se presentan heladas y nevadas. Conforme va bajando la altitud el régimen térmico aumenta sobre las faldas del volcán, predominando un clima semicálido con temperaturas de 18 a 22°C. En la parte baja al Sur del Volcán de Colima, el clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano y la temperatura media anual de 22°C, con una precipitación media anual de 500 a 2500 mm. También se presenta un clima semiseco al NE del Volcán con una temperatura media anual mayor a los 18°C, (Fonseca, 2003).

El clima específico del área de estudio donde se ubican los transectos de agave y caña de azúcar corresponde al tipo Templado subhúmedo con lluvias en verano (Cw), tiene un rango de

temperatura promedio de 16.5° C a 26.3° y las temperaturas mas cálidas en la región se presentan en mayo, junio, julio y agosto (Figura 3).

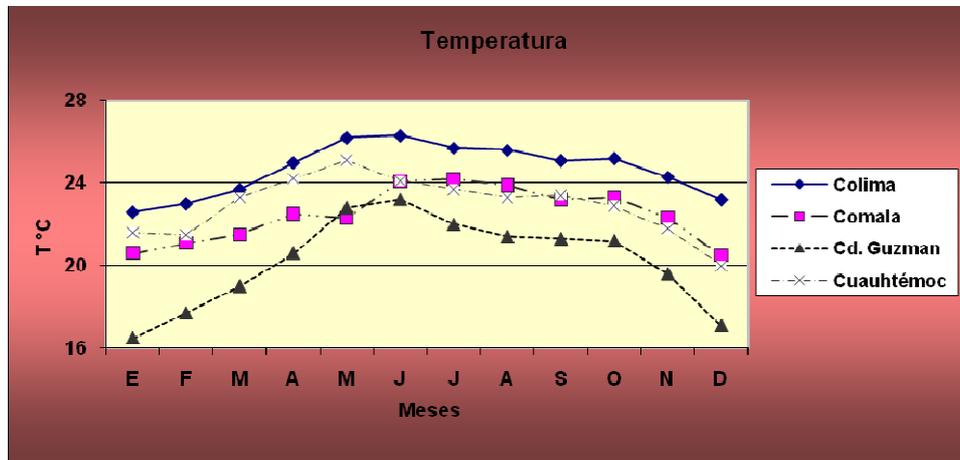


Fig 3. Temperatura promedio mensual en Cd. Guzmán, Colima, Comala y Cuauhtémoc. Basado en datos en García (1973).

La precipitación en el área de estudio varía de 703.5mm a 1400mm anualmente. La temporada de lluvias comienza en mayo y termina en octubre. Los niveles de precipitación máximos se presentan en julio, agosto y septiembre (Figura 4). Aunque aquí se consideran los datos que caracterizan el tipo de clima (García, 1973), los datos específicos del periodo estudiado se presentaran en los capítulos de resultados y discusión.

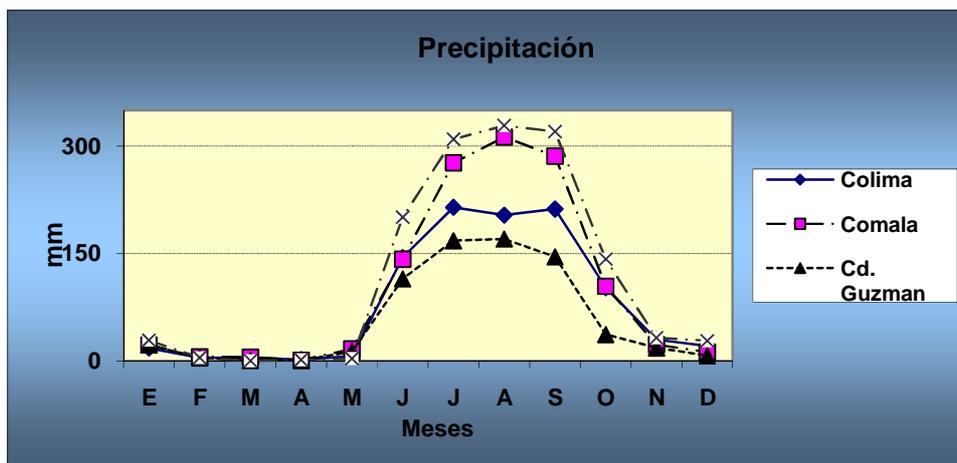


Fig. 4. Precipitación promedio mensual de las localidades Cd. Guzmán, Colima, Comala y Cuauhtémoc. Basado en datos de García (1973).

## **Suelo**

El tipo de suelo predominante en el área de estudio corresponde a los andosoles y vertisoles. En México los suelos desarrollados a partir de material volcánico (andosoles) cubren amplias extensiones y son importantes en el desarrollo económico del país. Los andosoles son suelos bien drenados y aireados, con un alto contenido de humedad y baja densidad aparente. Estos suelos incluyen minerales característicos como plagioclasa, cuarzo, biotita, piroxenos, anfíboles, además de pómez y fragmentos de otros vidrios volcánicos. Los vertisoles también ocupan una gran extensión del territorio mexicano y se caracterizan por la alta cantidad de arcillas, algunas de las cuales son expansivas y producen agregados y grietas de desecación. Las propiedades de las arcillas dependen de su composición mineralógica. Los agregados que presentan forman facetas de presión fricción y la expansión y/o contracción provoca que el material del suelo se mezcle consistentemente entre sí, produciendo un microrrelieve ondulado. Las grietas de desecación generalmente son profundas y amplias, la coloración suele ser negra (FAO, 1998).

## **Vegetación y Uso de suelo**

En el Estado de Colima existen coberturas vegetales de distintos tipos que incluyen zonas de agricultura, pastizal, bosque y selva entre otros. La agricultura ocupa un porcentaje importante de superficie estatal. Las principales especies cultivadas son maíz, sorgo, caña de azúcar y coco (Tabla 2). El limón también tiene importancia económica en Colima. El agave no se enlista ya que es una actividad agrícola reciente.

Tabla 2. Vegetación y Uso de suelo del Estado de Colima

Concepto	Nombre científico	Nombre local	Utilidad
<b>Agricultura</b> 30.71% de la superficie estatal	<i>Zea mays</i>	Maíz	Comestible
	<i>Sorghum vulgare</i>	Sorgo	Comestible
	<i>Saccharum officinarum</i>	Caña de azúcar	Industrial
	<i>Cocos nucifera</i>	Coco	Industrial
<b>Pastizal</b> 0.18% de la superficie estatal	<i>Cynodon plectostachyum</i>	Estrella de África	Forraje
	<i>Acacia</i> sp.	Subin	Forraje
<b>Bosque</b> 9.94% de la superficie estatal	<i>Quercus magnoliifolia</i>	Encino nopis	Madera
	<i>Verbesina</i> sp.	Capitaneja	Otros
	<i>Quercus castanea</i>	Encino colorado	Madera
	<i>Pinus hartwegii</i>	Pino	Madera
<b>Selva</b> 55.08% de la superficie estatal	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Guácima	Forraje
	<i>Bursera fagaroides</i>	Papelillo amarillo	Madera
	<i>Bursera</i> sp.	Copal	Madera
	<i>Lysiloma divaricada</i>	Tepemezquite	Madera
<b>Otro</b> 4.09% de la superficie estatal	<i>Laguncularia racemosa</i>	Mangle	Madera
	<i>Batis maritima</i>	Vidrillo	Otros
	<i>Orbignya guacuyule</i>	Guacuyul	Madera
	<i>Crescentia alata</i>	Cuastecomate	Madera
Modificado de INEGI, 2005 1:250 000 y 1:1 000 000.			

La agricultura, pastizales, bosques, matorrales y selva cubren la mayor parte del territorio del estado de Jalisco. La agricultura abarca una importante superficie del estado, donde el maíz, caña de azúcar, sorgo, agave y frijol son los principales cultivos (Tabla 3).

Tabla 3. Vegetación y Uso de suelo del Estado de Jalisco

<b>Concepto</b>	<b>Nombre científico</b>	<b>Nombre local</b>	<b>Utilidad</b>
<b>Agricultura</b> 23.63% de la superficie estatal	<i>Zea mays</i>	Maíz	Comestible
	<i>Saccharum officinarum</i>	Caña de azúcar	Industrial
	<i>Sorghum vulgare</i>	Sorgo	Forraje
	<i>Agave tequilana</i>	Maguey tequilero	Industrial
	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Frijol	Comestible
<b>Pastizal</b> 9.36% de la superficie estatal	<i>Hyparrhenia rufa</i>	Jaragua	Forraje
	<i>Panicum maximum</i>	Privilegio	Forraje
	<i>Cynodon dactylon</i>	Estrella	Forraje
	<i>Muhlenbergia implicata</i>	Zacatón	Forraje
	<i>Aristida adscensionis</i>	Zacate tres barbas	Forraje
<b>Bosque</b> 31.13% de la superficie estatal	<i>Quercus magnoliifolia</i>	Roble	Madera
	<i>Pinus oocarpa</i>	Ocote	Madera
	<i>Pinus douglasiana</i>	Ocote	Madera
	<i>Quercus obtusata</i>	Encino	Madera
<b>Matorral</b> 9.04% de la superficie estatal	<i>Ipomoea murucoides</i>	Ocote	Madera
	<i>Acacia farnesiana</i>	Huizache	Madera
	<i>Opuntia</i> sp.	Nopal	Comestible
<b>Selva</b> 24.57% de la superficie estatal	<i>Acacia pennatula</i>	Tepame	Forraje
	<i>Lysiloma acapulcensis</i>	Tepemezquite	Madera
	<i>Bursera fagaroides</i>	Papelillo rojo	Madera
	<i>Orbignya cohune</i>	Coco de aceite	Madera
<b>Otro</b> 2.27% de la superficie estatal			
Modificado de INEGI, 2005 1:250 000 y 1:1 000 000.			

## CAPITULO IV. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

### **Agave azul (*Agave tequilana* Weber, 1902)**

El agave tequilero es una fanerógama perteneciente a la familia Agavaceae, es a su vez parte del orden Asparagales (Alvarez de Zayas, 1987). El género *Agave*, término griego que quiere decir “admirable”, fue descrito por Carlos Linneo en 1753. Su centro de origen se localiza en México, debido a que en esta región se encuentra la mayor variabilidad y número de especies. En la actualidad se le reconocen 136 especies, 26 subespecies, 29 variedades y 7 formas (Gentry, 1982).

*A. tequilana* Weber pertenece al subgénero *Agave*, cuya inflorescencia es una panícula; esta se incluye en la sección *Rigidae*, a la cual pertenecen una gran cantidad de especies fibreras y mezcaleras de México y Centroamérica, estando ausentes en los Estados Unidos (Gentry, 1982).

Es una planta surculosa que se extiende radialmente, alcanza entre 1.2 a 1.8 metros de altura. Su tallo es grueso, corto de 30 a 50cm de altura al madurar. Las hojas de 90 a 120 cm son lanceoladas, acuminadas y fibras firmes, casi siempre rígidamente estiradas, cóncavas de ascendentes a horizontales. Lo más ancho de las hojas se encuentra hacia la mitad, son angostas y gruesas hacia la base, generalmente son de color glauco azulado a verde grisáceo. El margen de las hojas es recto, ondulado o repando; los dientes generalmente son de tamaño regular y espaciados irregularmente, alcanzan 3 a 6 mm de largo a la mitad de la hoja. Los ápices de los dientes son delgados, curvos o flexos desde la altura de la base piramidal. Los dientes son de color café claro a oscuro, de 1 a 2 cm de separación; pocas veces son remotos o largos. La espina por lo general es corta de 1 a 2 cm, rara vez larga achatada o abiertamente surcada de arriba, su base es ancha, café oscura decurrente o no decurrente. La inflorescencia es una panícula de 5 a 6 metros de altura y densamente ramosa a lo largo, con 20 a 25 umbrelas largas difusas de flores verdes y estambres rosados. Las flores son de 68 a 75 mm de largo con bracteolas sobre los pedicelos de 3 a 8 mm de longitud. El ovario es de 32 a 38 mm de largo, cilíndrico con cuello corto, inconstricto, casi terminado en punta sobre la base. El tubo floral es de 10 mm de ancho, funeliforme y surcado. Los pétalos son desiguales de 25 a 28 mm de longitud por 4 mm de ancho, lineares, erectos pero rápidamente flojos en la antesis, cambiando entonces a cefesosos y secos. Los filamentos miden de 45 a 50 mm de largo doblados hacia dentro junto al pistilo, insertos de 7

a 5 mm cerca de la base del tubo; las anteras son de 25 mm de largo. El fruto es una cápsula ovada a brevemente cuspidada (Gentry, 1982).

La mayoría de las plantas durante la fotosíntesis fijan el bióxido de carbono en presencia de luz solar; bajo estas condiciones, los estomas se encuentran abiertos y presentan grandes pérdidas de humedad. Algunas plantas que evolucionaron en condiciones de poca humedad modificaron su metabolismo con la finalidad de ahorrar agua; así, los estomas sólo se abrirían durante la oscuridad para tomar el bióxido de carbono y se cerrarían durante el día. Ese tipo de metabolismo se encontró por primera vez en las plantas de la familia Crassulácea y se le llamó Metabolismo Ácido Crasuláceo, o plantas CAM a las que lo presentaban. Los agaves, nopales y otras plantas realizan este metabolismo guardando el bióxido de carbono fijado en la oscuridad en forma de ácidos orgánicos, por lo que experimentan un aumento en la acidez de sus tejidos durante la noche. Existe una evidencia reciente de que este metabolismo es un mecanismo de adaptación que facilita la fotosíntesis en zonas áridas (Valenzuela, 1994).

Al evaluar el patrón de fijación de CO<sub>2</sub> y la acidez nocturna de *A. tequilana*, Nobel y Valenzuela (1987) constataron que es una planta CAM. Dicho patrón es referido al intercambio de vapor de agua y bióxido de carbono durante 24 horas, el cual se incrementa en el transcurso de la noche, que es lo esperado para una planta CAM (Valenzuela, 1994).

Resulta difícil comprender la influencia del agua, temperatura y la fotosíntesis en la biología de los agaves y cactus, ya que tienen un metabolismo peculiar en comparación con otras plantas. Así mismo, es difícil de estudiar la relación con los nutrientes porque existen muchos minerales involucrados. Por un lado están los macronutrientes (aquellos elementos que requieren en grandes cantidades y que extraen del suelo) incluyendo el nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S), generalmente estos comprenden el 0.1% del peso seco de las plantas. Micronutrientes (aquellos que también son necesarios pero en bajas cantidades) como el manganeso (Mn), cobre (Cu), zinc (Zn), hierro (Fe), boro (B), cobalto (Co), molibdeno (Mo) y cloro (Cl) generalmente ocupan un rango arriba a 200 partes por millón de la planta en peso seco. La relación con los nutrientes es tal que está asociada a la fotosíntesis, crecimiento y productividad de la planta. Los niveles de los macro y micronutrientes pueden afectar el

metabolismo. El pH del suelo también juega un papel muy importante ya que controla la disponibilidad de los nutrientes. Cabe mencionar que la razón de utilizar nitrógeno como fertilizante es que incrementa el crecimiento en las plantas CAM; el nitrógeno es necesario para sintetizar proteínas, ácidos nucleicos y otras categorías de moléculas vitales para la función de la planta. El potasio es crítico para la regulación osmótica celular y que está involucrado con la apertura estomatal sobre todo en las plantas CAM. Los elementos minerales penetran a la planta gracias al transporte por cargas positivas y negativas; llamados cationes y aniones (Nobel, 1988).

### **Caña de Azúcar (*Saccharum officinarum* Linneo)**

La caña de azúcar se considera una planta vivaz de la familia de las gramíneas de Jussieu, tribu de las Andropogéneas; pertenece al género Saccaríneas de Kunth y fue clasificada por Linneo, en su sistema sexual, entre las triandrias digíneas: científicamente se llama *Saccharum officinarum* (Fernández Del Campo, 1913).

Caña de hasta 5m, hojas anchas; panícula (flecha) grande, plumosa, decreciente acrópetamente con espiguillas sedosas. Del esqueje sembrado nacen raíces que alimentan al vástago que crece del nudo; el vástago forma bajo la superficie de la tierra una sucesión de entrenudos muy cortos cuyas yemas germinan dando lugar a vástagos secundarios, lo que forma un ahijamiento bajo tierra. Esos vástagos secundarios se alimentan con otra serie de hasta 1 m lateralmente (Skerman y Riveros, 1992).

