

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE**  
**DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA**



**EVALUACION DE LOS DAÑOS A CAUSA DE LA ACTIVIDAD DEL**  
**VOLCAN ILAMATEPEC SOBRE LA VEGETACION ARBÓREA**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PRESENTADO POR:**  
**ROBERTO CARLOS MARTÍNEZ BATRES**

**PARA OPTAR AL GRADO DE:**  
**LICENCIADO EN BIOLOGÍA**

**FEBRERO DE 2007.**

**SANTA ANA**

**EL SALVADOR**

**CENTROAMERICA**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE**  
**DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA**



**EVALUACION DE LOS DAÑOS A CAUSA DE LA ACTIVIDAD DEL**  
**VOLCAN ILAMATEPEC SOBRE LA VEGETACION ARBÓREA**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PRESENTADO POR:**  
**ROBERTO CARLOS MARTÍNEZ BATRES**

**PARA OPTAR AL GRADO DE:**  
**LICENCIADO EN BIOLOGÍA**

**DOCENTES DIRECTORES:**  
**LIC. RODOLFO ANTONIO OLMOS.**  
**LIC. RENE ALBERTO MAZARIEGO.**

**FEBRERO DE 2007.**

**SANTA ANA**

**EL SALVADOR**

**CENTROAMERICA**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA**



**EVALUACION DE LOS DAÑOS A CAUSA DE LA ACTIVIDAD DEL  
VOLCAN ILAMATEPEC SOBRE LA VEGETACION ARBÓREA**

**TRABAJO DE GRADUACION PRESENTADO POR:  
ROBERTO CARLOS MARTINEZ BATRES**

**PARA OPTAR AL GRADO DE:  
LICENCIADO EN BIOLOGIA**

**DOCENTES DIRECTORES:**

**LIC. RODOLFO ANTONIO OLMOS**

**FIRMA: \_\_\_\_\_**

**LIC. RENE ALBERTO MAZARIEGO**

**FIRMA: \_\_\_\_\_**

**FEBRERO DE 2007.**

**SANTA ANA**

**EL SALVADOR**

**CENTROAMERICA**

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTORA**

**Dra. María Isabel Rodríguez**

**SECRETARIA GENERAL**

**Licda. Alicia Margarita Rivas.**

**FISCAL**

**Lic. Pedro Rosalío Escobar**

**AUTORIDADES DE LA FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE**

**OCCIDENTE**

**DECANO**

**Lic. Jorge Mauricio Rivera**

**SECRETARIO**

**Lic. Víctor Hugo Merino**

**JEFE DEL DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA**

**MsC. Ricardo Figueroa Cerna**

**FEBRERO DE 2007.**

**SANTA ANA**

**EL SALVADOR**

**CENTROAMERICA**

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A DIOS TODOPODEROSO.**

Por haberme dado la oportunidad de culminar mi carrera profesional y por haberme iluminado y guiado con sabiduría durante toda la trayectoria universitaria.

### **A MIS PADRES, MARIA INES BATRES Y EUGENIO PLEITEZ. (Q.D.D.G)**

Por haberme dado la oportunidad de vivir, especialmente a mi madre por sus oraciones, consejos y sabiduría.

### **A MIS ABUELOS, DORA ALICIA Y FELIPE SANDOVAL.**

Por brindarme todo su cariño y comprensión, especialmente a mi abuela Dora Alicia por ser además mi amiga, al brindarme todo el amor, afecto y comprensión y más que todo por creer en mí, cuando muchos no lo hicieron.

### **A MI HERMANO Y HERMANAS, ALEXANDER EUGENIO, SANDRA MARISOL Y RINA.**

Por el apoyo, cariño y comprensión que siempre me brindaron.

### **A TODOS MIS TIOS, TIAS, EN FIN A TODA MI FAMILIA.**

Por todo el apoyo brindado en los momentos mas difíciles de mi carrera.

## VI

### **A MI AMADA NOVIA, EDELMA DIGNORA CALDERON.**

Por su comprensión e infinitas gracias por todo su amor y apoyo incondicional, ya que aún en los momentos más difíciles estuvo a mi lado brindándome fortaleza para salir adelante, lo cual me inspiró.

### **A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS DE ESTUDIO.**

Por todo su apoyo durante mi carrera, Néstor Giovanni, Emerson, Enrique y Jorge por su apoyo en campo y a todos mis compañeros y amigos, un agradecimiento especial a Carmen por extenderme su mano cuando más la necesité.

### **AL CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA (CATIE).**

Por ser la institución que me brindó todo su apoyo y colaboración en el desarrollo del estudio.

### **AL GRUPO DE VIGILANCIA VOLCANICA DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR (GIV-UES).**

Por haber estado conmigo brindándome su apoyo durante la investigación y en momentos de crisis.

### **A LAS PERSONAS DE LA COMUNIDAD BUENOS AIRES.**

Especialmente a Don Rigoberto Méndez y su señora Por todo su apoyo y por permitirme hospedarme en su vivienda.

### **A DON ANDRES HERNANDEZ.**

Por su apoyo incondicional y por compartir sus conocimientos en cuanto a la vegetación del volcán de Santa Ana.

## VII

<b>INDICE GENERAL</b>	<b>No.Pág.</b>
INTRODUCCIÓN-----	14
I REVISIÓN DE LITERATURA -----	16
II METODOLOGÍA-----	22
2.1 Descripción del área de estudio-----	22
2.1.2 Condiciones climáticas-----	23
2.1.3 Factores edáficos-----	23
2.1.4 Vegetación-----	24
2.2 Fase de campo-----	24
2.2.1 Determinación de la concentración de SO <sub>2</sub> atmosférico-----	24
2.2.2 Determinación de lluvia acida-----	25
2.2.3 Composición florística-----	25
2.2.4 Evaluación de daños-----	28
III RESULTADOS -----	31
IV DISCUSION-----	44
4.1 Efectos de los contaminantes atmosféricos	
Sobre la vegetación-----	46
4.1.2 Gases-----	46
4.1.3 Lluvia ácida -----	49

## VIII

4.1.4 Análisis de la composición florística-----	54
4.2 Erupción del volcán de santa ana -----	58
4.3 Evaluación de daños -----	59
4.3.1 Ceniza-----	59
4.3.2 Daños en cafetales -----	63
CONCLUSIONES-----	65
RECOMENDACIONES -----	67
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS-----	68
ANEXOS	



## INDICE DE CUADROS

<b>FIG.</b>	<b>No. PAG.</b>
1- Resultados del análisis de las muestras de agua lluvia, colectadas en los alrededores del volcán Ilamatepec-----	32
2- Vegetación arbórea encontrada durante la evaluación de daños por la actividad del volcán de Santa Ana-----	33
3- Especies de árboles encontradas en los diferentes núcleos de muestreo establecidos en el volcán de Santa Ana-----	35
4- Ubicación geográfica de las unidades de muestreo y Escala de daños en la vegetación.-----	36
5- Determinación de fluoruro y pH en muestras vegetales.-----	38
6- Estado de la regeneración natural de la vegetación arbórea del volcán de Santa Ana.-----	39

**INDICE DE FIGURAS**

<b>No. FIGURA</b>	<b>No. PAG</b>
1- Sistema miniDOAS para la cuantificación de dióxido de azufre-----	25
2- Modelo de las parcelas de muestreo de vegetación establecidas en el volcán de Santa Ana-----	27
3- Medición del flujo de SO <sub>2</sub> producto de la degasificación del volcán de Santa Ana de enero de 2001 a diciembre de 2005.-----	31

**RESUMEN**

En un período de 9 meses se realizó la evaluación de los daños causados por la actividad del volcán de Santa Ana sobre la vegetación, se realizaron visitas de reconocimiento al lugar, con la finalidad de identificar las características generales del lugar y la situación geológica y ecológica en las que se encuentra el volcán de Santa Ana y de esta manera conocer el estado actual de la vegetación existente en este lugar. Se estableció un total de 43 parcelas de 10x10 m. (100m<sup>2</sup>), distribuidas en todo el volcán, la extensión total de muestreo es de 4,300 m<sup>2</sup>.

El estudio de la vegetación se realizó por el método estratificado, los muestreos se realizaron durante los meses de diciembre de 2005 a febrero de 2006. a pesar que el estudio de monitoreo de gases inició mucho antes, ya que se realizaron recorridos para observar el estado de la vegetación, tres meses antes de que sucediera la erupción, además se realizaron recorridos alrededor del volcán de Santa Ana, muestreando gases con el sistema de medición conocido como miniDOAS.

Esta investigación es de tipo descriptiva cualitativa-cuantitativa (mixta) se aplicó el método del cuadrado, dividiéndose el volcán de Santa Ana en cinco sectores: El Paraíso, Los Andes, San Blas, Santa Elena y San José Miramar. En cada parcela de muestreo se inventarió las especies arbóreas y la vegetación de regeneración natural, también fueron anotados en boletas de campo, las especies arbustivas y las herbáceas, así como la información general de los ecosistemas montañosos de este volcán.

El presente estudio estima y resume las posibles consecuencias de erupciones, con base en el impacto de los contaminantes principales sobre la salud de la población y de los ecosistemas de los volcanes.

## XII

La finalidad de esta investigación fue la de obtener información biológica y ecológica sobre la vegetación de esta área natural, lo que permitirá establecer interrelaciones entre especies y los distintos eventos naturales que ocurren en esta área. Observándose las bajas que sufrió la vegetación debido a las emanaciones de gases a las que constantemente esta expuesta, así como a la caída de cenizas producto de la erupción el 1° de octubre de 2005.

Otro fenómeno que acaba con la vegetación es la lluvia acida, que se forma cuando los gases expulsados por el cráter se mezclan con el vapor de agua o con la lluvia en particular y son depositados en el bosque, produciendo la acidificación del suelo, que trae como consecuencia, la pérdida de sales y otros minerales que son indispensables para el buen desarrollo del bosque.

Al comparar la información obtenida con otros estudios ,en cuanto al número de especies, Chacón & Martínez (2005) en el estudio realizado acerca de la composición florística del Complejo Los Volcanes, reportan para el volcán de Santa Ana 34 familias y 41 especies de árboles, 10 familias y 17 especies de arbustos, 36 familias y 65 especies de hierbas, mientras que en el presente trabajo de investigación se encontró un total de 48 géneros pertenecientes a 32 especies de árboles y 31 familias determinadas, donde las familias con mayor número de especies son: Leguminosaceae y Compositae con 6 y 4 respectivamente, seguidas por Lauraceae, Meliaceae, y Aquifoliaceae con 3. Las familias Euphorbiaceae, Fagaceae y Verbenaceae con 2 especies cada una, encontrándose también 3 individuos sin identificar.

Además se contabilizo las especies de regeneración natural, las cuales fueron categorizadas en latizales y brinzales, se encontró que las especies con mayor probabilidad de estabilizarse en el bosque son: *Roupala montana*, *Viburnum hartwegii*, *Ilex toluicana*, *Oreopanax xalapensis*, *Bocconia arborea*, *Styrax argenteus*, *Eugenia* sp, *Senna pallida*, *Cupressus lusitanica*, *Rhamnus sphaerosperma*, *Verbesina guatemalensis*, *Citharexylum donnell-smithii* y *Saurauia kegeliana*.

### XIII

También se obtuvo un total de 10 familias y 17 especies de arbustos, 29 familias y 40 especies de hierbas y bejucos, de las cuales 5 no fueron identificadas. El sector El Paraíso es el que presenta la mayor probabilidad de regeneración, más que todo en las zonas baja y media, lo cual puede ser favorecido por las condiciones climáticas de estas zonas, la altura y la distancia al cráter.

Es importante mencionar que la principal amenaza para la vegetación son las emanaciones de gases que año con año deterioran los diferentes ecosistemas que se desarrollan en el volcán Ilamatepec, a tal grado que es muy evidente observar que el follaje de la vegetación presenta síntomas de necrosis y clorosis en diferentes sectores del volcán, mucha de la vegetación al perder el follaje muere, ya que este tipo de bosque se caracteriza por ser perennifolio, al final solo se encuentra vegetación muerta, lo que es comparado con los efectos de un incendio, con la diferencia que este arrasa instantáneamente con la vegetación y la emisión de gases lo hace lentamente, afectando los mecanismos fotosintéticos de la planta.

## INTRODUCCION

En El Salvador, año con año se incrementa el deterioro o eliminación de la escasa cobertura vegetal que se tiene. En la actualidad se pretende evitar esta situación declarando los últimos fragmentos de bosque como áreas naturales protegidas, las cuales están relacionadas con la protección, conservación, y supervivencia de la fauna silvestre de nuestro país, que son muy importantes debido a los bienes y servicios ambientales que proveen, tales como: recreación, deporte, estudios científicos, educación, recurso energético, recurso hídrico, etc.

El área natural protegida Parque Nacional Los Volcanes (categoría propuesta por el plan de manejo, 2003) cuenta con diferentes tipos de hábitat y formaciones vegetales (lava volcánica, cafetales abandonados, vegetación de páramo, bosque nebuloso, plantaciones forestales) las cuales destacan la importancia del área como una de las más diversas en cuanto a tipos de ecosistemas que posee. La vegetación del estrato bosque nebuloso presenta ciertas diferencias en algunos sitios del complejo, como es el caso de la porción norte de los sectores El Paraíso, Los Andes y Ojo de Agua El Venado (volcán Ilamatepec), presentando un ambiente muy húmedo y suelos permeables, lo que da lugar a una exuberante vegetación arbórea con abundante epifitismo.

La actividad que ha mantenido el volcán de Santa Ana por muchos años, poco a poco ha venido deteriorando los ecosistemas montañosos de la zona, a tal grado que se ha observado una disminución considerable en cuanto a la riqueza de especies, ya que en la zona alta de los sectores El Paraíso, San José Miramar, San Blas y parte del sector Los Andes, la vegetación arbórea a perdido un alto porcentaje de su follaje, al igual que la vegetación arbustiva por el efecto permanente de las emanaciones de gases, y por los daños percibidos recientemente a causa la erupción ocurrida el 1 de octubre de 2005.

Por lo anterior, se planteó la necesidad de llevar a cabo una evaluación cualitativa y cuantitativa de los daños causados por la erupción del volcán sobre la vegetación, con el propósito de generar información que pueda servir como referencia

para la elaboración de planes de manejo para la recuperación y conservación de los recursos bióticos afectados.

Es importante recalcar que en nuestro país no se cuenta con estudios de casos de erupciones volcánicas, en donde se haya priorizado en el estudio del impacto en la naturaleza, ya que la escasa información con la que se cuenta esta mas que todo orientada a proyectos de protección civil, pero no enfocada a estudios que tiendan al mejoramiento de la base de datos con respecto a los recursos biológicos con los que actualmente se cuenta, por lo que la tendencia tendría que ir encaminada a iniciativas que permitan adquirir una mayor responsabilidad con nuestros recursos naturales, para poder de esta manera mantener un equilibrio y hacer un manejo adecuado de éstos y sostenible en el tiempo asegurando la existencia de muchas especies de flora y fauna, así como mejores condiciones ambientales para las futuras generaciones.