La caña de azúcar presenta como parámetros de latitud a 30° norte y sur. Sus parámetros de altitud son de 500 a 3000 m y la temperatura óptima para su crecimiento tiene que ver con el aumento de ahijamiento con una temperatura de hasta 30°C y la temperatura óptima para el crecimiento es mayor a 18°C ya que a esta temperatura el tallo deja de crecer. La caña de azúcar es susceptible a las heladas. El vástago en crecimiento y las yemas superiores son los primeros en morir; sin embargo, las yemas de los nudos inferiores pueden ofrecer un nuevo crecimiento, según la intensidad de la helada. En cuanto a necesidad de precipitaciones se considera que 1500mm anuales de precipitación es el mínimo indispensable para la producción económica de azúcar. En zonas de precipitaciones inferiores se suelen someter a regadío. Se considera una planta bastante tolerante, pero su producción baja durante periodos de sequía. Los requisitos del

suelo no son específicos ya que la caña de azúcar tolera una amplia gama de suelos, aunque es indispensable el avenamiento. A los suelos pesados se les puede acanterar para elevar su nivel, dejando un surco abierto para avenamiento cada cinco a diez hileras (Skerman y Riveros, 1992).

Para determinar la necesidad de fertilizantes se realizan análisis de suelos en las zonas dedicadas al cultivo comercial de la caña de azúcar. Suele utilizarse una composición básica de fertilizante completo Nitrógeno-Fósforo-Potasio (NPK) al sembrar, seguida de aplicaciones adicionales de nitrógeno durante el desarrollo. Se requiere de una buena preparación de suelo ya que el cultivo puede ocupar el terreno hasta por 4 años. La siembra se realiza con la propagación enterrando tallos enteros en surcos. Los trozos se siembran en surcos de 25 cm de profundidad y 1.3 a 1.4 m entre si; luego se cubren ligeramente con tierra, después se rellenan gradualmente los surcos mediante el cultivo entre hileras. Aunque la caña de azúcar crece a la sombra, los cultivos caña se exponen al mayor aprovechamiento de la radiación incidente para fomentar el máximo nivel de fotosíntesis (Skerman y Riveros, 1992).

## CAPITULO V. ANTECEDENTES VOLCÁNICOS

A nivel mundial se han descrito diversas erupciones que han tenido efectos sociales, ambientales y económicos. Los eventos eruptivos han provocado diferentes impactos de acuerdo con la magnitud del evento y la creciente población en las zonas aledañas al volcán; así mismo, ha habido repercusiones ambientales. Los impactos sobre la vegetación pueden ser positivos o negativos dependiendo de varios factores como puede ser el tipo y cantidad de piroclastos, las condiciones ambientales y el tipo de vegetación. El ambiente representa todas las condiciones externas que pueden afectar el crecimiento y sobrevivencia de un vegetal (Nobel, 1988).

El impacto de la caída de ceniza sobre la vegetación dependerá principalmente de la cantidad, granulometría, tiempo de exposición y composición de la ceniza. Si la ceniza es gruesa, puede provocar daños estructurales en aquellas plantas con hojas amplias que no resistan la fuerza de caída o el peso de la ceniza. En caso de partículas más finas, estas pueden adherirse a las hojas y así provocar anomalías en la tasa fotosintética. El espesor de caída es muy importante ya que dependiendo de la cantidad de caída de ceniza, dado que, existen diversos tipos de vegetación que poseen diferente morfología, pueden o no, ser afectadas por la ceniza. La composición de la ceniza puede producir un efecto tanto positivo como negativo dependiendo de la concentración de sus diferentes elementos.

Algunas erupciones han tenido impacto sobre el clima como en el Volcán Pinatubo (Filipinas) en 1991. Los aerosoles de esta erupción causaron que la temperatura de la tierra disminuyera 0.5 °C (Kenneth *et al.*, 1997) y un incremento global fotosintético (aprox. 20% en 1992) ya que hubo una mayor radiación difusa (Lianhong, *et al.*, 2003). Biondi *et al.*, (2002) sugirieron que las erupciones de 1818 y 1913 en el Volcán de Colima provocaron anomalías en el registro dendrocronológico por la observación de anillos reducidos por cesación del crecimiento.

Seegerstrom (1950) reportó daños a la vegetación en las cercanías del volcán Parícutín, el 75% del bosque fue afectado por la caída de ceniza ya que en áreas cercanas al volcán donde el espesor fue de 1 m hubo un daño casi total. En áreas donde el espesor de ceniza fue de 50 cm sobrevivieron muchos árboles, sin embargo los cultivos de talla pequeña fueron afectados y los

árboles frutales fueron deshojados por la ceniza. Los derrames de lava provocaron la pérdida total de cultivos. Dada la intensa caída de ceniza se trató de aprovechar la ceniza como fertilizante, pero solo tuvo éxito cuando la ceniza era combinada con estiércol de vaca. El Parícutín tuvo varias erupciones durante un periodo de 9 años, pero de marzo a junio de 1943 expulsó la mayor cantidad de ceniza, produciendo un efecto positivo en otra área donde los frutales crecieron mejor durante las erupciones, ya que la caída de ceniza eliminó a la mosca de la fruta que suele ser dañina para los cultivos. Por otro lado de enero 1944 a mayo 1945, se estimó una pérdida del 80-90% de los cultivos de caña de azúcar provocada por una plaga de insectos y en 1943 las lluvias de temporada provocaron inundaciones que devastaron cultivos de caña (Rees, 1979).

Recientemente el Volcán Ilamatepec en El Salvador provocó un importante impacto económico al perjudicar cafetales. La ceniza “quemó” las hojas y frutos de café (López y Miranda, 2005). En Perú el Volcán Ubinas ha presentado varias erupciones que dañaron cultivos con ceniza volcánica en los años 1912-1913, 1936, 1937, 1956 y 1969 (Simkin y Siebert, 1994). En Ecuador la gran cantidad de ceniza que lanzó el Volcán Tungurahua causó la pérdida de plantas de tomate y maíz, los cultivos se quemaron o se destruyeron (Hoy digital, 2000).

### **Actividad Histórica del Volcán de Colima**

El comportamiento que tiene el Volcán de Colima comprende ciclos de aproximadamente 100 años que culminan con una fase explosiva, produce gran cantidad de ceniza y flujos piroclásticos resultando la lava a más de 300 m de profundidad dentro del cráter. El volcán presenta una etapa sin erupciones hasta que el cráter se vuelve a rellenar de lava formando domos y coladas de lava. Después se producen eventos explosivos con caída de piroclastos y derrames de lava acompañados de flujos tipo Merapi. Al final, ocurren erupciones con ceniza y flujos de bloques y cenizas que después de varios años culminan en una erupción violenta que rompe el domo y el cráter queda destapado y fragmentado, produciendo al mismo tiempo gran cantidad de material de caída y flujos piroclásticos (Martin Del Pozzo *et al.*, 2002).

Existen datos históricos del Volcán de Colima que reflejan su actividad. En 1576 (Tello, 1651) se menciona una fuerte erupción que solo causó espanto entre los pobladores. Se reporta en 1590 una lluvia de ceniza y en 1611 hubo una erupción con un flujo piroclástico y una gran caída de

arena, ceniza y escoria, con la presencia de actividad sísmica importante (Bárcena, 1887). En 1794 se presentó otra erupción con caída de ceniza y en 1795 se reportó una emisión de escoria incandescente (Waitz, 1932). De 1806 a 1808 hubo una fuerte actividad sísmica (Bárcena, 1887) además de flujos de lava y caídas de ceniza. El 15 de febrero de 1818 ocurrió una erupción con la expulsión de escoria y cenizas que llegaron hasta Guadalajara, Zacatecas, Guanajuato y San Luis Potosí causando el derrumbe de techos y los flujos piroclásticos que bajaron por la Barranca del Muerto destruyeron vegetación y mataron ganado (Barcena, 1887). No se reporta otra actividad volcánica hasta junio de 1869 cuando comenzó una actividad fumarólica en la parte noreste del volcán (Barcena, 1887); el “Volcancito” se formó como una nueva boca del Volcán de Colima (Waitz, 1932). En febrero de 1872 se presentó caída de ceniza al noroeste y en marzo del mismo año se presentaron otras caídas de ceniza en San Marcos; en esta erupción se mencionan daños a las plantas por la gruesa ceniza que les cayó proveniente del “Volcancito”. Este tipo de actividad prosiguió durante abril y agosto de 1872 (Barcena, 1887). En 1880 y 1881 se produjeron flujos tipo Merapi que acompañaron a un derrame de lava y caídas de ceniza sobre Cd. Guzmán. Entre 1882 y 1884 se reportó calma (Arreola, 1915).

En 1885 tras una fuerte detonación, se observó un derrame de lava y flujos tipo Merapi en las cercanías del cráter que provocó incendios forestales. En enero de 1886 hubo una erupción fuerte que produjo la apertura de una nueva boca en el suroeste del cráter principal y en agosto hubo caída de ceniza en la ciudad de Colima (Barcena, 1887). En mayo, las lluvias de ceniza se orientaron al este y oeste del volcán y en octubre de 1889 la dirección de caída de ceniza fue al sur. En 1890 hubo una erupción que provocó una notable caída de ceniza en Cd. Guzmán. Para 1900 y 1901 hubo actividad fumarólica y también caída de ceniza (Arreola, 1915) y en 1903 se incrementó la actividad, con explosiones que destruyeron parcialmente al domo produciendo caídas de ceniza, lapilli y escoria (Díaz, 1906). En 1909 se produjeron dos cavidades en el domo. La erupción fuerte de 1913 produjo flujos piroclásticos extensos y una caída de ceniza hasta Jalisco, Michoacán, San Luis Potosí y Coahuila, esta erupción produjo daños en vegetación, cultivos, ganado y viviendas (Waitz, 1914). Después de esta erupción el nivel de lava al interior del cráter quedó a más de 300 m de profundidad (Waitz, 1932).

Hasta 1957 se reanudó la actividad del Volcán de Colima y continuó con emisiones de ceniza. En 1961 y 1962 hubo derrames de lava. En 1976 el volcán produjo derrames de lava con flujos de tipo Merapi con emisiones de ceniza. En 1981 se presentaron derrumbes y emisiones de ceniza, en 1982 hubo derrames de lava que bajaron por el flanco SE. En 1987 hubo una explosión (Flores, 1987) y en 1988 y 1989 hubo actividad fumarólica y lluvia de ceniza (Vizcaino, 1993). Entre marzo y abril de 1991 hubo una formación de un lóbulo de lava en el cráter cuyo colapso y derrame produjo un flujo piroclástico que bajó al suroeste del volcán (González Pomposo *et al.*, 1993). En mayo de 1994 una explosión rompió el domo produciendo caída de ceniza. En julio de 1998 se destruyó la estación sismológica el Volcancito (SW) y la actividad se caracterizó por lavas de bloques incandescentes acompañados por flujos tipo Merapi. En ese mismo año se observaron enjambres tectonovolcánicos en la sismicidad. A principios de 1999 se produjo una calma, pero en febrero se presentaron explosiones moderadas y flujos de lava. En julio de 1999 ocurrió una explosión muy vistosa con fragmentos balísticos de más de un metro y una columna de 12km, también se reportaron erupciones con lluvia de ceniza y flujos piroclásticos ([www.ucol.mx](http://www.ucol.mx)).

En el 2000 se formó un frente de lava que bajó por las Barrancas de Beltrán, Durazno y Cafecito y alcanzó una distancia de 730m, también hubo una explosión que modificó el cráter y en el 2001 la lava relleno el cráter. De febrero de 2002 a enero de 2003 se produjo un derrame de lava y en 2003 hubo columnas de ceniza de 1km de altura. En julio de 2004 se presentaron caídas de ceniza que se dirigieron al oeste sobre La Becerrera y El Borbollón, en agosto las columnas de ceniza fueron alrededor de los 2.5 km sobre el nivel del cráter, en septiembre los productos de la erupción obstruyeron el camino del Playón y finalmente en octubre hubo un derrame de lava (com. per. Tonatiuh Domínguez).

### **Actividad Reciente**

Durante 2005 y 2006 se formaron y destruyeron varios domos pequeños en el cráter del Volcán de Colima. La actividad inicial de 2005 fue de baja a mediana intensidad después del evento explosivo que ocurrió en septiembre del 2004. Durante enero y principios de febrero se presentaron pequeñas explosiones diarias que involucraron caída de ceniza en leves cantidades en casi todos los flancos del volcán.

El 12 de febrero de 2005 a las 20:37 hrs. ocurrió una erupción que produjo flujos piroclásticos que se desplazaron hacia el sur del cráter con un alcance de 2.5 km en las Barrancas de Montegrande y San Antonio. Este evento provocó el colapso de una pequeña parte del domo por el sur-sureste dejando una forma de “v”. Después de esta erupción, el volcán regresó al mismo comportamiento de pequeñas explosiones como al inicio de año.

A las 08:10 hrs del 10 de marzo de 2005 se presentó otra erupción con flujos piroclásticos que se desplazaron al sur, este y norte, con un alcance superior a los 3 km. Esta erupción también produjo una columna de ceniza que llegó a 2000 metros sobre el nivel del cráter (msnc) y se dirigió al noreste del volcán causando caída de ceniza en Cd. Guzmán. Después de esta actividad ocurrieron eventos explosivos de menor magnitud.

Otra erupción el 13 de marzo de 2005 a las 15:58 hrs produjo flujos piroclásticos y oleadas piroclásticas que se desplazaron por las Barrancas El Muerto, Montegrande, San Antonio y Cordobán oriental. La caída de ceniza se distribuyó al noreste del cráter con reportes de caída de fragmentos en Los Mazos, Jalisco.

Después del 13 de marzo, bajó la actividad y se caracterizó por explosiones de pequeña magnitud pero frecuentes. El 19 de Abril de 2005 a las 20:56 hrs, se presentó otra explosión con caída de fragmentos incandescentes sobre los costados del edificio y al día siguiente a las 7:05 hrs ocurrió una explosión de menor magnitud. En los días posteriores se presentaron menor número de explosiones por día. De manera general, en marzo y abril las erupciones fueron caracterizadas por destrucción de domos (com. per. Gabriel Reyes).

El 7 y 8 de mayo aumentaron los derrumbes y el 9 de mayo se registró un periodo de tremor (com. per. Gabriel Reyes). El 10 de mayo de 2005 a las 09:16 hrs hubo una explosión con flujos piroclásticos que bajaron por todos los flancos del volcán. Los flujos provocaron algunos incendios forestales y también hubo pequeños derrumbes. La columna de ceniza llegó a 4640 msnc y se dirigió al oeste-noroeste. La actividad continuó con explosiones de pequeña magnitud. También el 15 de mayo de 2005 a las 21:01 hrs. hubo otro flujo piroclástico que bajó por todos los flancos del volcán. Estos dos últimos eventos provocaron varios pequeños derrumbes y el 23

de mayo de 2005 ocurrió un evento explosivo que produjo una columna que llegó a 3000 msnc y se dirigió hacia el oeste del volcán. El flujo piroclástico bajó por las Barrancas de San Antonio y Montegrande y la ceniza del flujo se dirigió hacia el este. Esta actividad también produjo balísticos que llegaron al oeste y suroeste, a una distancia de 3 a 4 km del cráter. En los siguientes días se presentó una actividad caracterizada por emisiones de gas y derrumbes.

El 30 de mayo de 2005 a las 03:26 hrs ocurrió una explosión que produjo una columna eruptiva a 4500 msnc de altura. La dirección de la columna se dividió en 2 partes; la más alta se distribuyó hacia el sur y este, mientras que la porción baja fue hacia el norte y este. Los flujos piroclásticos bajaron por el oeste del volcán y fueron detenidos por las paredes del playón. En general, en los meses de marzo, abril y mayo se observó un incremento en la presencia de pequeños microsismos o “pulgas” que aumentaron en número y constancia antes de cada explosión (com. per. Gabriel Reyes).

Los días 1 y 2 de junio ocurrieron explosiones en el volcán cuya columna (4176 msnc) provocó caída de ceniza en las Ciudades de Colima, Villa de Álvarez y en las costas de Colima que se dirigió hacia el sur-suroeste. En los siguientes días se presentaron pequeñas explosiones y derrumbes. El 6 de junio de 2005 a las 14:20 hrs ocurrió otra erupción con flujos piroclásticos que bajaron por casi todo el edificio volcánico. La columna eruptiva alcanzó los 5568 msnc y se dirigió al sur-sureste. A las 23:05 hrs se presentó una explosión que produjo una columna que llegó a 4640 msnc. La ceniza cayó en Colima y Villa de Álvarez. El 7 de junio hubo una columna de ceniza de 4500 msnc. Se reportó un crecimiento de domo desde el 8 de junio (com. per. Gabriel Reyes) y el 9 de junio ocurrió una explosión con un sonido muy propagado que se escuchó en la Ciudad de Colima a más de 30 km.