## I. REVISIÓN DE LITERATURA

Hace aproximadamente 50 mil años, el volcán de Santa Ana ó Ilamatepec, que en náhuatl significa "cerro padre", creció tanto que no soportó su propio peso y se derrumbó. La avalancha de tierra y rocas llegó hasta el mar, siendo la península de Acajutla, formada con los escombros volcánicos, la palpable evidencia de este cataclismo (Pullinger, 1998).

Posterior a este derrumbe, el cual cubrió unos 300 km<sup>2</sup> y se desplazó aproximadamente unos 7 Km mar adentro, el volcán siguió en constante erupción y el material volvió a acumularse hasta darle forma otra vez al domo volcánico y llenar el vacío dejado por el derrumbe. Un cataclismo como este es parte de los ciclos de vida de los volcanes; sin embargo, las posibilidades de que sucedan de nuevo son remotas en virtud de su comportamiento en los últimos 500 años (Pullinger, 1998).

Un fenómeno similar experimentó durante ese periodo el volcán de Coatepeque, el cual colapsó, pero a diferencia del Ilamatepec lo hizo sobre sí mismo. Como resultado, en la cavidad dejada por el hundimiento se formó el lago. Este tipo de cataclismos suceden en las estructuras volcánicas por lo menos una vez en 100 mil años (Pullinger, 1998).

El complejo volcánico del que forma parte el volcán Ilamatepec es uno de los más activos del país y forma parte de la cadena volcánica reciente junto a los volcanes de Coatepeque, San Marcelino, La Olla, Cerro Verde e Izalco, el cual tiene un largo historial eruptivo que data de millones de años. Sin embargo, las erupciones de las que se tiene registro comienzan a partir de 1520, según crónicas de la época de la conquista.

Entre 1520 y 1570, el cono del Ilamatepec tuvo una fuerte actividad eruptiva, pero no se han estudiado las rocas de esas erupciones. En 1904, Santa Ana e Izalco entraron en erupción; los depósitos de lava de Santa Ana quedaron en la circunferencia del cráter



En 1920, el Ilamatepec tuvo otro período crítico, lanzamiento de gases y fuertes temperaturas en la laguna del cráter; sin embargo, esta vez la laguna no se evaporó como ocurrió tres años antes con la del Boquerón, de San Salvador. En 1992, cambió la acidez del agua de la laguna, aparecieron nuevas fumarolas en el paredón poniente. Entre los meses de mayo y septiembre del año 2000, se registró un incremento en la expulsión de gases y alteración significativa en las expulsiones de gas. La crisis actual marca un nuevo punto de partida para la observación de éste. (Pullinger, 1998).

Este volcán ha tenido erupciones menores en cinco ocasiones durante los últimos 500 años, las erupciones históricas son moderadamente explosivas, freáticas y freatomagmáticas, donde el agua superficial o subterránea interactúa con el magma y se produce la emisión de gases, ceniza, escorias y bombas volcánicas. En los últimos 15 años se han registrado con relativa periodicidad, durante los años 92, 2000, 2004 y 2005 emisiones fuertes de gases, burbujeo de la laguna y daños a los cafetales y bosques, principalmente en el flanco sur occidental del volcán.

En las alteraciones datadas de cinco siglos, los mecanismos de observación eran rudimentarios; hasta hace aproximadamente 5 años se ha comenzado a sistematizar toda la información para comprender la actividad de los volcanes en El Salvador, esto a través del monitoreo realizado por vulcanólogos del Servicio Nacional de Estudios Territoriales y de la Universidad de El Salvador.

Harrouch (1966) y Escobar & Gutiérrez (1990), mencionan que el cráter ha presentando actividad fumarólica probablemente desde tiempos de la conquista. Así, en diversos períodos comprendidos entre 1520 y 1937, se ha registrado actividad eruptiva de ceniza, escorias y fumarolas, presentando grietas radiales erosionadas, así como cauces fluviales y grietas enormes dirigidas a la chimenea central.

Steen (1981), menciona que, según la historia, las erupciones volcánicas han causado cambios profundos en la cultura de las colectividades humanas, influyendo profundamente en el curso del desarrollo del hombre. En El Salvador, es posible encontrar una situación semejante ligada a la civilización Maya, cuando la todavía activa

“Caldera de Ilopango”, hizo explosión en el año 260 d.c., descargando más de 10 millas cúbicas de ceniza, la cual puede ser considerada como una de las más fuertes erupciones en miles de años.

Además del área más próxima devastada (por lo menos 25 Km<sup>2</sup> del volcán), una amplia región de más de 1000 Km<sup>2</sup> fue afectada por la ceniza, enterrando los cultivos e impidiendo por muchos años toda actividad agrícola, por lo que muchos pobladores se vieron forzados a emigrar (Steen, 1981).

Con respecto a los gases emitidos por la actividad volcánica, Delmelle et al. (2001), manifiestan que entre estos se encuentran: óxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), ácido clorhídrico (HCl), ácido fluorhídrico (HF), los cuales contribuyen significativamente a la deposición ácida regional. Sin embargo, son pocas las investigaciones acerca del impacto de estas emisiones sobre la vegetación de los ecosistemas.

En ese sentido, Vike et. Al. (1999) mencionan que las concentraciones de fluoruros en las hojas se incrementan durante la fase de crecimiento de los árboles, y que la acumulación de estos varía de acuerdo a las especies y a las condiciones y tiempo de exposición. Así, se encontraron concentraciones de 2 a 3% en la especie caducifolia *Sorbus aucuparia*, mientras que en *Pinus sylvestris* (especie perennifolia) se encontraron concentraciones entre 20 y 40%.

En cuanto a los efectos morfológicos de la acumulación de fluoruros, se ha observado doblamiento en las hojas de *P. Sylvestris*; sin embargo existen rangos de tolerancia al daño foliar, dependiendo de la especie, de la concentración, tiempo de exposición, condiciones climáticas, altitud y el estado fenológico de la planta. Así, los bosques de coníferas y las plantas forrajeras son muy sensibles a la exposición de fluoruros, las cuales pueden ser utilizadas como excelentes biomonitores para detectar la contaminación del aire.

Además, especies como *Betula pubescens*, *Salix caprea* y *Sorbus aucuparia* son muy sensibles a bajas concentraciones de fluoruros (100 y 170 ppm), siendo la primera

la mejor especie para el monitoreo de fuentes de emisión de fluoruro y para el análisis de hojas bajo condiciones de exposición. (Vike et al. 1999)

Delmelle (2002) menciona que la emisión de concentraciones altas de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en el volcán Masaya de Nicaragua provocó daños considerables en las plantas de las comunidades aledañas al volcán, principalmente en las características morfológicas de las hojas, siendo mayores los daños en las áreas más cercanas a la pluma volcánica. Sin embargo, se observó que algunas especies presentan cierta tolerancia a las emanaciones de gases, tales como *Eugenia jambos*, *Brosimum utile* y *Clusia rosea*.

Además de la historia geológica del volcán Ilamatepec, también existe información acerca de la biodiversidad de los ecosistemas aledaños a este, los cuales, como todo ecosistema, son el resultado de cambios sucesivos sucedidos a lo largo del tiempo geológico, durante el cual tanto los vegetales como los animales han evolucionado en aspecto y composición, de tal manera que aun cuando algunos tipos de vegetación datan desde hace millones de años, las variedades actuales son mucho más recientes (Odum, 1965).

Así, Ortiz (1978), en un análisis preliminar de la variación altitudinal de la vegetación arbórea de la ladera norte del volcán de Santa Ana, encontró 13 especies de árboles distribuidas en 12 familias. Entre las especies reportadas, *Zinowiewia integerrima* (“culebro”) resultó ser la especie dominante, encontrándose también otras especies tales como *Alnus arguta* (“pinabete”), *Rondeletia laniflora* (“papelillo”), *Styrax argentum* (“estoraque”), *Oreopanax echinopsis* (“mano de león”), *Ocotea spp* (“trompillo”) y *Clethra lannata* (“roble blanco”).

Lagos (1983) menciona que la vegetación de tierra fría se localiza en las cimas de las montañas, donde se desarrollan los bosques nebulosos que pasan la mayor parte del año cubiertos de neblina. Donde el exceso de la humedad ha dado lugar a una vegetación epífita abundante, es así como las orquídeas, bromelias, helechos y cactus ocupan la mayoría de las ramas de los árboles.

Los árboles característicos del bosque nebuloso son: roble (representado por varias especies del género *Quercus*), zorrillo (*Roupala borealis* y *Roupala montana*) mano de león (*Oreopanax xalapensis*), culebro (*Sinowiewia integerrima*), canelillo, (*Chiococa pachyphulla*), duraznillo (*Rhamnus sphaerosperma*), sangre de chucho (*Boconia frutescens*), etc. (Lagos, 1983)

Castaneda & Orellana (2002), en el estudio cuantitativo de la estructura y composición florística de los sectores Los Andes y El Paraíso del volcán de Santa Ana. Encontraron 42 especies de árboles, 35 de arbustos y 36 de herbáceas. Entre las especies arbóreas encontradas están: *Alnus acuminata* Subs. *Arguta* (“pinabete”), *Ardisia compressa* (“cerezo”), *Boconia frutescens* (“sangre de chucho”), *Lyciantes orígenes* (“huele de noche”), *Citharexylum donnell-smithii* (“rosario”), *Clethra lannata* (“nance macho”), *Cupressus lusitanica* (“ciprés”), *Diphysa americana* (“guachipilín”), *Eugenia* sp (“chimichu”) y *Fuchsia arborescens* (“sietillo”).

Para obtener la información cuantitativa Chacón & Martínez (2005), mencionan que en el estudio de la vegetación arbórea del el área natural protegida Parque Nacional Los Volcanes, utilizaron parcelas de 20x50 mts, distribuidas en 10 subparcelas de muestreo. El cual se hizo por medio del método de muestreo estratificado, considerándose como intensidad de muestreo el 1.5 % del área de cada estrato vegetativo (tipos de vegetación).

Establecieron 71 parcelas de muestreo, donde 57 correspondieron al bosque nebuloso, 11 a plantaciones forestales y 3 a la vegetación sobre roca. Como resultado se reportaron 97 especies de árboles identificadas, 15 especies de arbustos y 65 especies hierbas.

Las especies encontradas son: *Alnus acuminata* (“pinabete”), *Zinowiewia integerrima* (“culebro”), *Oreopanax xalapensis* (“mano de león”), *Saurauia hegeliana* (“aláis”), *Ilex discolor* (“naranjillo”), *Viburnum hartweggi* (“coralillo”), *Perymenium grande* (“tatascamite rojo”), *Verbesina guatemalensis* (“himaliote, palmerito de montaña”), *Cupressus lusitanica* (“ciprés”), *Quercus skinneri* (“roble, belloto”).

Dentro del área natural se encuentran diferentes tipos de hábitat y formaciones vegetales (lava volcánica, cafetales abandonados, vegetación de paramos, bosques nebulosos y plantaciones forestales) las cuales destacan la importancia del área, como una de las más diversas en cuanto a tipos de ecosistemas que posee.

## II. METODOLOGÍA

### 2.1 Descripción del área de estudio

#### 2.1.1 Ubicación Geográfica

El volcán Ilamatepec está ubicado en el occidente del país a 15 km al sureste de la ciudad de Santa Ana en las coordenadas 13 51.2 N y 89 37.5 O, formando parte del macizo Santa Ana-Apaneca, y forma parte del área natural protegida Parque Nacional los Volcanes, siendo el estrato volcán activo más alto del país con una altura de 2381 msnm. Presenta un cráter circular con un diámetro aproximado de 1.5 km en el cual existen evidencias de subsidencia y migración progresiva del conducto hacia el sureste. En el fondo presenta una laguna de agua ácida cuya profundidad oscilaba, antes de la erupción, entre 13 y 27 metros según el período del año. Además en su lado oeste existen fumarolas que emiten gases azufrosos calientes de manera permanente.

Por otra parte, al norte y noroeste se encuentran conos de escorias como el cerro El Retiro y algunos cráteres de explosión como El Plan del Hoyo, los cuales están alineados sobre una fractura radial con dirección nornoroeste sursureste ubicada desde la cima del volcán hasta la ciudad de Chalchuapa, cerca de la cual existe también un conjunto de cráteres de hundimiento alineados sobre esta grieta. Finalmente, al occidente de ésta y al sur del Cantón Las Cruces se encuentra el volcán Malacara que también es adventicio del volcán de Santa Ana.

Con respecto a las zonas aledañas al volcán Ilamatepec, éste está dividido en los siguientes sectores: Los Andes, El Paraíso, San Blas, Las Delicias, Ojo de Agua del Venado, y San José Miramar, Además se encuentran los cantones Buenos Aires del municipio de Chalchuapa; Potrero Grande Arriba, Palo de Campana y Lomas de San Marcelino del municipio de Santa Ana y cantón El Arenal del municipio de Nahuizalco.

### ***2.1.2 Condiciones climáticas***

Según Köeppen (1975) en el Parque Nacional Los Volcanes existen tres tipos de clima: sabana tropical caliente en la franja comprendida entre 500 y 800 msnm; sabana tropical calurosa entre 800 y 1200 msnm y sabana tropical de altura, arriba de 1200 msnm (clima específico del bosque nebuloso y plantaciones forestales del volcán de Santa Ana).

La precipitación media anual es de 2277 mm, siendo la época más seca durante los meses de febrero y marzo, y la más lluviosa en el mes de septiembre, mientras que la humedad relativa oscila entre 70 y 80 %. Finalmente la temperatura media anual es de 16.4 °C, siendo diciembre y enero los meses más fríos (MARN, 2004).

### ***2.1.3 Datos edáficos y topografía***

Los tipos de suelo que se encuentran en El Parque Nacional Los Volcanes pertenecen a los litosoles y andisoles. En el bosque nebuloso el suelo es joven, muy superficial en las partes más altas del volcán de Santa Ana y moderadamente profundos hasta muy profundos a medida que se descende en altitud. Además presenta un color grisáceo muy oscuro con predominancia de texturas franco arenoso y franco limoso con estructura granular fina a granular muy fina (CATIE, 2005).

De acuerdo a la geomorfología, éste suelo se caracteriza por presencia de materiales piroclásticos, principalmente rocas efusivas andesitas y basálticas (S2); efusivas basálticas (S5) y efusivas basálticas con cenizas y tobas de lapilli (MARN, 2004). Por último, la topografía que presenta el volcán de Santa Ana es muy accidentada, presentando pendientes que oscilan entre 5% hasta más de 100% en algunos sitios (Denys, 1975; citado por Castaneda, 2001).

### **2.1.4 Vegetación**

Holdridge (1975) manifiesta que el volcán de Santa Ana (Lamatepec) se encuentra formando parte de la cordillera volcánica reciente y de las zonas de vida bosque húmedo subtropical, bosque muy húmedo subtropical y bosque muy húmedo montano bajo subtropical.

La vegetación natural se encuentra distribuida en sucesiones primarias y secundarias, formando asociaciones vegetales claramente diferenciadas; los ecosistemas más relevantes en el área natural son: el páramo de montaña, el bosque nebuloso y las plantaciones forestales (MARN, 2004)

## **2.2 Fase de campo**

### **2.2.1 Determinación de la concentración de $SO_2$ atmosférico**

Para medir las concentraciones de  $SO_2$  se utilizó el miniDOAS, el cual es un sistema de sensores remotos, compacto, liviano y portátil, que se introdujo exitosamente para la cuantificación del flujo de  $SO_2$  en volcanes desde los inicios del 2000 (Galle et. al., 2002). El sistema mini - DOAS está basado en un espectrómetro tipo S2000 (Ocean Optics), el espectrómetro se encuentra acoplado a un telescopio mediante una fibra óptica de cuarzo con un diámetro de  $800\mu\text{m}$  y un GPS.