La actividad continuó con emisiones y algunos pequeños derrumbes. Los días 26 y 30 de junio de 2005, se presentaron lahares en las partes altas de las faldas del volcán que bajaron por La Lumbre (con daños al puente) y Montegrande, el primero con un alcance de 10 km, el segundo de 7 a 8 km.

El día 5 de julio de 2005 a las 18:21 ocurrió una explosión que produjo una columna superior a 1392 msnc y un flujo piroclástico bajó hacia la zona este del volcán. El 7 de julio se registraron dos señales de lahar en Montegrando pero no se reportaron daños a poblaciones y el 19 de julio ocurrió otro lahar por Montegrando; el 20 de julio hubo 6 derrumbes. La actividad continuó con emisiones de gas y pequeños derrumbes.

Para el 27 de julio de 2005 a las 4:14 se produjo una explosión menor y la actividad prosiguió con emisiones de gas, pequeñas explosiones y pequeños derrumbes. El 2 y 3 de agosto ocurrieron dos lahares y el 21 de agosto a las 19:21 se produjo otra explosión con una columna que se dirigió al oeste del cráter, con duración mayor a 15 minutos. El 24 de agosto se produjo otro lahar por Montegrando y el 31 de agosto otro más. Posteriormente se presentaron explosiones continuas de pequeña magnitud.

En el 16 de septiembre de 2005 a las 10:46 hrs ocurrió una explosión menor. La actividad siguió con eventos explosivos de pequeña magnitud y el 26 de septiembre se formó otro lahar en Montegrando.

El 27 septiembre de 2005 a las 05:07 hrs. hubo una explosión con una columna que alcanzó 3800 msnc. La columna se dirigió al oeste-suroeste y se reportó una ligera lluvia de ceniza en Comala, Colima y Villa de Álvarez. A las 08:11 ocurrió una explosión de menor magnitud que la anterior y el 28 de septiembre a las 11:49 otra pequeña explosión. A las 22:00 hrs se produjo un lahar por Montegrando y La Lumbre sin reportes de daños. Los siguientes días se presentaron emisiones de gas y explosiones de pequeña magnitud.

Para el 1° de octubre ocurrieron 2 emisiones de gas y balísticos incandescentes que fueron lanzados por tres minutos. El resto de octubre de 2005 a febrero de 2006 la actividad se caracterizó por desgasificación continua. Así mismo, hubo explosiones de pequeña magnitud y pequeñas caídas de ceniza en varios flancos del volcán. El resumen de la actividad de 2005 se puede ver en la figura 5 y en la Tabla 4.

Tabla 4. Resumen de actividad volcánica durante el 2005, (Basada en boletín diario de la Universidad de Colima y el Gobierno del Estado de Colima, y Nieto, 2008.

FECHA	# EMISIONES DE CENIZA	DIRECCION DE CAIDA	ALTURA COLUMNA (m sobre el cráter)	EXPLOSION	BALISTICOS	FLUJOS Y OLEADAS	LAHARES
3/01/05	6	NE		X			
6/01/05	6	W		X			
10/01/05 - 15/01/05	35	E	450	X			
17/01/05	4	W		X			
18/01/05- 25/01/05	26	SE		X			
26/01/05- 2/02/05	23	NE	450	X			
3/02/05 - 10/02/05	24	N		X			
11/02/05	4	W		X			
12/02/05	5	W				X	
14/02/05	5	E		X			
15/02/05- 17/02/05	10	E SW	500	X			
18/02/05 – 28/02/05	27	W	1500	X			
1/03/05 9/03/05	21	E		X			
10/03/05	2	NE	2000			X	
11/03/05	3	E		X			
14/03/05	4			X			
13/03/05	1	NE				X	
15/03/05- 18/03/05	11			X			
30/03/05	1	W	2300				
4/04/05	4	W		X			
5/04/05- 7/04/05	13	E		X			
8/04/05- 11/04/05	5	SE		X			
12/04/05- 18/04/05	17	E	2300	X			
19/04/05	3	E			X		
20/04/05	1	NE		X			
22/04/05	6	NE		X			
25/04/05- 27/04/05	11	W		X			
28/04/05- 9/05/05	14	E	3300 1700	X			
10/05/05	1	W- NW	4640			X	
11/05/05- 13/05/05	10			X			
15/05/05	1	W	2320			X	
18/05/05	3						
19/05/05- 20/05/05	4			X			
23/05/05	1	W	3000		X	X	
25/05/05				X			
26/05/05	3	W					
27/05/05	3	W					
30/05/05	1	SE/NE	4500	X		X	
1/06/05- 2/06/05	2	S- SW	4176	X			
3/06/05	2			X			
4/06/05	2	W					
6/06/05	2	S-SE SW	5568 4640	X		X	
9/06/05	1			X			
14/06/05	4						
15/06/05	4						
16/06/05	3						
20/06/05- 23/06/05	10						
24/06/05	1						
27/06/05	1						
26/06/05							X
30/06/05			4500				X
1/07/05	2						
5/07/05	1		1392			X	
7/07/05							X
8/07/05 – 9/07/05	8						
18/07/05- 19/07/05	8						
19/07/05							X
21/07/05- 25/07/05	12						
27/07/05	1			X			
29/07/05	3						
30/07/05	1		3000				
1/08/05	4						
2/08/05	4						X
3/08/05	2						X
4/08/05 - 19/08/05	50	W	3100	X			
21/08/05	1	W		X			
22/08/05	6	W		X			
23/08/05	4			X			
24/08/05	3						X
25/08/05	3			X			
29/08/05- 30/08/05	10	W	3100	X			
31/08/05	4						X
1/09/05- 13/09/05	23			X			
16/09/05	1	W-SW	3000	X			
17/09/05- 24/09/05	24			X			
26/09/05	1						X
27/09/05	2	S -SW	3800	X			
28/09/05	1			X			X
29/09/05	3			X			
30/09/05	5			X			
1/10/05	2				X		
3/10/05	5			X			
15/10/05	1		400				
30/10/05	1		400				
15/11/05	1		200				
30/11/05	1		200				
15/12/05	1		300				

A principios del 2006 la actividad se caracterizó por emisiones diarias de gas y el 21 de febrero ocurrió un pequeño derrumbe sin presentarse daños. En marzo, se presentaron eventos explosivos de pequeña magnitud acompañados de emisiones de ceniza que se dirigieron principalmente hacia sur-suroeste. El 3 de abril ocurrió una erupción a las 02:44 hrs reportándose caída de ceniza en Colima, además de otras emisiones de ceniza con diferentes direcciones de caída. El 10 de mayo de 2006 se presentó un evento explosivo con una columna de ceniza de 7500 msnm y el 2 de junio hubo una ligera caída de ceniza en Colima.

Se presentaron 19 lahares durante el 2006, la mayoría de poco volumen y alcance. Los más importantes por su magnitud fueron los del 27 de junio que bajaron por La Lumbre, Montegrande y la Arena. El 14 de julio tuvo lugar el lahar más grande que bajó por La Lumbre hasta el puente La Lumbre sin causar daños y el 2 de octubre se presentaron los dos últimos pequeños lahares. El 17 de noviembre se registró caída de ceniza en varios municipios; Comala, Villa de Álvarez, Cuauhtémoc y Colima. El resumen de la actividad durante 2005-2006 se encuentra en la Figura 5.

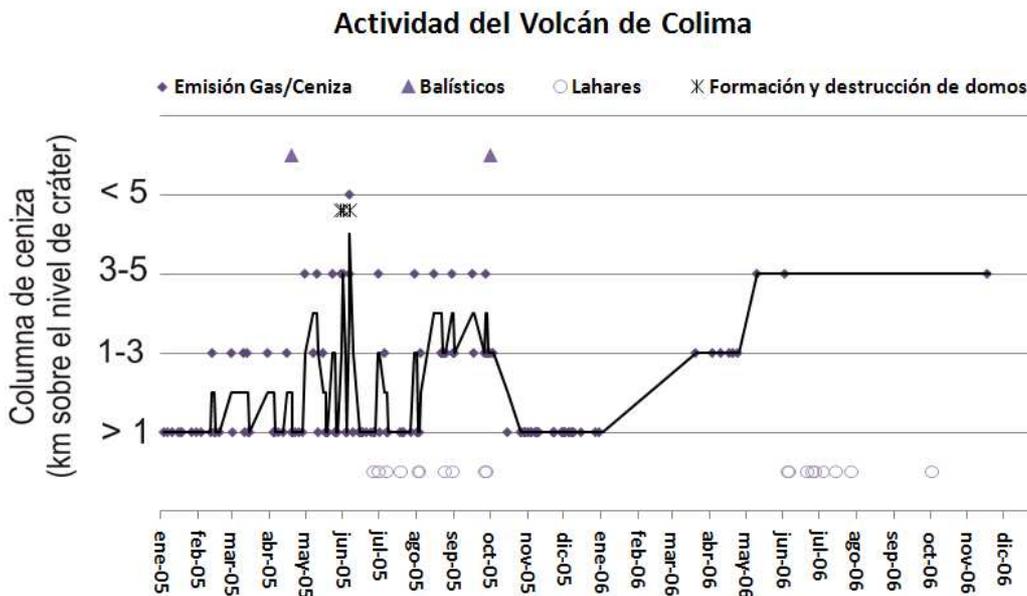


Fig.5. Actividad del Volcán de Colima durante 2005-2006. Basada en los boletines de la Universidad de Colima y el Gobierno del Estado de Colima, y datos contenidos en Nieto, 2008.

La actividad de 2007 a la fecha esta caracterizada por emisiones de gas, columnas de ceniza menores a 1 km que provocan ligera lluvia de ceniza y el notable crecimiento del domo.

## CAPÍTULO VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los espesores de caída se midieron durante las colectas de ceniza; la Figura 6 muestra los espesores de caída de ceniza del mes de junio de 2005. Los transectos de agave fueron situados en el Borbollón (SW), Tonila(S) y Cd. Guzmán (NE), mientras que los transectos en cultivos de cañas se ubicaron en Tuxpan (SE), Montitlán(S) y Naranjal (S). Se puede notar que la mayor concentración de ceniza fue en el sector sur del volcán sobre los poblados del Borbollón, Naranjal, Montitlán y Tonila, donde quedaron establecidos cuatro de los seis transectos en cultivos de agave y caña de azúcar.

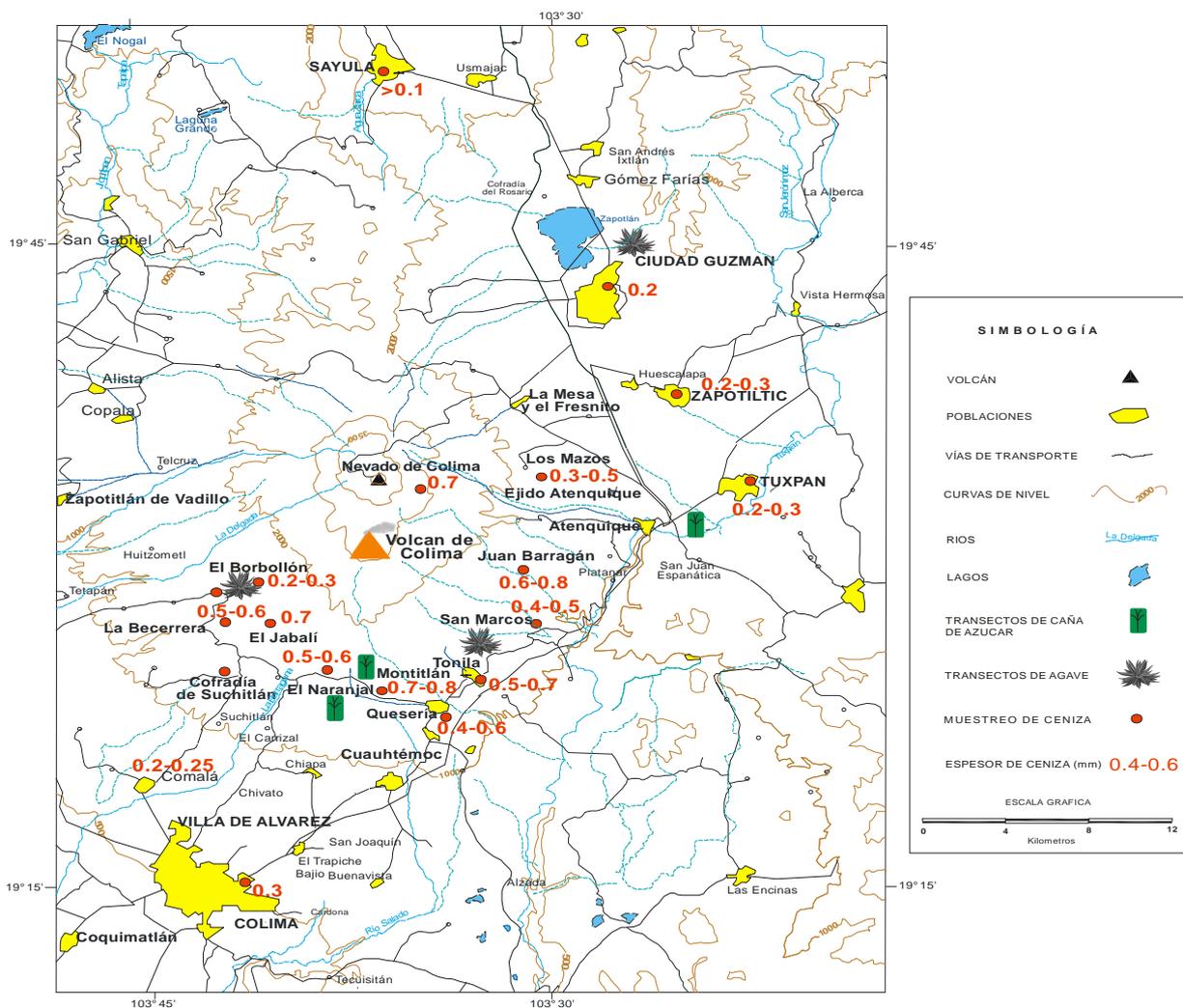


Fig.6. Ubicación de transectos de agave, caña de azúcar y puntos de muestreo de ceniza

### Caída de Ceniza durante 2005 y 2006.

La actividad del Volcán de Colima durante 2005 y 2006 produjo frecuentes caídas de ceniza, las cuales fueron depositadas en los alrededores de la zona. Muchas de las columnas presentaron una altura menor a 1 km, por lo cual la ceniza quedó depositada en el edificio volcánico mientras que las columnas más altas (1-5km) distribuyeron la ceniza más allá del edificio volcánico en diversas orientaciones. La dirección de las caídas varió según la dirección de los vientos, así como por la altura de la columna. En un rango de 4-9 km sobre el cráter que corresponde a 8-13km sobre el nivel del mar, el viento de enero a abril se dirige al NE y en mayo es principalmente hacia el ENE, aunque es variable. En los meses de junio a agosto el viento también es variable aunque se dirige principalmente al W y en septiembre hacia el WSW. Los vientos de octubre son muy variables pero en noviembre y diciembre nuevamente se dirigen hacia el ENE (Fonseca y Martin Del Pozzo, 2009). En el rango de 8-13km sobre el nivel del mar la dirección de los vientos suele ser variable ya que los vientos bajos suelen ser turbulentos, sobre todo en los meses de mayo, junio, julio y agosto las direcciones son inestables. Las caídas más voluminosas se depositaron al S, SW y SE. La Tabla 5 muestra las erupciones con mayor cantidad de ceniza que se presentaron mayo, junio, julio y septiembre de 2005. El VEI (Índice de Explosividad Volcánica) denota la magnitud de la erupción basada en la cantidad de ceniza, la altura de la columna, presencia o ausencia de flujos piroclásticos y duración del evento eruptivo.

Tabla 5. Las erupciones con mayor cantidad de ceniza durante 2005.

Fecha	Dirección de caída de ceniza	Altura de Columna (km sobre el cráter)	Altura de Columna (km sobre el nivel del mar)	VEI
10/03/05	NE	2	5.8	2*
23/05/05	W	3	6.8	2*
30/05/05	SE NE	4.5	8.2	2*
02/06/05	S-SW	2.1	5.9	2*
06/06/05	SE	5	8.8	2/3*
16/09/05	W-SW	4	7.8	2*
27/09/05	S-SW	3.8	7.6	2*

\*Ver referencia de escala VEI en Anexo 4

## **Análisis Granulométrico de la Ceniza**

El resultado del análisis textural de 41 muestras representativas indica que la mayoría se encuentra en un rango de phi 1 y phi 2 lo que corresponde a tamaños de 0.5–0.25 mm (Figura 7). Esto refleja que la caída en las localidades fue principalmente de ceniza fina y media.