Este sistema se energiza utilizando la batería de una computadora, la cual transfiere datos automáticamente desde el espectrómetro a ésta a través del software mobilDOAS desarrollado por la Universidad de Chalmer, Suecia. El producto de la concentración por la distancia ( $\text{ppm m}$ ), medido por el miniDOAS, se multiplica por la longitud del penacho ( $\text{m}$ ). Este resultado proporciona la concentración del  $SO_2$  a lo largo de un perfil ( $\text{ppm m}^2$ ) que es multiplicado por la velocidad del viento ( $\text{m s}^{-1}$ ) a la cual el penacho atraviesa esta área en dos dimensiones para obtener el flujo ( $\text{ppm m}^3 \text{s}^{-1}$ ) o niveles de emisión de  $SO_2$ . Estos valores de concentración-volumen por unidad de tiempo se traducen a toneladas por día ( $\text{td}^{-1}$ ).



Las mediciones se hicieron en un automóvil en marcha, recorriendo trayectorias por debajo de la pluma volcánica. Estas trayectorias se realizaron en carreteras ubicadas entre 5 y 15 Km de distancia del cráter. El total de cada segmento de plano a lo largo de esta trayectoria fue multiplicado por la velocidad promedio de viento durante el período de ejecución de la trayectoria. Los valores de la velocidad de viento se estimaron usando el modelo FNL a 700 y 850 Hpa del Nacional Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

### ***2.2.2 Determinación de lluvia ácida:***

Se colectaron muestras de agua lluvia para medir la acidez, la conductividad eléctrica y determinar la presencia y concentración de fluoruros, cloruros y sulfatos, con el objetivo de investigar la influencia de la pluma de gases en los alrededores de la fuente de origen, así como la amplitud del impacto de la actividad del volcán de Santa Ana en los alrededores del complejo volcánico.

Este muestreo se realizó en los sectores San Blas, Lomas de San Marcelino, Los Naranjos, Los Arenales, Las Cruces y beneficio el Molino en Ahuachapán, para lo cual se utilizaron depósitos plásticos de 250 ml cubiertos con malla de nylon, para evitar la contaminación de las muestras por basura. Las mediciones se realizaron en los laboratorios del Instituto de Ciencias de la Tierra de la Universidad de El Salvador.

### ***2.2.3 Composición Florística***

Esta fase se llevó a cabo durante el período comprendido entre los meses de julio de 2005 y febrero de 2006, realizado cinco viajes de reconocimiento y determinación de las zonas de muestreo. En esta fase se realizaron 35 viajes en la zona de estudio de los cuales cinco fueron de verificación y reconocimiento por los diferentes sectores del volcán de Santa Ana, el resto fueron para desarrollar muestreos (medición de gases, colecta de aguas lluvias y establecimiento de parcelas de muestreo)

Debido a la forma que presenta el volcán y para que el muestreo de la vegetación fuera representativo, se determinaron 5 sectores ubicados entre los rumbos

sureste-suroeste, los cuales son: El Paraíso, Los Andes, San Blas, San José Miramar y Santa Elena. El muestreo se realizó a través de un gradiente altitudinal, para lo cual se establecieron tres zonas en cada sector: zona baja (1750-1949 msnm), zona media (1950-2149 msnm) y zona alta (2150-2350 msnm).

El muestreo de la vegetación se realizó aplicando el método del cuadrado, el cual puede variar de tamaño dependiendo del tipo de vegetación. Para el caso del estrato arbóreo, Cruz (1974; citado por Guerra, 1998), recomienda utilizar cuadrados de 10 x 10 m. (100 m<sup>2</sup>), para cada unidad muestral, criterio que fue aplicado en este estudio. Así, las unidades muestrales en cada sector fueron: 18 en El Paraíso, 15 en Los Andes, 5 en San Blas, 3 en San José Miramar y 2 en Santa Elena, haciendo un total de 43 unidades muestrales.

En vista que las unidades muestrales se orientaron contra la pendiente, CATIE (2005), recomienda que para asegurar que en el plano horizontal las unidades muestrales midan realmente la longitud establecida se debe aplicar un factor de corrección de acuerdo al grado de la pendiente que presenta cada sitio, lo cual se muestra en la siguiente fórmula:

$$L = \frac{10}{\cos \theta}$$

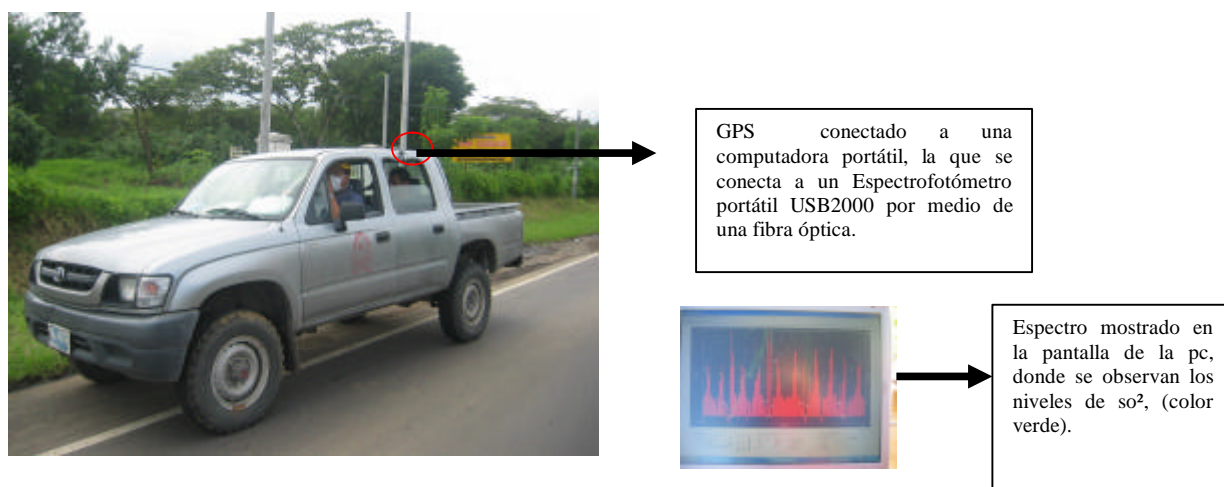
En donde:

L = longitud real de la parcela

$\theta$  = grados de pendiente

Las unidades muestrales se midieron con una cinta métrica y se delimitaron con cuerdas de nylon atadas a estacas de madera sembradas en cada vértice. En cada una de éstas se consideraron como árboles a las plantas erguidas, leñosas y con fuste con un diámetro mayor ó igual a 10 cm a la altura del pecho (DAP). En cada unidad muestral se registraron los datos siguientes: especies arbóreas presentes (nombre común, nombre científico y familia), número de árboles de cada especie, altura aproximada y el

diámetro del fuste a la altura del pecho (DAP) de cada árbol registrado, el cual se midió con una cinta diamétrica. Además se tomaron en cuenta los datos ambientales, físicos y la georeferencia de cada unidad muestral.



**Fig. 1 Sistema miniDOAS para la cuantificación de Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).**

Por otra parte se tomó en cuenta el peso ecológico de las especies arbóreas registradas, expresados en el Índice de Valor de Importancia (IVI), el cual se calculó en base a los valores relativos de abundancia, frecuencia y dominancia. (Curtis & McIntosh, 1950; citado por Montealegre, 2001); mientras que los estratos herbáceos y arbustivos solo fueron considerados como parte de la composición florística con el objeto de caracterizar los sitios de daño.

En el caso de la abundancia relativa, ésta se calculó aplicando la siguiente formula:

$$A_r = \frac{A_x}{A_{total}} \cdot 100$$

donde  $A_r$  es la abundancia relativa;  $A_x$  es el número total de individuos de la especie X y  $A_{total}$  es el número total de individuos de todas las especies. Para calcular la

frecuencia relativa se aplicó la formula siguiente:

$$F_r = \frac{F_x}{F_{xtotal}} \cdot 100$$

donde  $F_r$  es la frecuencia relativa;  $F_x$  es el número de veces que aparece la especie  $X$  en todas las unidades muestrales y  $F_{total}$  es la sumatoria de las frecuencias de todas las especies. Para terminar, la dominancia relativa se calculó según la siguiente formula:

$$D_r = \frac{D_x}{D_{total}} \cdot 100$$

donde  $D_r$  es la dominancia relativa;  $D_x$  es la dominancia absoluta de la especie  $X$  y  $D_{total}$  es la sumatoria de las dominancias absolutas de todas las especies.

A partir del cálculo de las variables anteriores se obtuvo el Índice de Valor de Importancia (IVI) de cada especie, definido como el valor porcentual medio de la sumatoria de la abundancia, dominancia y frecuencia relativas de cada una de las especies registradas. La definición anterior se resume en la siguiente ecuación:

$$IVI = A_r + D_r + F_r$$

Donde IVI es el índice de Valor de Importancia;  $A_r$  es la abundancia relativa,  $D_r$  es la dominancia relativa y  $F_r$  es la frecuencia relativa.

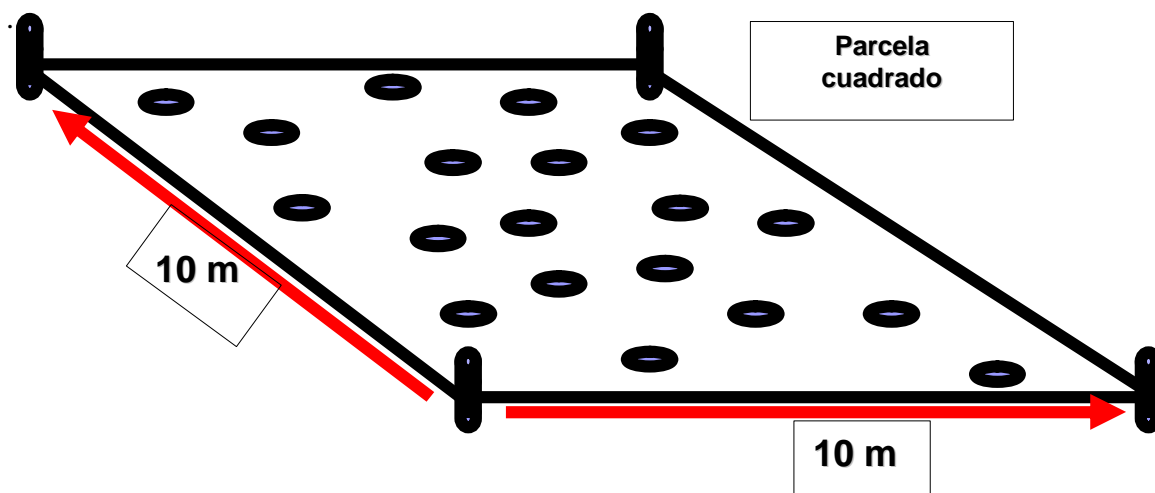
#### ***2.2.4 Evaluación de Daños en la Vegetación***

En cuanto a la evaluación de los daños en la vegetación causados por la erupción, se consideraron los siguientes aspectos: el estado de la cobertura foliar y del dosel; de las ramificaciones; cobertura de ceniza; presencia de hojas quemadas, cloróticas y necróticas.

La evaluación comparativa de los daños en la vegetación se hizo aplicando una escala de índice de vegetación de la siguiente manera: I=daños no visibles en la vegetación; II=daños observables en hojas de árboles y arbustos; III=vegetación

devastada y totalmente eliminada. (Delmelle et al. 2002). Además se llevó un registro de las especies arbóreas de regeneración natural (latizales y brinzales), para determinar la posible recuperación de la flora en los sectores dañados.<sup>1</sup>

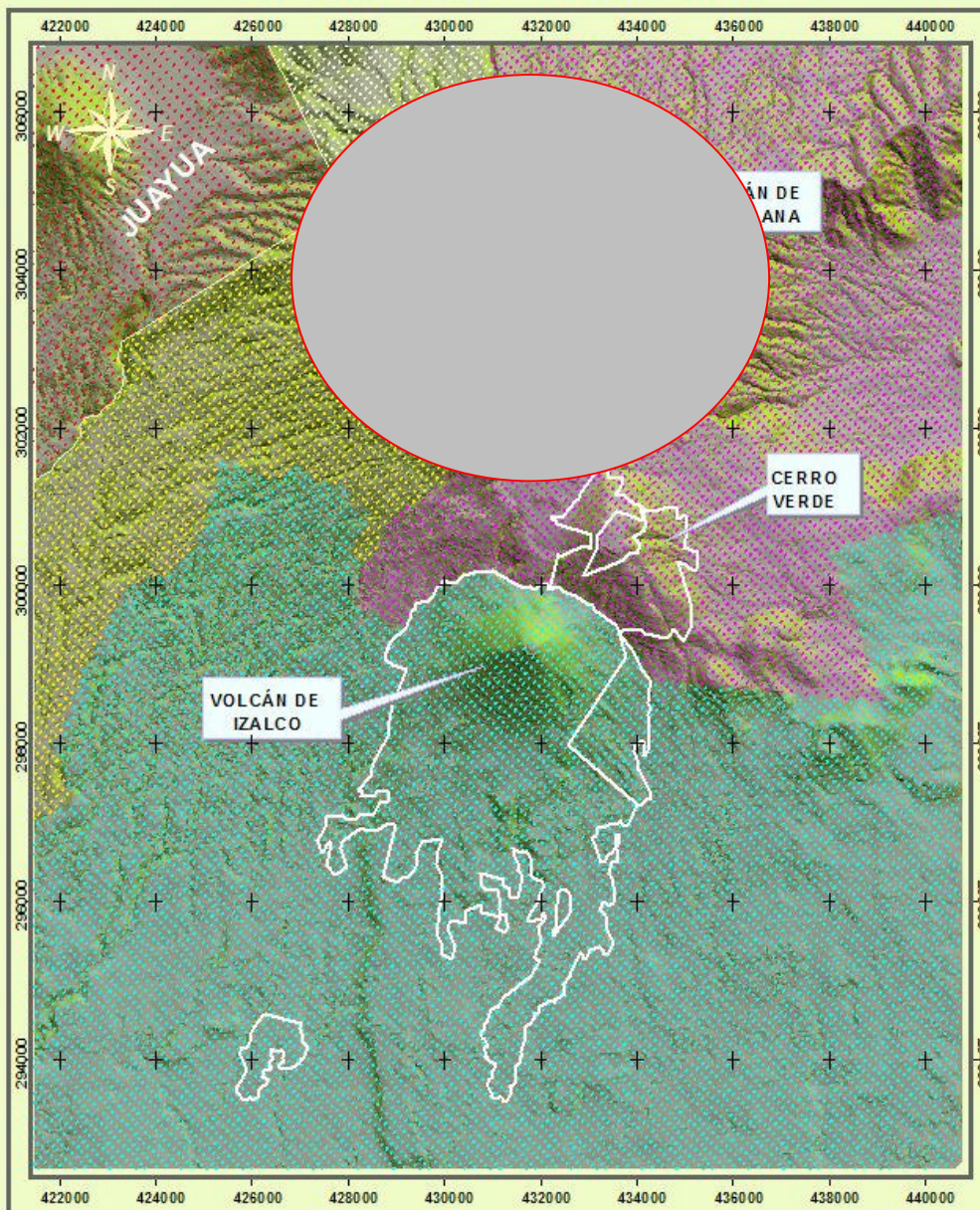
Además en esta etapa se analizaron muestras de las especies arbóreas más abundantes para determinar la presencia de cloruros y fluoruros en los tejidos foliares, para lo cual las muestras fueron lavadas y cortadas en pequeños fragmentos. Después se pesaron 2 gr de cada una en una balanza analítica y luego fueron maceradas con un mortero y un pistilo en una mezcla de alcohol y agua destilada en una proporción de 8:2. El macerado se filtró y los extractos se guardaron en tubos de ensayo para ser trasladados a los laboratorios del Instituto de Ciencias de la Tierra de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática de la Universidad de El Salvador, para los análisis respectivos.