En los sectores norte y noreste donde se encuentran Cd. Guzmán y Tuxpan, hubo caída de ceniza media (1-3 phi) durante mayo y junio, mientras que en noviembre y diciembre 2005 y en marzo 2006 cayó ceniza fina (4-5 phi). En el sector sur donde están las localidades de Naranjal, Montitlán, Quesería y Tonila, la ceniza depositada fue de tamaño medio en marzo y junio, fina en diciembre de 2005 mientras que en febrero y octubre de 2006 cayó ceniza media. En el sector suroeste, en la localidad del Borbollón, la ceniza fue gruesa (-3-0 phi) en mayo, septiembre y noviembre de 2005; media en junio, julio, octubre de 2005 y en enero de 2006; fina en abril, junio y octubre de 2005.

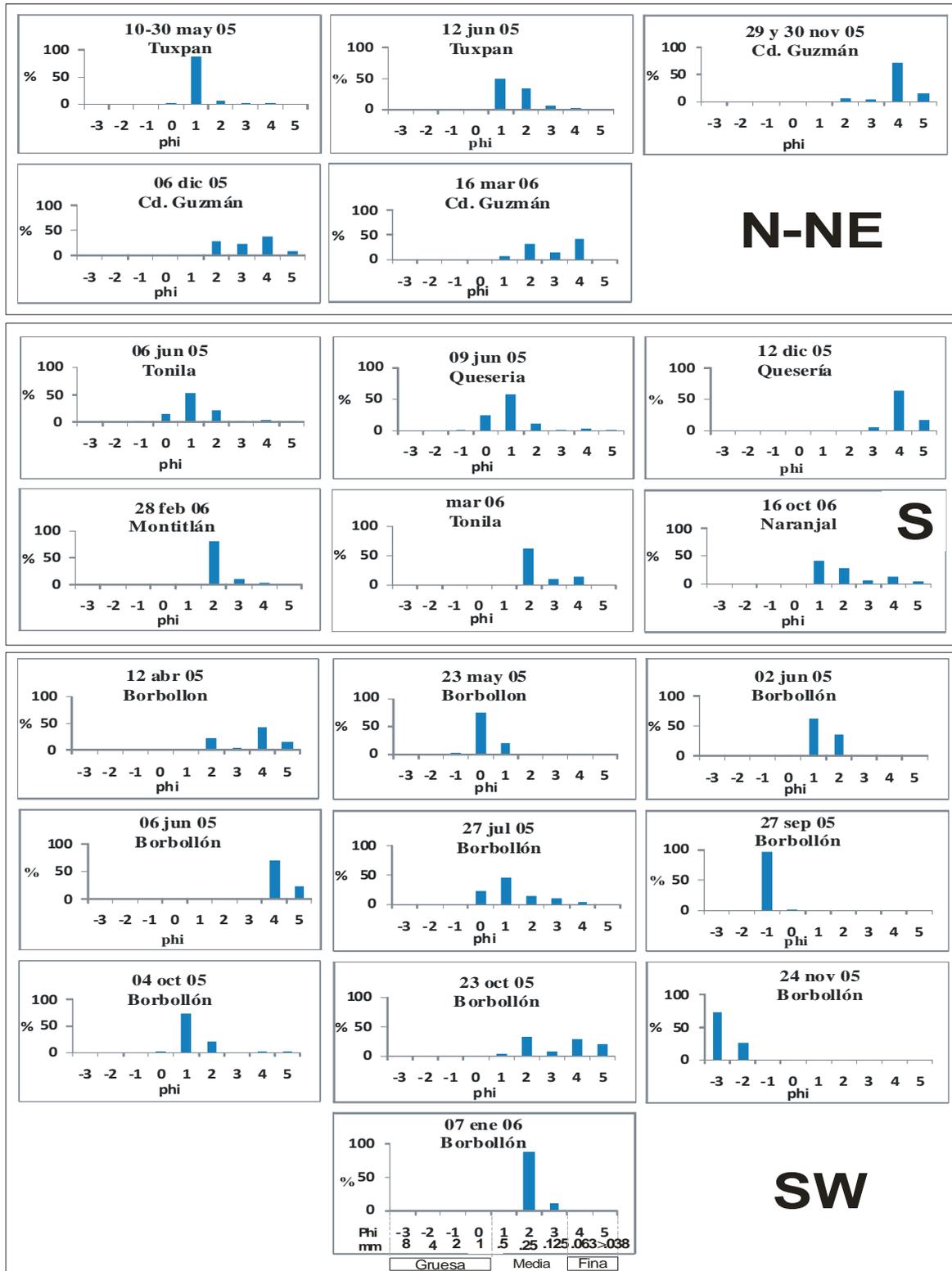


Fig 7. Muestras de ceniza graficadas en el orden de phi, agrupadas por las direcciones con respecto al volcán

Los depósitos de ceniza se pueden acumular en las hojas de las plantas pero la lluvia y el viento suelen retirar la ceniza de las hojas. Las cenizas finas se adhieren fácilmente a las hojas de agave y caña de azúcar, es posible que los frecuentes y ligeros depósitos de ceniza se queden en las hojas. La morfología y textura de las hojas de agave y caña de azúcar facilitan la adhesión de la ceniza. Las cenizas de tamaño medio no se adhieren tanto a las hojas; en el caso de la caña de azúcar que tiene hojas delgadas, es difícil que sostenga partículas de 0.5mm, pero el agave, por tener hojas gruesas puede acumular la ceniza media. La acumulación de ceniza en las hojas de estas plantas pudo causar un estrés a nivel fotosintético, sobre todo en las plantas localizadas en los transectos establecidos al sur del Volcán donde la caída fue más abundante y frecuente durante 2005.

#### **Análisis de ceniza geoquímico de la ceniza**

La composición de la ceniza durante 2005 y 2006 fue andesítica. La ceniza fina es de color rosa a gris, la ceniza media y el lapilli son grises, están constituidas por líticos con plagioclasas, escoria y cristales (Anexo 2).

#### **Componentes químicos**

Los análisis geoquímicos revelaron que la composición de la ceniza muestreada durante 2005 contiene 54.8-59.4% de SiO<sub>2</sub>. Durante junio de 2005 hubo ligeras fluctuaciones de valores en las mismas localidades. En el caso del Oxido de Sodio (Na<sub>2</sub>O) el rango fue de 3.8-4.6%. En la figura 8 se observan las variaciones de SiO<sub>2</sub> y Na<sub>2</sub>O en la ceniza. El detalle del resultado de los análisis químicos se encuentra en el Anexo 2.

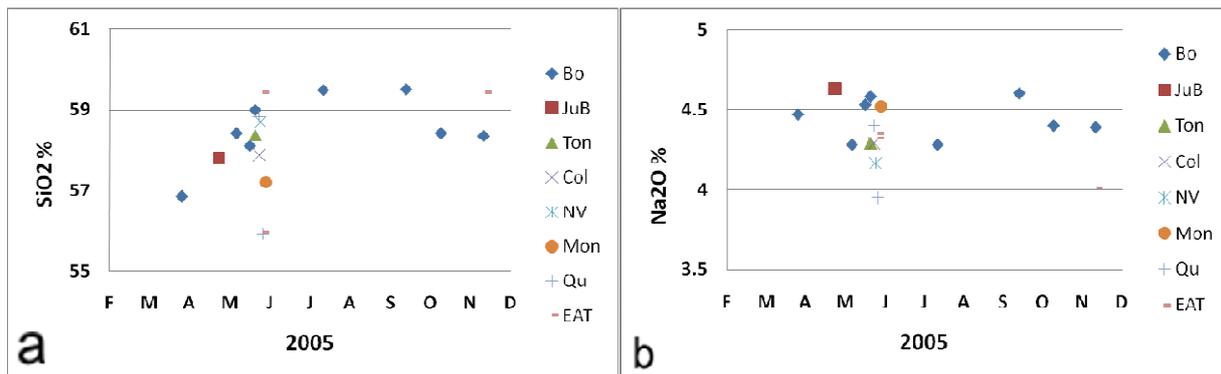


Fig.8. a) Porcentaje de sílice en la composición química de la ceniza, durante junio de 2005 se observan variaciones. b) Porcentaje de  $\text{Na}_2\text{O}$ . Bo: Borbollón, JuB: Juan Barragán, Ton: Tonila, Col: Colima, NV: Nevado de Colima, Mon: Montitlán, Qu: Quesería y EAT: Ejido Atenquique.

El Oxido de Potasio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) registrado en la ceniza tiene un rango porcentual de 1.16-1.35% (Fig. 9).

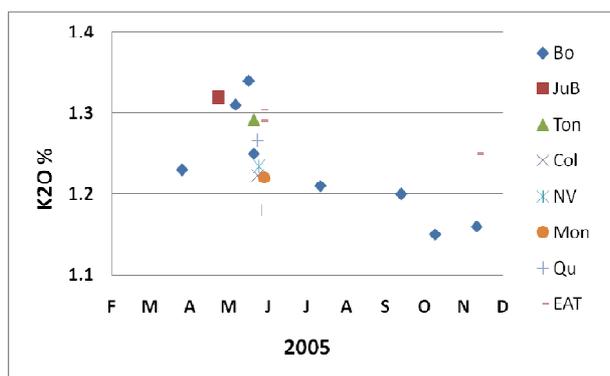


Fig 9. Porcentaje de  $\text{K}_2\text{O}$ , con variantes en junio de 2005. Bo: Borbollón, JuB: Juan Barragán, Ton: Tonila, Col: Colima, NV: Nevado de Colima, Mon: Montitlán, Qu: Quesería y EAT: Ejido Atenquique.

La composición de la ceniza varió poco a lo largo del 2005 en las diferentes localidades; principalmente en junio se detectaron variaciones en la geoquímica de la ceniza que podría reflejar la mezcla de magmas. Durante el mes de junio la mayor cantidad de ceniza se depositó sobre la vegetación.

## Lixiviados

Los análisis de lixiviados, gases sublimados adheridos a la ceniza volcánica mostraron que las concentraciones de sulfato, cloruro y fluoruro presente en la ceniza podrían afectar la vegetación, ya que concentraciones altas pueden ser tóxicos para los seres vivos. Los sulfatos variaron en un rango de 6.5-322.4 mg/l, los cloruros de 1.41-12.6 mg/l y los fluoruros de 0.16-0.74 mg/l. Las concentraciones más altas se presentaron durante las erupciones de junio de 2005 tal como se observa en las figuras 10 y 11.

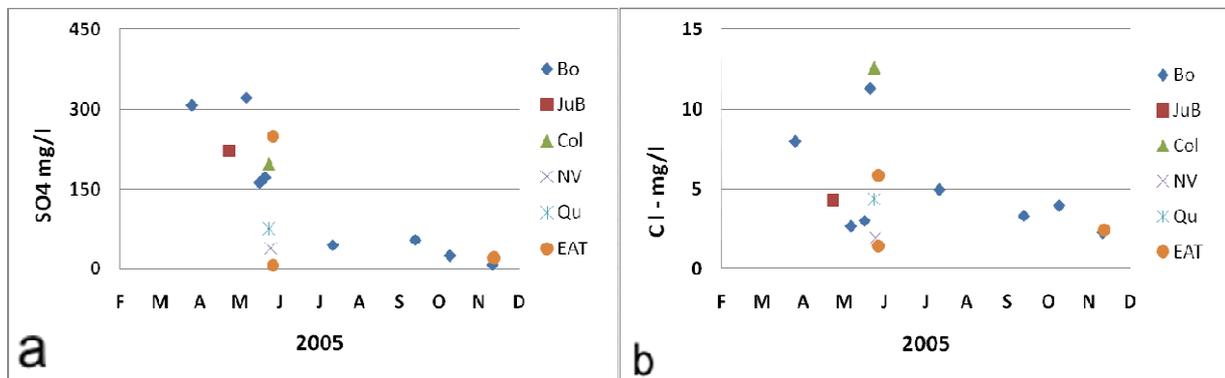


Fig.10. a) Valores de lixiviados de  $\text{SO}_4$  en la ceniza, b) Valores de lixiviados de  $\text{Cl}^-$  en la ceniza. Bo: Borbollón, JuB: Juan Barragán, Col: Colima, NV: Nevado de Colima, Qu: Quesería y EAT: Ejido Atenquique.

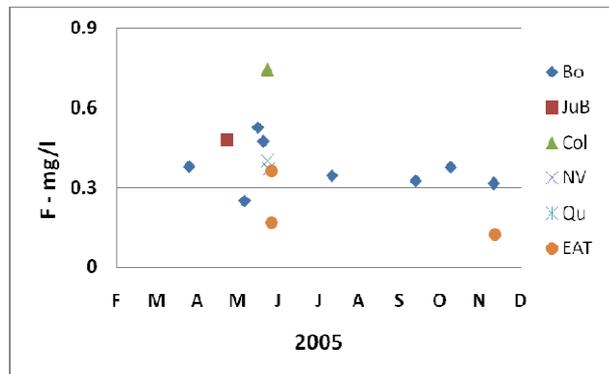


Fig. 11. Valores de lixiviados de  $\text{F}^-$  en la ceniza. Bo: Borbollón, JuB: Juan Barragán, Col: Colima, NV: Nevado de Colima, Qu: Quesería y EAT: Ejido Atenquique.

Los lixiviados pudieron afectar la fisiología de la plantas, en el caso de los agaves requieren de  $\text{Cl}$  y  $\text{S}$ , pero no de  $\text{F}$ , aunque las concentraciones de  $\text{Cl}$  y  $\text{S}$  que requiere el agave son mínimas (mg/l). En el caso de la caña de azúcar no hay reportes de que requiera  $\text{Cl}$ ,  $\text{S}$  y  $\text{F}$ , así que pudiera ser que estos elementos sean nocivos para ellas en altas concentraciones.

## Relaciones Moleculares

El análisis geoquímico de la ceniza fue utilizado para determinar relaciones moleculares que pudieran tener relevancia una vez que la ceniza se incorporara al suelo (Guan, 2001). La Tabla 6 muestra el valor obtenido entre los distintos elementos presentes en la ceniza expulsada por el volcán.

Tabla 6. Relaciones moleculares de la ceniza.

$\text{SiO}_2$ / $\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$ / $\text{CaO}$	$\text{SiO}_2$ / $\text{Na}_2\text{O}$	$\text{SiO}_2$ / $\text{K}_2\text{O}$	$\text{SiO}_2$ / $\text{MgO}$	$\text{SiO}_2$ / $\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Al}_2\text{O}_3$ / $\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$ / $\text{P}_2\text{O}_5$	Si / Mg+Ca+Na+K
5.478	8.415	13.689	72.213	13.726	27.849	5.108	602.504	3.548

El análisis químico de la ceniza revela claramente su naturaleza andesítica (58-64% de  $\text{SiO}_2$ ). La relación sílice/aluminio refleja un nivel bajo de intemperismo en el momento del análisis. Las relaciones Si-Ca, Si-Na y Si-Mg son características de rocas intermedias o básicas. La relación Si-K es baja, esto quiere decir que cuando la ceniza se transforme en suelo estaría perjudicando a las plantas por la baja concentración de K disponible. La relación del Mg es alta y la de Ca es baja, es una relación normal que garantiza que no afectaría a las plantas. La relación Si-Na es ligeramente alta y la de Si-Fe y Al-Fe es bajo, lo que corrobora el bajo intemperismo en la ceniza volcánica, lo que quiere decir que aún debe pasar por un proceso para incorporarse al suelo. La relación Si-P es alta, lo que significa que habrá poca disponibilidad en el futuro y puede afectar a la planta. La relación Si- Mg, Ca, Na, K refleja una buena relación entre bases y sílice que revelan un material bueno y fértil lo que indica que cuando los componentes de la ceniza se incorporen al suelo serán benéficos para las plantas. Es necesario hacer hincapié en la diferencia en cuanto a la caída de ceniza y la incorporación de la ceniza al suelo. En la caída de ceniza es posible que la planta absorba casi directamente los componentes de la ceniza, lo que provocaría un efecto a corto plazo. La incorporación de la ceniza al suelo es un proceso donde la planta obtendrá los elementos necesarios a través del suelo, así que primero la ceniza debe incorporarse antes de que sus elementos sean aprovechados por las plantas. Las plantas ubicadas en los transectos pudieron haber aprovechado los componentes útiles de la ceniza, aunque también en un futuro la ceniza incorporada generará un suelo bueno y fértil aunque con poca disponibilidad de P.

## Análisis de Suelo

El análisis de suelo fué realizado en 6 muestras obtenidas en áreas donde se encuentran los transectos de agave. En las zonas cañeras los suelos son controlados y monitoreados para mantenerlos en buen estado, razón por la cual no se realizó muestreo de suelo en los transectos de caña. También se llevaron a cabo los mismos análisis para una muestra de ceniza de Tonila, la cual fue representativa por su cantidad, ubicación y composición. La Tabla 7 contiene el resultado de los análisis correspondientes a la determinación de pH, reacción de Aloffano, gasto de EDTA, Capacidad de Intercambio Cationico (C.I.C), porcentaje de Carbono y Nitrógeno y, la relación Carbono-Nitrógeno.

Tabla 7. Resultado de los análisis de suelo.

No. Muestra	Distancia al volcán (km)	Clave	pH	Tec. F&P (reacción)	Gasto EDTA	C.I.C	%C total	%N total	Relación C:N
1	10	Bo (0-20)	5.59	Moderada	3.1	15.5	4.635	0.445	10.41
2	10	Bo (20-40)	5.45	Moderada	2.8	14	2.105	0.215	9.79
3	10	Bo (40-60)	5.51	Fuerte	1.65	8.25	0.57	0.065	8.76
4	26	CDG (0-20)	5.39	Negativa	3.75	18.75	1.69	0.17	9.94
5	26	CDG (20-40)	5.90	Negativa	5.1	25.5	1.105	0.12	9.20
6	13.4	To	6.83	Negativa	8.9	44.5	1.445	0.13	11.11
7	13.4	Ceniza	8.17	Moderada-débil	1.55	7.75			

El pH de los suelos fué ligeramente ácido con un rango de 5.39-6.83, esto quiere decir que es adecuado para el crecimiento vegetal. La reacción de alofano solo fue fuerte en la capa mas profunda de suelo del Borbollón. El valor más alto de CIC se obtuvo en Tonila porque tiene mayores cantidades de arcillas. El mayor porcentaje de N y C esta en la capa superficial del suelo del Borbollón. La relación C:N fue mayor en el Borbollón y Tonila porque existe mayor concentración de materia orgánica.

La tabla 8 muestra los resultados del análisis de suelo de 6 muestras y 2 blancos para la concentración de Aluminio intercambiable presente en las muestras de suelo. La concentración de aluminio intercambiable fue mayor en la muestra del suelo de Borbollón; el resto de las muestras tienen un rango de -0.11 a 0.18.

Tabla 8. Resultado de los análisis de suelo.

No. Muestra	Distancia al volcán (km)	Clave	Al Titu.1	Al Titu.2	meq 1	meq 2	meq Al/100g
1	10	Bo (0-20)	0.9	0.4	0.3375	0.15	0.1875
2	10	Bo (20-40)	0.9	0.3	0.3375	0.075	0.2625
3	10	Bo (40-60)	0.5	0.3	0.0375	0.075	-0.0375
4	26	CDG (0-20)	0.6	0.4	0.1125	0.15	-0.0375
5	26	CDG (20-40)	0.4	0.3	-0.0375	0.075	-0.1125
6	13.4	To	0.6	0.3	0.1125	0.075	0.0375
7	13.4	Ceniza	0.3	0.2	-0.1125	0	-0.1125
B1			0.4	0.2			
B2			0.5	0.2			

Los suelos del Borbollón y Ciudad Guzmán se identificaron como andosoles, porque son característicos de áreas volcánicas por su material parental que suelen ser cenizas andesíticas entre otros productos volcánicos y presentan una distintiva coloración negra. El suelo de Tonila se identificó como vertisol, porque aunque tiene material parental volcánico, la presencia de gran cantidad de arcillas lo definen como un suelo diferente al andosol. Los análisis de laboratorio revelan similitudes favorables para las plantas en los tres perfiles. En andosoles el drenaje es muy bueno lo que favorece la captación de nutrientes en la raíz de las plantas. La relación C:N se encuentra en valores cercanos a 10 lo que refiere a suelos en óptimas condiciones para la agricultura. El pH (5.39-6.83), capacidad de intercambio catiónico (44.5-8.25) y alofano resultan igualmente óptimos para el crecimiento vegetal, porque estas condiciones favorecen el transporte y disponibilidad de nutrientes. Con estos resultados queda descartada la posibilidad de que las condiciones edáficas sean las responsables de la diferencia de talla de las plantas a diferentes distancias del Volcán de Colima.

El Ingenio de Quesería mantiene los suelos de los cultivos de caña en óptimas condiciones para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Los suelos originales de la zona cañera son andosoles, aunque el continuo tratamiento da origen a suelos llamados antrososoles donde el material original puede ser cualquiera que haya sido modificado por el hombre, mediante el cultivo o la adición de materiales.

## Meteorología

Los valores de temperatura obtenidos a través del Servicio Meteorológico Nacional para el periodo de enero 2005 a diciembre de 2006 muestran fluctuaciones correspondientes a los valores característicos de cada estación (Anexo 3); en la figura 12 también se observan los valores estándar reportados por García (1973). Ambas series de valores muestran coincidencia, indicando que no hubo fluctuación importante en el comportamiento. El mes de mayo y junio se presentaron las temperaturas más altas en 2005 (22.5 en Cd. Guzmán y 28.3 en Colima) y 2006 (22.4 en Cd. Guzmán y 28.9 en Colima). En el promedio anual de 2005 y 2006 la temperatura estuvo alrededor de 19°C en Cd. Guzmán y de 26°C en Colima. La temperatura fue muy similar entre 2005 y 2006.

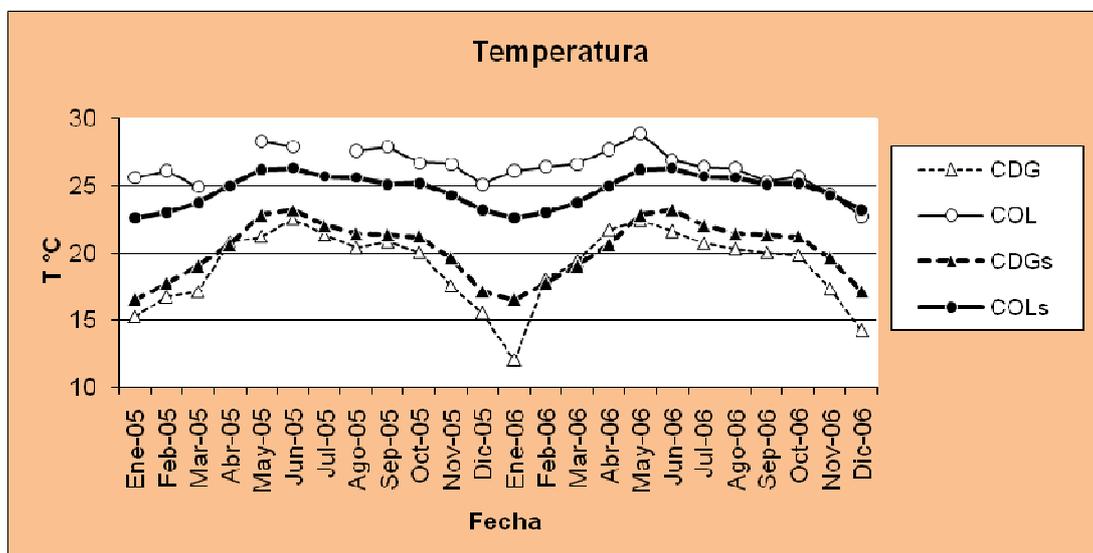


Fig.12. Datos mensuales de temperatura en °C de 2 estaciones meteorológicas (Colima y Cd. Guzmán) durante 2005 y 2006. Los valores estándar se indican en líneas más gruesas.

Los datos de precipitación del 2005 a 2006 están graficados junto con los valores estándar en la figura 13. Los valores corresponden a los milímetros de precipitación registrados mensualmente por las estaciones meteorológicas. En la gráfica se observa la alta en los meses correspondientes a la estación verano; en Cd. Guzmán ocurrió la mayor precipitación durante el mes de septiembre (160.6 mm y 219.5 mm) y en 2005 hubo menor precipitación que en 2006. En Colima la mayor precipitación del 2005 fue en el mes de septiembre (180.4 mm), mientras que en el 2006 la mayor precipitación fue en julio (244.8). La precipitación anual del 2005 (527.5 y 543.9 mm) fue menor que la de 2006 (980.0 y 882.7 mm).

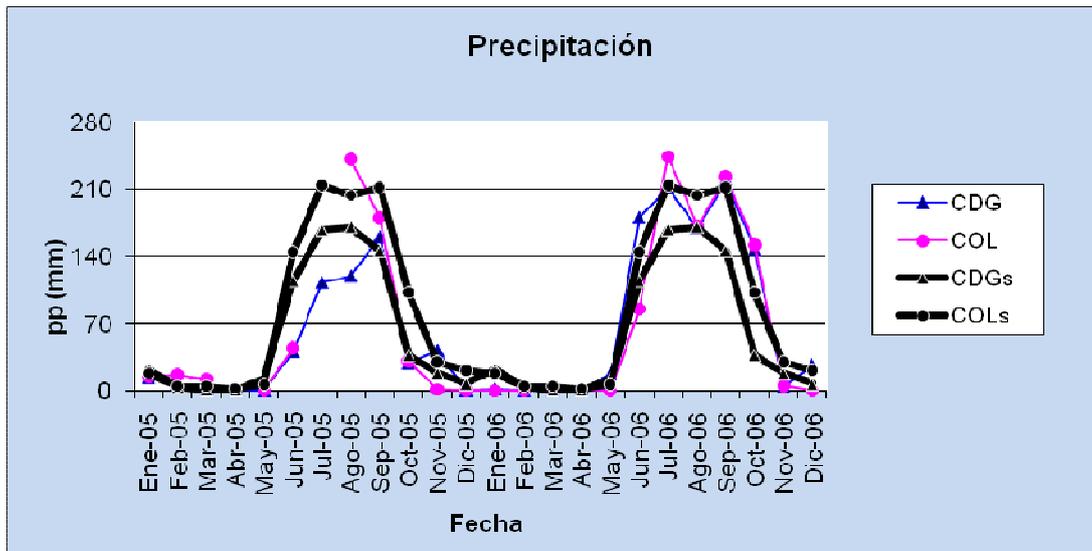


Fig. 13. Datos mensuales de precipitación en las estaciones meteorológicas de Colima y Cd. Guzmán en 2005 y 2006, así como los valores estándar en líneas gruesas (García, 1973)

En general el clima de la Ciudad de Colima es más cálido que Cd Guzmán, mientras que la precipitación es similar entre Colima y Cd Guzmán durante 2005 y 2006. Existen diferencias de precipitación anual entre 2005 y 2006, pero llovió casi la misma cantidad de milímetros sobre Colima y Cd Guzmán. Sin embargo la determinación del Índice de Agresividad o Factor R fue calculado con los datos de precipitación anual y precipitación mensual obtenidos del SMN. Para el año 2005, el factor R dio un valor de 108,85, mientras que para el 2006 fue de 180,95, lo que permite suponer que no tuvo mayor efecto en la vegetación. Al obtener el Factor R de 2005 y 2006, ambos años generan valores en un rango de 50-500 que corresponde a un nivel moderado de agresividad. Esto quiere decir que en el periodo de estudio no existe una diferencia relevante en las condiciones climáticas, por lo tanto esto no representa un daño a la vegetación.

### Transectos de Agave

Después de 4 mediciones periódicas (junio 2005, noviembre 2005, enero 2006 y mayo 2006) se obtuvieron los resultados de la altura promedio de las rosetas de agave (Figura 14, Anexo 1). En el transecto de Cd. Guzmán a 26 km del volcán están los agaves más altos y fue el que recibió menor cantidad de ceniza.

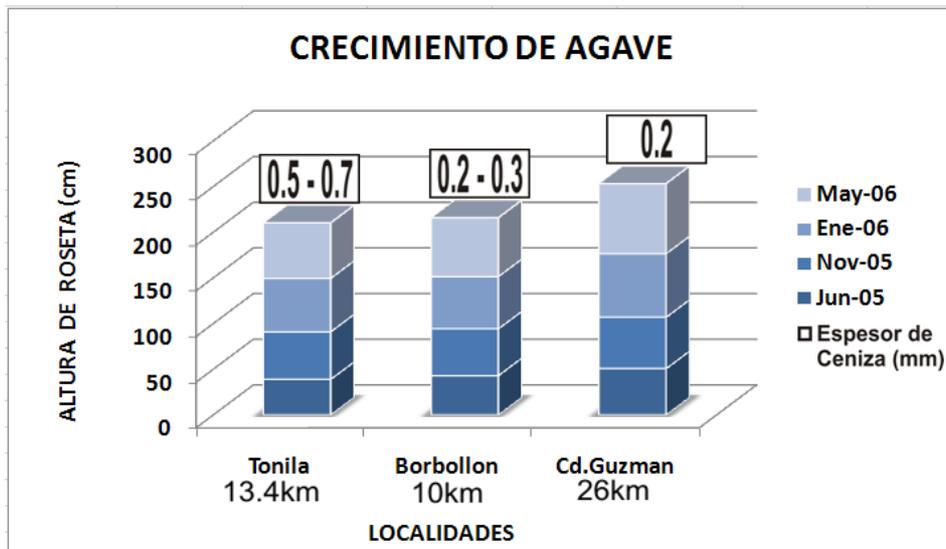


Fig.14. Talla promedio de altura de las rosetas de agave con espesores de ceniza.

Se obtuvo un total de 483 datos de las tallas de los agaves durante 2005 y 2006 que fueron procesados. En la figura 15 se encuentra una grafica de caja la cual indica que el transecto de Cd Guzmán a 26 km del volcán, presentó un mayor incremento en las plantas, mientras que en Tonila el incremento fue el menor de los 3. Sin embargo la prueba de Wilcoxon indica que no es estadísticamente significativo. Esto posiblemente podría subsanarse con un mayor número de datos

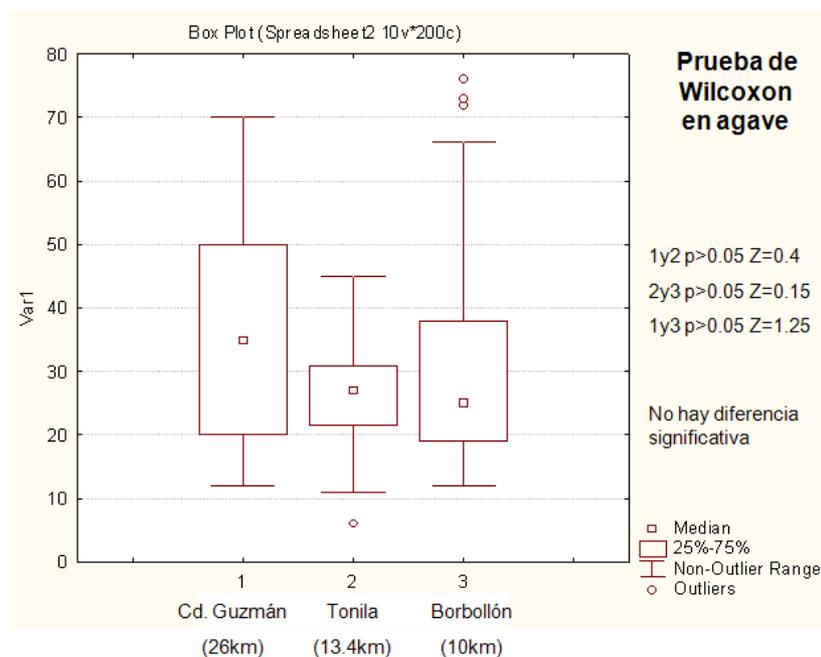


Fig. 15. Gráfica con valores de crecimiento (cm) y prueba de Wilcoxon para el agave.

El agave posee características tal como tallo y hojas gruesas, lo que le confieren una morfología resistente al medio en el que se desarrolla. Además de que sus requerimientos nutricionales no son muy exigentes, su hábitat suele ser seco y su cultivo no requiere de mucho cuidado por quedar exentas de muchas plagas.

Existen varios antecedentes de plantas dañadas por eventos volcánicos con ceniza abundante que provocaron la muerte de vegetales así como afectaciones económicas por estos eventos. Aunque *Agave tequilana* no esté reportada como especie dañada por eventos volcánicos, es claro que los resultados de este estudio revela que las plantas mas cercanas a Volcán de Colima tuvieron una talla menor a comparación de aquellas mas lejanas a la fuente.

El espesor de ceniza podría ser un factor que ocasione una baja en la tasa fotosintética del agave y la planta se desarrollaría más lentamente. La ceniza pudo haber afectado directamente a las clorofilas de las plantas al estar cubiertas por las ligeras capas de ceniza, así mismo los estomas que son los encargados del intercambio gaseoso pudieron haberse bloqueado con las partículas mas finas de ceniza. Si bien el espesor de ceniza es pequeño, la diferencia entre tallas de agave cerca y lejos de la fuente tampoco es muy amplia, el espesor y la continua caída de ceniza podría causar las diferencias entre las tallas de agave, ya que los agaves más cercanos al volcán acumularon mayor cantidad de ceniza que aquellos que están más lejanos.