**Fig. 2** Forma y tamaño de las unidades de muestreo utilizadas en el estudio de daños en la vegetación

<sup>1</sup> Latizales: especies arbóreas con diámetros entre 1 cm y 9 cm; Brinzales: especies arbóreas con diámetros entre 0 cm y 1 cm.

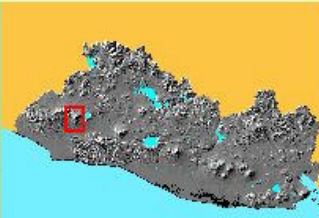
### MAPA No.1: UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO, PARQUE NACIONAL LOS VOLCANES



#### LEYENDA

MUNICIPIOS 1:75000

	CHALCHUAPA	0  2 Km		PARQUE NACIONAL
	IZALCO			LOS VOLCANES
	NAHUIZALCO			
	SANTA ANA			



**FUENTE:**  
COBERTURAS MARN  
SIG CATIE

**ELABORÓ:**  
WALTER W. CHACÓN

### III. RESULTADOS

En la figura No 1 se muestran las concentraciones de SO<sub>2</sub> determinadas en el período comprendido entre julio y diciembre de 2005, en el cual se observa que en los meses de agosto y septiembre se alcanzaron los mayores valores, los cuales oscilan entre 4250 ton/día y 1500 ton/día. En cambio en los meses de octubre y noviembre se presentaron las menores concentraciones con valores entre 1400 ton/día y 100 ton/día.

En el cuadro N° 1 se presentan los resultados del análisis de las muestras de agua lluvia, en donde se puede ver que los mayores valores de pH se obtuvieron en las muestras colectadas en el beneficio Los Reyes del cantón Los Naranjos (7.1); beneficio El Molino en Ahuachapán (7.0); beneficio del cantón Las Cruces (6.9) y tanque colector del cantón Los Arenales (6.4); mientras que los menores valores se encontraron en las muestras colectadas en tanque colector del cantón Lomas de San Marcelino (2.9), finca Santa Teresa en el cantón Los Naranjos (4.0), tanque colector del caserío San Blas (4.3) y tanque colector del cantón Los Arenales (4.7).

El cuadro N° 2 presenta la composición florística de los sectores muestreados, en el que se puede observar que se registró un total de 620 individuos distribuidos en 31 familias y un total de 48 géneros, de los cuales se identificaron 32 especies y 19 no se pudieron determinar; además se registraron especímenes identificados hasta nivel familia y otros de familia desconocida. También se observa que Leguminosaceae y Compositae son las familias con mayor número de especies (5 y 4 respectivamente), seguidas por Lauraceae, Meliaceae y Aquifoliaceae con 3 cada una y las familias Euphorbiaceae, Fagaceae y Verbenaceae con 2 especies cada una.

En el cuadro 3 se muestran las especies de árboles con sus respectivos valores absolutos y relativos de abundancia, frecuencia y dominancia, así como el Índice de Valor de Importancia (IVI) para cada especie, en el que se puede observar que *Zinowiewia integerrima* es la especie más abundante, seguida por *Roupala montana*, *Alnus acuminata* y *Styrax argenteus*, además estas especies son las de mayor frecuencia

y dominancia. Por otro lado las especies *Inga sp*, *Ilex sp*, *Senna pallida*, *Cedrela odorata*, *Prunus lundelliana Standl*, y dos especies indeterminadas son las que presentan menor abundancia frecuencia y dominancia.

En el mismo cuadro 3 se puede ver que las especies con mayor Índice de Valor de Importancia son *Sinowiewia integerrima* (10,67), *Alnus acuminata subsp. Arguta* (8,5499), *Roupala montana* (6,817), *Ilex discolor var. Toluca* (6,650), *Styrax argenteus Presl.* (6,077) y *Oreopanax xalapensis*(5,612) y Así mismo las especies con los menores valores de IVI son *Clethra sp.*(1,582),*Rhamnus sphaerosperma*(1,569),*Perymenium grande*(1,552),*Trema micrantha*(1,491) y *Citharexylum donnell-smithii*(1,445).

En el cuadro 4 se muestran los cinco sectores de muestreo, así como las unidades muestrales de cada uno con su número correlativo respectivo, la altitud de estas y su clasificación en la escala de índice de vegetación. En éste se observa que los sectores que presentan los mayores daños son Santa Elena (V), El Paraíso (IV), zona alta de Los Andes (IV), San José Miramar (III) y San Blas (III), mientras que en la zona baja del sector Los Andes (I), los daños son menores.

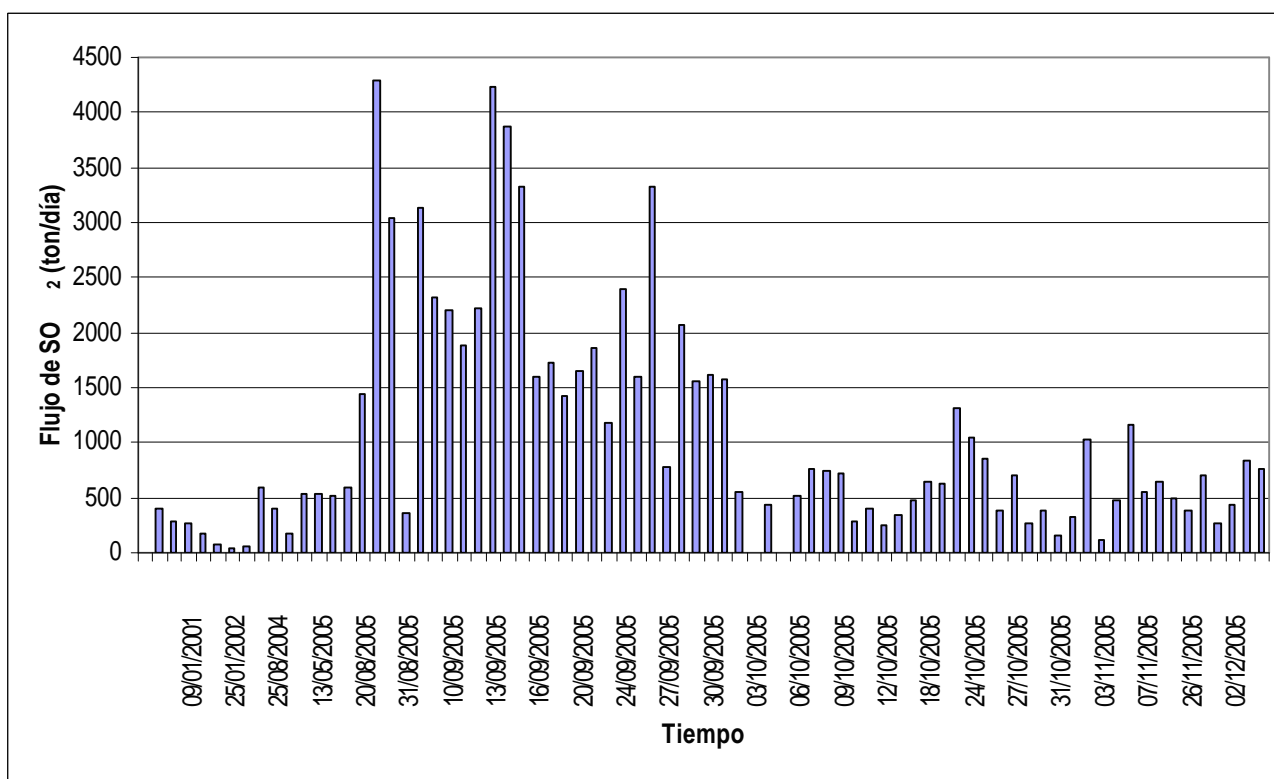
En el cuadro 5 se muestran las concentraciones de fluoruro determinadas en las muestras de las especies mas abundantes, así como los valores de pH, en el cual se puede ver que la especies *Roupala montana*, *Inga sp.*, *Ilex discolor var. Toluca*, y *Senna pallida* son las que presentan las menores concentraciones de fluoruros, mientras que *Cupressus lusitanica*, *Rhamnus sphaerosperma var. Mesoamericana* y *Oreopanax xalapensis* son las especies con las menores concentraciones, además se observa que los niveles en el pH, son relativamente similares para todas las muestras vegetales.