### **Transectos de Caña de Azúcar**

Los resultados de 4 mediciones periódicas (junio 2005, noviembre 2005, enero 2006 y mayo 2006) muestran una talla mayor en el cultivo más lejano (Figura 16, Anexo 1). La caña de azúcar de Tuxpan alcanzó las alturas de tallo más altas y donde hubo menos caída de ceniza. En Naranjal y Montitlán donde creció menos y hubo mayor cantidad de ceniza.

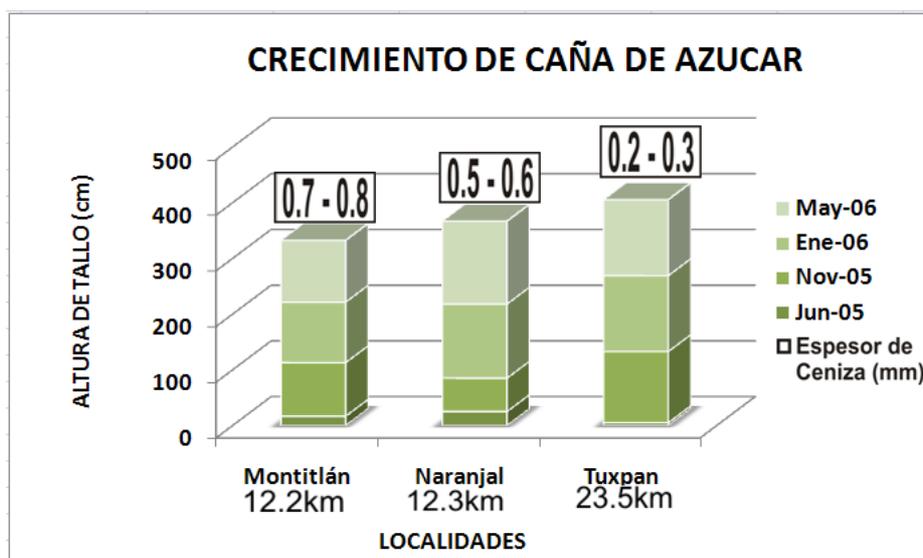


Fig 16. Talla promedio de la altura de tallos de la caña de azúcar con espesores de ceniza.

Fue obtenido un total de 231 datos de las tallas de caña de azúcar durante 2005 y 2006, y se procesaron igualmente que los datos de agave. La prueba de Wilcoxon mostró que las diferencias son estadísticamente significativas entre los transectos de Tuxpan/Naranjal y Tuxpan/Montitlán, pero no para Naranjal/Montitlán, es decir que existe estadísticamente diferencias en el incremento de talla las cañas mas lejanas al volcán (Fig 17).

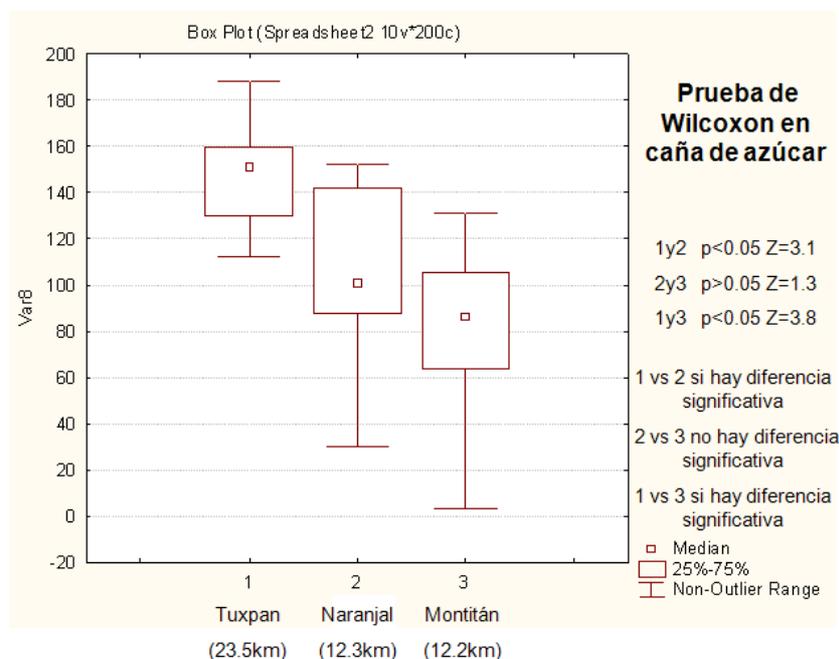


Fig. 17. Gráfica con valores de crecimiento (cm) y prueba de Wilcoxon para la caña de azúcar

La caña de azúcar tiene una morfología más propensa de afectaciones, pero es una especie muy cuidada agronómicamente. El Ingenio de Quesería ha desarrollado tecnologías para mantener las cañas en óptimas condiciones edáficas, así como estudios y técnicas para prevención de plagas perjudiciales para su producción. Algunas de las estrategias más exitosas para el cuidado de la caña son el control biológico para plagas que permite su control sin utilización de insecticidas.

Los datos de producción de caña fueron obtenidos del Ingenio de Quesería. En la Tabla 9 se muestran los datos de las Zafras correspondientes del 2001 hasta 2007; el valor de la última columna de la tabla corresponde al valor de toneladas promedio obtenidas en una hectárea. En la producción de caña de 2001 a 2007 la baja más notable fue desde 2003 y sobretodo en 2005 (Figura 16). También es posible apreciar un leve incremento de este valor en la zafra de 2006-2007.

Tabla 9. Producción de caña del Ingenio de Quesería en toneladas (Ton) por hectárea (Has).

Zafra	Unidades	Área 11	Área 13	Área 13	Área 14	Área 18	Área 18	Área 19	Total anual	Has/ Tons
2001-2002	Has	2	2.5	7	0	9	4	2	26.5	<b>96.53</b>
	Ton	193.5	255.6	836.3	0	798	291.6	182.9	2558.1	
2002-2003	Has	0	2.5	7	0	9	4	2	24.5	<b>91.52</b>
	Ton	0	166.1	569.7	0	941	292.8	272.5	2242.3	
2003-2004	Has	0	2.5	0	15	9	4	2	32.5	<b>81.16</b>
	Ton	0	191.5	0	1122.8	822	284.6	216.8	2637.8	
2004-2005	Has	2	0	7	15	19	4	2	49	<b>80.24</b>
	Ton	268.2	0	812.2	1203.2	1110	325.8	222.2	3931.9	
2005-2006	Has	2	0.5	7	15	0	0	7	31.5	<b>64.14</b>
	Ton	252.9	35.1	664.8	692.8	0	0	374.6	2020.4	
2006-2007	Has	2	3.5	7	15	10	4	7	48.5	<b>67.29</b>
	Ton	250	292	586	900	500	301	435	3264	

\* Área 11(Naranjal), área 13 (Montitlan - Naranjal), área 14 (Tuxpan) Área 18 (Quesería), área 19(Tonila).

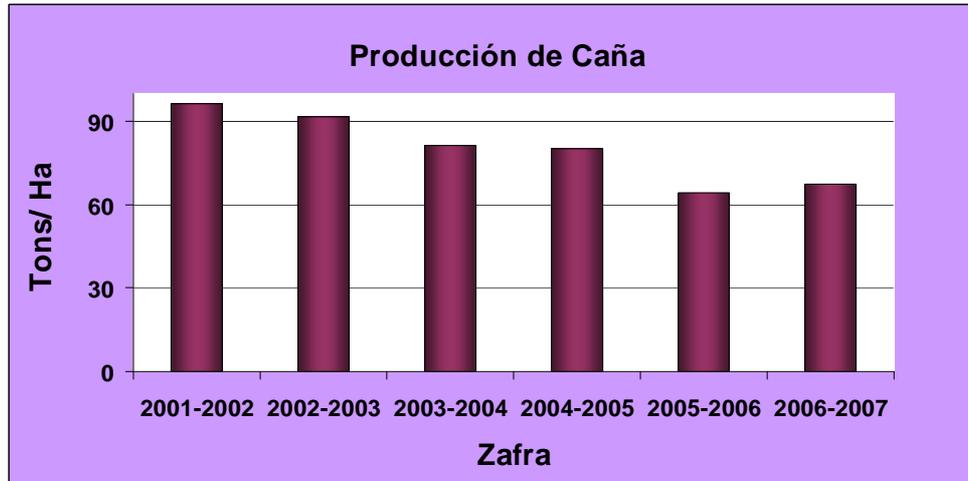


Fig 18. Producción de caña de azúcar (Ha/Ton) de 2001 a 2007. Se observa que durante 2005-2006 la producción disminuyó en todas las zonas.

Aunado a la diferencia de talla contra distancias, la producción de caña presentó una baja notable durante el 2005, si bien la producción tenía una tendencia a la baja se nota una menor producción incluso comparada con la zafra del 2006, esta baja en la producción coincide con el incremento de las caídas de ceniza desde el 2003 pero mayormente en el 2005.

Los antecedentes revelan que han habido afectaciones en los cultivos de caña de azúcar, como es el caso del Volcán Parícutín donde las cañas fueron devastadas por espesores de ceniza de 25 cm en organismos de tallas pequeñas (Segerstrom, 1950). La primera medida de las cañas del área del Volcán de Colima fue en junio de 2005 y los tallos tenía un promedio de 68 cm de alto, en este mes ocurrió una de las erupciones con la mayor cantidad de ceniza del periodo de estudio por lo tanto, la ceniza pudo afectar a las plantas en los estadíos mas tempranos del desarrollo cuando son mas susceptibles a las afectaciones ambientales.

En el caso de la caña de azúcar también es evidente la diferencia entre los cultivos cercanos y lejanos al volcán, la diferencia puede asociarse a la frecuente caída de ceniza que al acumularse podría provocar una ligera baja en la tasa fotosintética ya que obstruiría la función de las clorofilas, aunque también los estomas pudieron haber sido obstruidos por la ceniza mas fina. Los resultados de los transectos revelan tallas menores en cañas mas cercanas al Volcán de

Colima. Al igual que los agaves, las causas de estas diferencias pueden deberse a la frecuente caída de ceniza durante 2005.

Los factores ambientales tales como el clima y suelo fueron investigados y analizados quedando descartadas las posibilidades de que fueran los responsables de la diferencia en las tallas de agave y caña de azúcar. Con el análisis de las cenizas sabemos que la variación en composición tampoco fue factor responsable. Al parecer las características en cuanto a cantidad y textura de las cenizas depositadas en las plantas de agave y caña de azúcar pudieron afectar su tasa fotosintética. La concentración de lixiviados ( $\text{SO}_4$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{F}^-$ ) también pudo afectar la fisiología de las plantas, ya que las mayores concentraciones se detectaron junto con las erupciones más voluminosas del periodo de estudio y de esta manera pudieron provocar que los cultivos mas cercanos a la fuente crecieran menos que los lejanos.

## **CAPÍTULO VIII. CONCLUSIONES**

El Volcán de Colima produjo varias erupciones con columnas menores de 1 a 5km sobre el nivel del cráter (4000-9000 msnm) que depositaron ceniza sobre los agaves y caña de azúcar aledaños el volcán durante 2005 y 2006. En junio de 2005 se registraron espesores de 0.2mm en Tuxpan, 0.2- 0.3mm en Cd. Guzmán, 0.5-0.7mm en Tonila, 0.7-0.8 en Montitlán, 0.5-0.6mm en Naranjal y 0.2-0.3 en el Borbollón.

El agave azul y la caña de azúcar tienen importancia agronómica y económica en los estados de Colima y Jalisco y por lo tanto es importante estudiar el impacto que los eventos volcánicos pudieran tener en estas especies.

La actividad volcánica presentada en el 2005 causó efectos negativos en la talla de los cultivos de agave azul y caña de azúcar que están cercanos al volcán. El análisis estadístico indica que hay diferencias significativas en el incremento de las tallas de la caña de azúcar que se encuentran mas alejadas al volcán. En el agave es claro que las plantas más lejanas si tuvieron un mayor incremento aunque estadísticamente no existe diferencia. También se observó una baja notable en la producción de caña de azúcar en la zafra 2005-2006. Estos efectos pueden deberse a las cenizas finas que se depositan en las hojas causando una baja en la tasa fotosintética y/o a las concentraciones de lixiviados ( $\text{SO}_4$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{F}^-$ ) adheridos a la ceniza volcánica. La baja en la tasa fotosintética podría asociarse a la afectación directa de la clorofila o una obstrucción estomatal que impediría el intercambio gaseoso de las plantas. Se descartó la posibilidad que las condiciones climáticas y/o edáficas hayan producido la diferencia de talla entre los cultivos cercanos contra los lejanos a la fuente.

Las características químicas de la ceniza hasta ahora depositada en el suelo de las periferias del Volcán de Colima, pueden ocasionar un problema a las plantas con la disponibilidad de potasio y fósforo cuando la ceniza se transforme en suelo.

La actividad del Volcán de Colima durante 2005 y 2006 estuvo caracterizada por frecuentes caídas de ceniza, las erupciones más destacadas de este periodo se presentaron en mayo y junio de 2005.

Las localidades aledañas al Volcán de Colima se encuentran mayormente pobladas, urbanizadas y con mayor área cultivada que hace un siglo cuando ocurrió una erupción explosiva. El nivel y la ubicación de afectación estarán asociados con la dirección dominante del viento y por lo tanto con la zona de caída de ceniza, así como la dirección de los flujos piroclásticos, lahares y demás eventos destructivos. Si una erupción como la de 1611, 1818 ó 1913 ocurriera en los meses de junio a noviembre podría causar una pérdida total de los cultivos de caña, ya que durante este periodo la altura de los tallos es corta. Una erupción intensa afectaría a la vegetación incluyendo a los cultivos de caña de azúcar y agave, causando un importante impacto económico.

Los efectos que la ceniza volcánica provoca en la plantas son de importancia económica, agronómica y biológica. La información de este estudio aporta el conocimiento del efecto de la ceniza volcánica sobre las plantas que ha sido poco estudiado en México y en resto del mundo. Este trabajo puede ser la base para estudios posteriores que evidencien y pronostiquen el impacto de eventos volcánicos sobre la vegetación.

## REFERENCIAS

Alvarez de Zayas, A. 1987. Sistemática y filogenia de la familia Agavaceae Endlicher. Tesis de Doctorado. Facultad de Biología, Jardín Botánico Nacional. Universidad de La Habana. 10-47

Araña, V y Ortiz, R. 1996. Introducción al Riesgo Volcánico Daños que pueden producir las erupciones. Ed. Serie Casa de los Volcanes 5, España. 37-96.

Arreola, J.M., 1915. Catálogo de las erupciones antiguas del Volcán de Colima. Memorias de la Soc. Cient, Antonio Alzate, 32, 443-481.

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

Biondi, F., Galindo, J.C., Gavilanes, R., y Elizalde, A. 2002. Tree growth response to the 1913 eruption of Volcán de Fuego de Colima, México. Quaternary Research, 59,3,293-299.

Boletin Vulcanologico. Gobierno del Estado de Colima. [www.colima-estado.gob.mx](http://www.colima-estado.gob.mx)

Diaz, S. 1906. Efemérides del Volcán de Colima (1893-1905). Secretaría de Fomento, México. 168 pp.

Fernández Del Campo, L. 1913. Cultivo de la Caña de Azúcar. Biblioteca Agrícola de la Secretaria de Fomento. Mexico. 15-23.

Fieldes, M. y Perrot, K.N. 1966. The nature of allophane in soils. Rapid field and laboratory test for allophane. New Zealand Journal of Soil Science 9, 623-629.

Flores, J.1987. Las erupciones del Volcán Colima. Colección cuadernos de difusión científica N° 10. Instituto de Geografía y Estadística. Universidad de Guadalajara 52 pp.

Fonseca, R. 2003. Efectos ambientales de la erupción del Volcán de Colima, y sus proyecciones a futuro. Tesis de Maestría. Posgrado en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional Autónoma de México. 75 pp

Fonseca, R y Martin Del Pozzo, A.L. 2009. Escenarios por emisiones de ceniza: Volcán de Colima, México. XI Reunión Internacional Volcán de Colima Febrero. Universidad de Colima. 2- 6.

García, E.1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen : para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. México: Offset Larios, 246 pp.

Gentry, H.S. 1982. Agaves of Continental North America. The University of Arizona Press, EUA, 61, 52 pp.

González-Pomposo, G.J, Martin Del Pozzo, A.L, Panohaya Analco, J. y Gante Gonzalez, J.A. 1993. Estudio de la sismicidad y deformación del Volcán de Colima durante la crisis de abril 1991. Geofísica Internacional, 32, 4, 671-682.

Guan, I, 2001. Weathering indices for rhyolitic tuff and granite in Hong Kong. Engineering Geology 59. 147-159.

Hoy Digital, Diario en Línea. Ecuador. 2000. <http://www.hoy.com.ec/especial/volcan70.htm>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).2005. Información Geográfica de Colima y Jalisco. <http://www.inegi.org.mx/inegi/default.aspx>.

Kenneth, A., Doukas, M., Kessler, R y Gerlach, T. 1997. Impacts of Volcanic Gases on Climate, the Environment, and People. U.S. Geological Survey. Prof. Paper. 27-37.

Lianhong, G., Baldocci, D., Wofsy, S., Munger, J., Michalsky, J., Urbanski y Boben, T. 2003. Response of a deciduous forest to the Mount Pinatubo eruption: Enhanced photosynthesis. Science, 299.2035-2038.

López A y Miranda, R. 2005. Cafetales dañados por la ceniza. El Diario de Hoy. 2 de Octubre. El Salvador. <http://www.elsalvador.com/noticias/2005/10/02/nacional/nac12.asp>

Martin Del Pozzo A.L., Fonseca, R. y Barrera, D. 2002. El Volcán de Colima. Desastres Naturales en América Latina. Fondo de Cultura Económica. México. 85-100.

Nobel, P.S y Valenzuela, A. 1987. Environmental responses and productivity of the CAM plant, Agave tequilana W. Agricultural Forest Meteorology. 39pp

Nieto, A. 2008. Efectos de la caída de ceniza en la biota del área del Volcán de Colima. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. 28-58.

Nobel, P.S. 1988. Environmental biology of agaves and cacti. Cambridge University Press. EUA. 82 pp

Observatorio Vulcanológico de la Universidad de Colima. Reporte de actividad. [www.ucol.mx/volcan](http://www.ucol.mx/volcan) 2005-2006.

Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación (FAO). 1998. System of Soil classification, Roma. Italia. [www.fao.org](http://www.fao.org)

Rees, J. D. 1979. Effects of the Eruption of Parícutin Volcano on Landforms, vegetation and human occupancy. Volcanic Activity and human Ecology. 249-291.

Seegerstrom, K. 1950. Erosion Studies at Parícutín, State of Michoacán, México. Geologic investigations in the Parícutin area, México. U.S. Geological Survey Bulletin, 965. 1-131.

Simkin, T. y Siebert, L. 1994, Volcanoes of the World. Geoscience Press. USA, Tucson AZ. 368.

Skerman, P.J y Riveros, F.1992. Gramíneas tropicales. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Colección. Producción y protección vegetal. FAO. EUA, 670-677.

Tello, F.A.1651. Libro segundo de la Cronica Miscelanea en 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 Mexico, Imprenta de la Republica Literaria, Guadalajara. 87pp.

Valenzuela, A. 1994. El agave tequilero: su cultivo e industrialización. Ed. Monsanto. México. 37pp.

Van Reenwijk, L.P. 1992. Procedures for soil analysis. World Soil Information. Wageningen. 1-11.

Vízcaino, J. S., 1993. Notas sobre el Volcán. Geofísica Internacional. 32, 4, 699-701.

Waitz, P. 1914. Der gegenwärtige Stand der Mexikanischen Vulkane und die letzte Eruption des Vulkans von Colima (1913). Zeitschrift Vulk.Bd.Berlin, 247-274.

Waitz, P. 1932. Datos históricos y bibliográficos acerca del Volcán de Colima. Mem. Soc. Cient. Antonio Alzate. 53, 349-384.

Wilcoxon, F. 1945. Individual Comparisons by Ranking Methods. Biometrics 1, 80-83.

Wischmeier, W. H. 1959. A rainfall erosion index for a Universal Soil-Loss Equation. Soil Science Society Proceedings 23, 246-249.

**ANEXO 1**

**Medidas de las tallas de agave (cm)**

**CD.GUZMAN**

<b>Jun 05</b>		<b>Nov 05</b>		<b>Ene 06</b>		<b>May 06</b>	
<b>Alto</b>	<b>Ancho</b>	<b>Alto</b>	<b>Ancho</b>	<b>Alto</b>	<b>Ancho</b>	<b>Alto</b>	<b>Ancho</b>
58	80	60	86	69	83	70	94
40	68	54	84	54	84	56	34
50	62	53	87	66	79	70	82
63	56	65	70	69	101	84	107
30	115	44	40	74	65	89	93
24	46	48.5	104	73	51	74	55
53	61	76	106	86	129	88	90
45	36	52	78	52	90	67	74
24	34	53	75	74	86	74	97
31	20	43	104	65	113	91	68
23	16	55	115	80	114	82	66
48	89	50	80	77	99	83	70
46	43	67	98	76	106	87	103
40	120	71	60	76	92	77	94
42	55	57	46	74	113	96	94
51	95	63	90	65	98	74	90
70	116	80	88	83	109	89	102
34	70	44	34	47	67	104	128
56	83	60	95	68	97	69	64
55	113	67	103	102	127	102	125
50	80	58	78	74	126		
		32	64	69	129		
		59	106	74	94		
		56	80				
		40	64				
		74	111				

### Medidas de las tallas de agave (cm)

#### TONILA

Jun 05		Nov 05		Ene 06		May 06	
Alto	Ancho	Alto	Ancho	Alto	Ancho	Alto	Ancho
33	48	40	39	44	53	56	61
41	12	56	73	58	58.82	66	83
41	40	65	100	72	106	72	114
36.6	17	40	29	45	75	55	40
43.5	16	59	77	45	33	65	92
35	33	54	74	55	80	56	91
51	13	53	63	55	69	57	82
38	13	45	75	58	79	67	100
51	25	57	47	62	48	63	46
37	23	37	81	46	78	51	69
29	9	40	72	42	77	54	90
44	11	58	82	62	91	65	104
46	16	46.5	56	59	55	64	81
42	10.5	54	59.5	64	87	64	103
33	20	46	60	54	69	60	81
33	49	51	86	59	92	64	107
37	35	49	57	53	77	64	81
37	25	52	74	66	70	66	94
25	20	48	56	55	62	67	78
39	25	42	48	42	46	67	54
40	30	64	72	67	76	68	102
35	18	72	86	73	82	80	83
43	19	44	30	48	93	77	103
36	38	44	74	48	34	61	35
35	24	54	80	61	83	62	74
35	49	53	60	64	90	67	91
42	16	58	67	59	69	69	71
31	47	49	59	52	79	73	105

Jun 05		Nov 05		Ene 06		May 06	
Alto	Ancho	Alto	Ancho	Alto	Ancho	Alto	Ancho
38	23	56	89	59	79	65	88
37	18	60	90	69	106	73	124
38	12	57	97	65	106	69	120
40	23	52	84	59	98	75	122
35	24	55	70	56	86	62	106
31	32	51	54	54	63	55	103
35	22	53	55	60	66	65	84
41	39	51	57	51	62	61	79
35	25	46	38	56	60	58	70
40	17	46	73	54	45	61	41
37	34	59	68	67	96	72	105
38	26	46	61	65	76	68	69
35	19	48	58	57	76	61	88
36	13	53	52	57	57	57	77
39	11	54	36	56	76	62	72
40	35	50	32	51	36	51	54
35	33	48	80	55	96	57	32
34	17	45	64	53	48	63	100
28	21	29	28	55	78	59	91
33	30	34	52	36	30	52	39
24	20	37	45	59	68	66	80
39	31	42	49	51	59	55	72
26	20	45	77	53	65	54	77
41	38	56	67	75	92	75	117
40	37	63	93	66	103	69	103
35	18	57	60	63	77	71	115
				73	79	74	92

**Medidas de las tallas de agave (cm)**

**BORBOLLON**

Jun 06		Nov 05		Ene 06		May 06		Jun 06		Nov 05		Ene 06		May 06	
Alto	Ancho														
46	58	56	62	59	75	67	92	35	37	50.5	68	53	69	59	89
46	70	58	65	61	73	68	90	48	57	48	66	69	82	71	99
27	17	53	70	56	67	65	63	37	41	55	79	59.5	81	70	102
56	59	66	80	72	85	74	91	32	40.5	51	85	54	67	58	55
37	56	42	53	45	49	53	53	47.5	69	53.5	61	62.4	94.3	69	76
47	59	51	60	55	62	63	70	41	20	56	80	56	82	62	86
50	69	58	87	62	78.5	74	102	39.2	34	46	86	52	84.5	54	72
39	36	43	55	56	60	59	63	40	23	46	96	55	71	73	113
34	39	47	56	52	49	59	57	40	25	46	70	57	99.5	72	63
43	41	47	60	51	67	56	46	34	3	42	110	66	52	77	120
41	54	46	58	52	57	61	61	36	13	44	56	58	116	71.5	70
55	57	56	81	57	60	67	87	37	27.5	42	106	50	69	64	33
45	50	49	63	52	68	60	71	30.5	19	43	54	54.5	38	70	97
43	40	48	67	56	79	62	79	25	9	31	38	66	97	67	102
30	20	32	33	72	92	83	104	35	24	45.5	63	59.5	100.4	74	99
52	104	58	110	62	78	67	82			55	91	61	87	72	94
41	48	52	60	58	65	79	90			57	92	61.5	90.9	66	83
36	68	43	81	46	45	53	50			58	74	64	95	73	70
25	42	36	41.5	63	65	66	87			56	90	59.2	90.1	65	107
45	64	58.5	77	68	94	73	77			53	99	65	86	76	103
49	69	54	95	64	66	65	66			51	89	76.2	98		
42	56	53.5	73	59	74	67	86			54	81				
46	66	48	77	54	69	58	77			64	99				
34	33	52	63.5	61	75	63	91								

## Medidas de las tallas de caña de azúcar (cm)

### TUXPAN

\*(h) hojas

Jun 06			Nov 05			Ene 06			May 06		
Largo (h)	Ancho (h)	Alto Tallo	Largo (h)	Ancho (h)	Alto Tallo	Largo (h)	Ancho (h)	Alto Tallo	Largo (h)	Ancho (h)	Alto Tallo
40	3.4	5	119	3.5	83	116	4	106	89	5.5	131
38	1.7	4	147	3	86	133	3.8	94	93	4.5	151
53.5	2.2	6	112	3	110	118	3.7	113	104	5.5	122
50	2.3	7	125	2.5	120	128	3	136	132	6	156
46	2	4	130	2.9	92	145	4.5	120	100	6	172
52	1.4	8	144	3.3	100	129	3.7	125	113	5	154
56	2.5	5	145	4	66	113	3	142	90	5	164
62	2.8	7	88	2.2	68	130	2.8	133	82	4	140.5
60	2	6	136	4	97	140	4.5	143	103	5.5	156
44	2.3	3	138	3	109	138	4	112	97	5.3	132
52	1.4	4.5	123	3.2	95	135	4	110	87	3.2	164
46	2.1	4	155	4	64	128	2.4	101	94	4	120
43	1.8	5	134	3	126	145	3.5	130	100	5.4	133
32	1.2	3	143	3.5	70	144	4	142	126	4	150
40	1.7	6	124	2.5	80	145	3.5	110	104	5	190
27	1.8	3	150	4	100	142	4.9	130	98	4	185
52	1.4	4.5	145	3.7	145	142	4	160	90	4	163
44	2.3	3	153	4.7	110	128	3.5	130	116	5	180
60	2	6	156	3.3	120	135	3.7	154	100	4	191
62	2.8	7	163	2.8	130	159	4.5	137	106	4	160
56	2.5	5	150	2.5	160	148	3.5	164	110	4	193
52	1.4	8	154	4.3	108	153	4	135	92	5	160
46	2	4	149	4	130	131	4.1	138	101	3.7	158
50	2.3	7	145	4	105	146	3.6	136	92	5	160
53.5	2.2	6	140	3.9	118						
38	1.7	4	153	2.5	134						
			105	5	50						

**Medidas de las tallas de caña de azúcar (cm)**

**MONTITLÁN**

<b>Jun 06</b>			<b>Nov 05</b>			<b>Ene 06</b>			<b>May 06</b>
<b>Largo (h)</b>	<b>Ancho (h)</b>	<b>Alto Tallo</b>	<b>Largo (h)</b>	<b>Ancho (h)</b>	<b>Alto Tallo</b>	<b>Largo (h)</b>	<b>Ancho (h)</b>	<b>Alto Tallo</b>	<b>Cortada</b>
70	3.6	20	110	3.5	52	108	4.5	79	
53	2.3	20	110	4.5	97	113	4.5	120	
50	3.5	20	120	4.5	85	111	4.3	104	
90	3.5	22	119	5.5	84	125	5	120	
62	3.5	10	109	5	86	104	4.3	104	
70	3	30	130	5	86	108	5	98	
85	3.5	19	117	4.6	75	109	5	108	
73	3.2	15	114	5	86	115	5	126	
69	3.2	14	115	4.2	83	124	5	88	
77	4.5	28	112	5.3	89	120	4.5	108	
55	3.5	14	113	4.2	82	132	5.9	124	
47	3	10	118	5.5	108	122	5	135	
58	2.8	14	110	5	115	101	5.5	118	
30	1.5	7	118	4.7	91	113	4.6	114	
40	2.3	9	118	4.5	98	108	5	140	
			101	5.1	97	116	4	102	
			110	5.2	44	124	4.3	113	
			120	5.2	100	96	4.6	112	
			101	5.5	99	9	4.9	102	
			104	4.7	73	115	5	120	

**\*(h) hojas**

## Medidas de las tallas de caña de azúcar (cm)

### NARANJAL

Jun 06			Nov 05			Ene 06			May 06		
Largo (h)	Ancho (h)	Alto Tallo	Largo (h)	Ancho (h)	Alto Tallo	Largo (h)	Ancho (h)	Alto Tallo	Largo (h)	Ancho (h)	Alto Tallo
72	2.5	16	126	5	109	104	6	140	95	5	161
95	3	23	86	2	60	125	3	79	119	4	123
92	3.5	30	140	4	58	122	5	114	97	4	131
130	3	28	109	3.2	50	93	2.5	53	123	4	180
85	2.3	25	128	4	53	135	3.5	103	109	4	172
93	2	23	126	3.4	38	100	3	78	144	5	165
66	2.5	22	112	3	50	132	5	94	118	5.5	174
84	3	19	136	3.4	76	154	3.7	95	136	4	120
135	2	40	122	2.6	40	134	3	65	135	3.5	182
			153	3.5	73	128	3.8	88	130	5.5	103
			151	2.3	53	109	3.5	79	116	4	146
			122	4	40	148	5.2	84	117	3	110
			130	3.3	60	130	5	106	130	3	210
			133	2.5	59	144	4	80	128	5	155
			97	2.9	32	150	3.5	94	132	4	126
			124	4	77	163.5	4.6	93	127	3	124
			86	1.9	35	150	4.2	72	130	5	115
			100	3	25	140	3.5	95	110	3.4	112
			118	3.5	32	148	4	38	123	3	162
			139	3.2	58	120	5	82	120	4	180
			124	2.4	40	136	3.5	66	133	4	128
			150	3.3	52	159.9	3.8	59	150	4	173
									167	4	200

\*(h) hojas

## ANEXO 2

### Análisis de la ceniza: Características Físicas.

LUGAR	FECHA	PESO (g).	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS
	(2005)		
Juan Barragán	10 mayo – 14 junio	46,5	Ceniza muy fina, casi rosa
Juan Barragán	14-junio-	101,4	Ceniza muy fina color casi rosa., con liticos negros
Juan Barragán	14-jun	24	Ceniza fina casi rosa con liticos grises
Tuxpan	5 al 12 junio	73,2	Muy sucia, color gris oscuro, liticos rojos y casi blancos.
Tuxpan	10-30 mayo	347,8	Muy sucia, color gris oscuro, liticos casi blancos y rojos.
Manantial (Ejido Atenquique)	13-jun	3,7	muy fina, color casi rosa
Ejido Atenquique	10-mayo	2,8	Líticos grises con fragmentos de plagioclasa, 2 líticos casi blancos. Muy poca ceniza gruesa de color gris oscuro.
Ejido Atenquique	10 mayo al 13 junio	10,2	Gruesa de gris oscuro y claro, líticos de 5 mm Basura mucha.
Ejido Atenquique	10 mayo al 13 de junio	52,7	Ceniza gruesa, predominando el color gris oscuro, gris claro, pocos de color rojo muy poca ceniza fina, líticos 2 mm.
Ejido Atenquique depósito cecilio	10 al 13 junio	90	Ceniza muy fina casi rosa, los liticos mas gruesos son mas oscuros de color gris y amarillos casi blancos.
Ejido Atenquique	10 al 13 junio	141,8	Lapilli media y gruesa gris oscuro con escasa parte fina gris clara. Líticos gris oscuro y claro, escasos rojos y amarillos. Se parece a borbollón 42 del 23 mayo 2005.
Nevado	mas o menos del 10 junio	103	Bimodal, ceniza fina color rosa, la mas gruesa de color gris oscuro y rojo y amarillo, líticos gris oscuro, Color: gris oscuro, los fragmentos claros de color rosa, líticos (1 cm).
Nevado antena	13-jun	6,2	Fina gris clara ligeramente rosa y gris oscura con líticos de 1 mm aproximadamente.
San Marcos	10-jun	63,1	Falta pasar a frasco
San Marcos	10-jun	1,7	ceniza gris claro.
San Marcos	10-jun	0,2	Ceniza gris oscuro, rojo y blancos.
Caseta San Marcos	09-jun	1,5	Ceniza fina, gris claro a café claro.
Tonila	06-jun	487,11	Ceniza gris oscuro y claro, muy poca ceniza fina.
Queseria	09-jun	353,9	Ceniza, gris oscuro con menor cantidad de ceniza fina mas clara, con basura del ingenio. También hay granos casi blancos.
Queseria		346,45	Ceniza, gris oscuro con ceniza fina mas clara casi rosa, con basura del ingenio. También hay granos casi blancos.
Queseria	09-jun	159,1	Ceniza, gris oscuro con ceniza fina mas clara casi rosa, con basura del ingenio. También hay granos casi blancos.
Queseria	09-jun	56,7	Ceniza con granos grises oscuros y claros y en menor cantidad los rojos, cristales de plagioclasa líticos de 2 mm. Muy poca ceniza fina casi rosa.
Queseria	12-jun	9,7	Ceniza muy fina casi rosa, predomina la mas gruesa los liticos son grises oscuros y en menor cantidad los amarillos. A simple vista se ven cristales de plagioclasa.
La nogalera	14-jun	87,2	Ceniza media gris oscuro y la parte fina gris clara.
Montitlán	14-jun	12,4	Fina casi rosa, granos mas gruesos de color gris claro y oscuros.
El Fresnal	14-jun	113,2	Ceniza gruesa, predominando el color gris oscuro.
Naranjal	12 junio (colecta)	1,2	Ceniza muy fina casi rosa, con líticos mas gruesos de color gris oscuro, casi blancos y rojos.
Naranjal	12 junio (colecta)	4,2	Fina muy casi rosa
Naranjal	12 junio (colecta)	2,4	Fina casi rosa, granos de color gris oscuro casi negros.

Colima	09-jun	45,8	Ceniza muy fina color gris claro, con granos poco mas gruesos de color gris oscuro y blancos, cristales de plagioclasa.
Colima	09-jun	12,9	Ceniza muy fina color gris claro, plagioclasa.
cofradía de suchitlán	15-jun	1,12	Ceniza media gris oscuro y la parte fina gris clara.
Cofradía de Suchitlán	12-jun	13,6	Ceniza muy fina de color gris claro casi rosa, granos negros. Hay muy poca ceniza gruesa gris oscuro.
jabalí	12-jun	0,6	Ceniza fina gris con fracción gruesa.
calabozo	12-jun	3,8	Ceniza fina, color gris claro con plagioclasa.
hortiga el jabalí	12-jun	3,5	Ceniza fina gris oscuro y casi rosa. Granos blancos.
Don Chema	12-jun	3,2	Ceniza fina con ceniza media gruesa que es la más oscura.
Don Chema	12-jun	6,6	Ceniza fina con predominancia ceniza media gruesa que es la más oscura.
borbollon	12-apr	14,2	Ceniza muy fina, casi café claro, con granos muy finos gris oscuro a negro.
borbollón	23-mai	226	Ceniza muy gruesa, Lapilli, Gris oscuro, rojo y gris claro es casos amarillos. Se observan cristales de Plagioclasa.
borbollón	02-jun	226,7	Ceniza muy gruesa, Lapilli, Gris oscuro, rojo y gris claro es casos amarillos. Se observan cristales de Plagioclasa.
Borbollón	02-jun	5,5	Ceniza muy fina color café claro, con granos muy finos oscuros.
Borbollón	06-jun	14	Ceniza muy fina color café claro, con granos muy finos oscuros.
Borbollón	15 junio3:30 p.m.	8,1	Ceniza gris oscuro fina, rica en plagioclasa y fragmentos semiredondeados negros. Ceniza fina gris oscura, abundantes cristales de plagioclasa con líticos negros semi redondeados y escasos líticos rojos, poca azúcar.
Borbollón	16-junio2:15 p.m.	0,9	Ceniza fina gris claro, plagioclasa.
Borbollón	21-junio5:45	9,8	Ceniza gris fina, con liticos grises oscuros y plagioclasa ambos redondeados.
Borbollón	27-julio4:13 a.m.	202,9	Ceniza gris, con liticos grises oscuros mas gruesos y grises claros los mas finos, plagioclasa.
Borbollón	27-septiembre5:00 a.m.	1394,3	Ceniza fina, gris claro y liticos oscuros. Ceniza muy fina gris clara con cristales de plagioclasa
Borbollón	4-octubre10:30 a.m.	5,8	Ceniza gris fina, con fragmentos y plagioclasa, ambos angulosos.
Borbollón	23-oct	17	Ceniza gris claro, con liticos oscuros. Ceniza muy fina gris claro, abundantes cristales de plagioclasa, escasos líticos negros muy pequeños con escasos fragmentos rojos, muy pocos fragmentos verdes.
Borbollón	24-nov	26,3	Ceniza gris claro, con granos oscuros
Becerrera	Mayo-junio	481,9	Lapilli gris oscuro, granos rosas y plagioclasa.
Queseria	Mayo junio	710	Lapilli gris oscuro, granos y plagioclasa.
Montitlán	17-jun	1,3	Ceniza fina gris con plagioclasa
Naranjal	25-nov-05	1,2	Ceniza fina gris con plagioclasa
Ejido Atenquique	25-noviembre cayó 26-nov-colecta	748,2	Ceniza gris, con liticos grises oscuros y parte fina gris clara, plagioclasa. Líticos grandes
Ejido Atenquique	25-noviembre 26-nov-colecta	1405,1	Ceniza gris, con granos grises oscuros y parte fina gris clara, plagioclasa. Líticos grandes
Ejido Atenquique	25-noviembre cayó 26-nov-colecta	813,8	Ceniza gris, con líticos grises oscuros y parte fina gris clara, plagioclasa. Ceniza media gris oscura con líticos negros angulosos abundantes y cristales de plagioclasas, escasos líticos rojos y cubierta de azúcar muy abundante

### Análisis de la ceniza: Características Químicas.

# de muestra	Clave	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3t</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	PxC	Suma
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1	JuB	57.555	0.549	18.581	4.731	0.088	2.113	6.443	4.501	1.278	0.225	2.43	98.49
10	EAT	55.583	0.591	17.979	5.31	0.092	2.318	6.238	4.207	1.212	0.248	4.11	97.89
11	EAT	59.43	0.663	17.416	6.153	0.104	3.64	6.089	4.321	1.304	0.208	0.02	99.35
12	NV	58.693	0.669	17.273	6.477	0.118	4.031	6.208	4.163	1.234	0.192	0.14	99.2
19	Ton	58.366	0.641	16.697	6.202	0.1	3.551	6.554	4.291	1.292	0.209	1.14	99.04
24	Qu	58.835	0.647	17.794	5.867	0.101	3.301	6.377	4.401	1.266	0.212	0.44	99.24
25	Qu	55.776	0.631	16.504	6.473	0.117	4.147	7.419	3.82	1.165	0.227	2.27	98.55
27	Mon	56.953	0.609	17.847	5.516	0.094	2.902	6.577	4.283	1.176	0.203	1.6	97.76
33	Col	57.878	0.652	17.81	5.986	0.096	2.848	6.202	4.296	1.223	0.218	2.05	99.26
41	Bo	56.023	0.565	18.413	4.849	0.09	2.338	6.366	4.452	1.195	0.234	2.68	97.21
42	Bo	58.332	0.659	17.211	6.129	0.113	3.783	6.01	4.254	1.253	0.202	0.73	98.77
43	Bo	57.842	0.596	17.995	5.43	0.106	2.928	6.02	4.408	1.326	0.224	1.46	98.34
44	Bo	54.887	0.562	17.458	4.824	0.079	2.123	6.039	4.292	1.355	0.324	5.41	97.35
45	Bo	59.207	0.55	19.008	4.67	0.079	2.1	6.45	4.63	1.26	0.223	1.96	100.14

### Análisis de lixiviados

Clave de Lugar	Fecha	SO4 (mg/l)	Cl- (mg/l)	F- (mg/l)
Bo	12-Apr	307.8	8	0.38
JuB	10-May	222.6	4.31	0.479
Bo	23-May	322.4	2.66	0.25
Bo	2-Jun	162.23	3.01	0.526
Bo	6-Jun	171.75	11.3	0.475
Col	9-Jun	198.09	12.6	0.746
Qu	9-Jun	75.2	4.37	0.4
NV	10-Jun	39	1.92	0.369
EAT	12-Jun	249.6	5.85	0.362
EAT	12-Jun	6.53	1.41	0.168
BO	27-Jul	44.29	4.97	0.345
BO	27-Sep	54.19	3.32	0.325
BO	23-Oct	24.62	3.96	0.378
BO	24-Nov	7.33	2.29	0.316
EAT	25-Nov	20.33	2.43	0.124

## Relaciones moleculares

	<b>SiO<sub>2</sub> : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>SiO<sub>2</sub> : CaO</b>	<b>SiO<sub>2</sub> : Na<sub>2</sub>O</b>	<b>SiO<sub>2</sub> : K<sub>2</sub>O</b>	<b>SiO<sub>2</sub> : MgO</b>
	5.25583349	8.33385263	13.1510466	70.5993826	18.2723395
	5.24570754	8.31280326	13.5880064	71.893241	16.0856697
	5.79008497	9.10564355	14.1451558	71.4458221	10.9525423
	5.76562189	8.82034331	14.4999388	74.5623947	9.76751539
	5.93128929	8.30815104	13.9890328	70.8184009	11.0260473
	5.61034792	8.60736521	13.7489857	72.8535554	11.9564108
	5.73437081	7.01379202	15.0165537	75.0533599	9.02243837
	5.41475741	8.078666	13.6758649	75.9203117	13.1652706
	5.51413277	8.70628025	13.8559247	74.1883577	13.6327705
	5.16261134	8.21014101	12.9418832	73.4931995	16.074314
	5.75080161	9.0548922	14.1024852	72.9801069	10.3438239
	5.45404947	8.96391437	13.4954691	68.3830514	13.2520426
	5.33460942	8.47920926	13.1521288	63.5007562	17.3432344
	5.28523443	8.56375494	13.1515923	73.6633066	18.9131713
<b>Media</b>	<b>5.51781803</b>	<b>8.46848636</b>	<b>13.7510048</b>	<b>72.0968033</b>	<b>13.5576851</b>

	<b>SiO<sub>2</sub> : Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>SiO<sub>2</sub> : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>Si : Mg+Ca+Na+K</b>
	32.3320188	6.15164443	604.231187	3.77466663
	27.8195547	5.30329885	529.410925	3.70415197
	25.6697434	4.43339667	674.908647	3.4987397
	24.0832516	4.17704319	722.083924	3.35422064
	25.0109899	4.21678807	659.654063	3.37082533
	26.6515445	4.75042633	655.544977	3.49313842
	22.9004739	3.99354606	580.395592	3.00004765
	27.4406921	5.06776019	662.709451	3.49609452
	25.6968279	4.66017576	627.132949	3.65146379
	30.7055506	5.94767814	565.526683	3.63786046
	25.2941423	4.3983681	682.115777	3.42788073
	28.3104116	5.19071412	609.955118	3.62659266
	30.2388247	5.66842336	400.153924	3.74005062
	33.69449	6.37521201	627.149081	3.85718966
<b>Media</b>	<b>27.5606083</b>	<b>5.02389109</b>	<b>614.355164</b>	<b>3.54520877</b>

### ANEXO 3

#### Datos meteorológicos

Fecha	CDG pp(mm)	COL pp(mm)	CDGs* pp(mm)	COLs* pp(mm)	Factor R	CDG T(°C)	COL T(°C)	CDGs* T(°C)	COLs* T(°C)
Ene-05	13.9	15	22.5	18.1	0.36627488	15.2	25.6	16.5	22.6
Feb-05	7.4	16.4	4.5	4.7	0.10381043	16.7	26.1	17.7	23
Mar-05	1	12	1	4.5	0.00189573	17.1	24.9	19	23.7
Abr-05	0		0.8	2.1	0	20.8		20.6	25
May-05	0	0	13.4	6.5	0	21.2	28.3	22.8	26.2
Jun-05	40.9	44.8	114.7	144.6	3.17120379	22.5	27.9	23.2	26.3
Jul-05	113.2		167.9	214.6	24.2923981	21.3		22	25.7
Ago-05	119.6	242.3	170.4	203.8	27.116891	20.4	27.6	21.4	25.6
Sep-05	160.6	180.4	145.5	212.2	48.8954692	20.8	27.9	21.3	25.1
Oct-05	28.9	31.3	37	102.5	1.58333649	20	26.7	21.2	25.2
Nov-05	41.9	1.2	18.4	29.8	3.32817062	17.5	26.6	19.6	24.3
Dic-05	0.1	0.5	7.4	21.2	1.8957E-05	15.5	25.1	17.1	23.2
Ene-06	1.6	0	22.5	18.1	0.00261224	12	26.1	16.5	22.6
Feb-06	0	0	4.5	4.7	0	18	26.4	17.7	23
Mar-06	0	0	1	4.5	0	19.4	26.6	19	23.7
Abr-06	1.1	0	0.8	2.1	0.00123469	21.7	27.7	20.6	25
May-06	17.7	0	13.4	6.5	0.31968367	22.4	28.9	22.8	26.2
Jun-06	180.7	85.4	114.7	144.6	33.3188673	21.6	26.9	23.2	26.3
Jul-06	212.3	244.8	167.9	214.6	45.9911122	20.7	26.4	22	25.7
Ago-06	169.9	171.8	170.4	203.8	29.4551122	20.3	26.3	21.4	25.6
Sep-06	219.5	223.4	145.5	212.2	49.1635204	20	25.3	21.3	25.1
Oct-06	146.7	152	37	102.5	21.9600918	19.8	25.7	21.2	25.2
Nov-06	3.7	5.3	18.4	29.8	0.01396939	17.3	24.4	19.6	24.3
Dic-06	26.8	0	7.4	21.2	0.73289796	14.2	22.7	17.1	23.2
Anual 2005	527.5	543.9			108.859469	19.0833333	26.67		
Anual 2006	980	882.7			180.959102	18.95	26.1166667		
pp s anual			703.5	964.6					
tem s anual								20.2	24.6

\* Precipitación y temperatura en Colima (COL) y Ciudad Guzmán (CDG) estándar (s), reportada por García, 1973.

**ANEXO 4****Tabla de Índice de explosividad VEI.**

<b>VEI</b>	<b>Volumen expulsado</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Columna</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Ejemplo</b>
<b>0</b>	<10,000m <sup>3</sup>	Hawaiiana	No explosiva	< 100 m	Diaria	Mauna Loa
<b>1</b>	>10,000m <sup>3</sup>	Hawaiiana/ Estromboliana	Apacible	100-1000 m	Diaria	Estromboli
<b>2</b>	>1,000,000m <sup>3</sup>	Estromboliana/ Vulcaniana	Explosiva	1-5 km	Semanal	Galeras
<b>3</b>	>10,000,000m <sup>3</sup>	Vulcaniana/ Peleana	Severa	3-15 km	Anual	Koryaksky
<b>4</b>	>0.1 km <sup>3</sup>	Peleana/ Pliniana	Cataclísmica	10-25 km	≥ 10 años	Monte Pelée
<b>5</b>	> 1 km <sup>3</sup>	Pliniana	Paroxismal	>25 km	≥ 50 años	Monte Santa Helena
<b>6</b>	>10 km <sup>3</sup>	Pliniana/Ultra- Pliniana	Colosal	>25 km	≥ 100 años	Monte Pinatubo
<b>7</b>	>100 km <sup>3</sup>	Pliniana/Ultra- Pliniana	Super-colosal	>25 km	≥ 1000 años	Tambora
<b>8</b>	>1,000 km <sup>3</sup>	Ultra-Pliniana	Mega-colosal	>25 km	≥ 10,000 años	Toba