Para terminar, en el cuadro 6 se presentan las especies arbóreas de regeneración natural, tanto latizales como brinsales, encontradas en cada sector. Entre las especies que presentan los dos estados están *Viburnum hartwegii*, *Oreopanax xalapensis*, *Bocconia arborea*, *Sinowiewia integerrima*, *Roupala montana*, *Ilex discolor var. Toluca* que a la vez presentan el mayor número, mientras que *Annona holosericea*, *Ficus sp*, *Ilex sp*,



*Alnus acuminata susp. Arguta*, y *Perymenium grande* son las especies que presentan un solo estado y en menor número.

**Figura No 1.** Concentraciones de SO<sub>2</sub> en el volcán Ilamatepec durante el período comprendido julio a diciembre de 2005.



**Cuadro No 1** Resultados del análisis de las muestras de agua lluvia, colectadas en los alrededores de Ilamatepec.

FECHA	PROCEDENCIA	
		Fluoruros
12/09/2005	Agua lluvia Tanque de Almacenamiento Lomas de San Marcelino	1,4
16/09/2005	Agua lluvia Tanque de Almacenamiento Lomas de San Marcelino	7
12/09/2005	Agua lluvia Tanque Colector en Los Naranjos	0,51
12/09/2005	Agua lluvia Tanque Colector en los Arenales	1
16/09/2005	Agua lluvia Tanque Colector en los Arenales	0,3
22/09/2005	Finca Santa Teresa Los Naranjos carretera a Sonsonate	0,47
22/09/2005	La cabaña en Los Naranjos carretera a Sonsonate	0,2
22/09/2005	Beneficio Las Cruces, Tanque colector de agua lluvia	0,06
22/09/2005	Beneficio El molino, carretera Ahuachapán km 109 ruta de las flores nacimiento de agua	0,19
26/09/2005	Caserío San Blas	0,29
02/10/2005	Beneficio El molino, nacimiento de agua que recibió la caída de agua lluvia	8
03/10/2005	Beneficio Las Cruces, Tanque colector de agua lluvia	0,01
07/10/2005	Los naranjos, agua lluvia; Beneficio Los Reyes	0,53
14/12/2005	Beneficio Los Reyes, pozo de agua a 100 m de profundidad	0,17

**Cuadro No. 2** especies arbóreas y sus respectivas familias

Nº	FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
1	indeterminada	<i>Indeterminada</i>	aceituno de montaña
2	ACTINACEAE	<i>Saurauia kegeliana</i> Schldl	aláis
3	LAURACEAE	<i>Persea</i> Sp.	aguacate mico
		<i>Chiococa pachyphulla</i>	canelillo
		<i>Ocotea</i> sp.	trompillo
4	COMPOSITAE	<i>Montanoa guatemalensis</i> <i>Robinson &amp; Greenman</i>	astago
		<i>Perymenium grande</i> var. <i>grande</i> H	tatacamite rojo
		<i>Verbesina guatemalensis</i>	himaliote
		<i>Pluchea odorata</i> (L.)Cass.	suquinay
5	ULMACEAE	<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	capulín macho
6	MELIACEAE	<i>Cedrela odorata</i>	cedro
7	LEGUMINOSACEAE	<i>Lonchocarpus</i> sp.	Chaperno
		<i>Diphysa americana</i> (Miller) <i>M.Souza</i>	guachipilín
		<i>Senna pallida</i> var. <i>quiedondilla</i> (Micheli) Irwin & Barneby	huesito
		<i>Inga</i> sp.	pepeto
		<i>Inga</i> sp	cuje, cujín, cujinicuil
8	EUPHORBIACEAE	<i>Sapium</i> sp.	chilamate
		<i>Croton reflexifolius</i> Kunth	copalchi
9	CUPRESSACEAE	<i>Cupressus lusitanica</i> Miller	ciprés
10	CAPRIFOLIACEAE	<i>Viburnum hartwegii</i> Benth	coralillo o quina
11	CELASTRACEAE	<i>Zinowiewia integerrima</i> Turckz	culebro
12	RHAMNACEAE	<i>Rhannus sphaerosperma</i> var. <i>mesoamericana</i> L. A. & M. C. <i>Johns</i>	duraznillo, yema de huevo
13	MYRTACEAE	<i>Eugenia</i> sp.	escobo, shimichu
14	STYRACACEAE	<i>Styrax argenteus</i> Presl.	estoraque, oreja de venado
15	SOLANACEAE	<i>Cestrum aurantiacum</i> Lindley	huele de noche
16		<i>Indeterminada</i>	limoncillo
17	ARALIACEAE	<i>Oreopanax xalapensis</i> (Kunth)	mano de león

		<i>Decne. &amp; Planchon</i>	
18	RUTACEAE	<i>Pelostigma pteleoides (Hook) Walp.</i>	matazanillo
19	AQUIFOLIACEAE	<i>Ilex discolor var. toluicana (Hemsley) Edwin</i>	naranjillo 1
		<i>Ilex sp</i>	naranjillo 2
		<i>Ilex sp</i>	naranjillo 3
20	RUBIACEAE	<i>Rondeletia laniflora Benth.</i>	papelillo
21	BETULACEAE	<i>Alnus acuminata subsp. arguta (Schldl.) Furlow</i>	pinabete
22	CLETHRACEAE	<i>Clethra sp.</i>	roble blanco
23	FAGACEAE	<i>Quercus sp.</i>	roble
		<i>Quercus skinneri Benth.</i>	roble, belloto
24	VERBENACEAE	<i>Citharexylum donnell-smithii Greenman</i>	rosario
		<i>Lippia myriocephala Cham &amp; Schldl</i>	tatascamite blanco
25	ROSACEAE	<i>Prunus lundelliana Standl</i>	zapotillo
26	PROTEACEAE	<i>Roupala montana Aublet</i>	zorrito
		<i>Gravileo robusta</i>	gravileo
27	MELIACEAE	<i>Indeterminada</i>	cola de pava
		<i>Trichilia sp</i>	jocotillo
28	ANNONACEAE	<i>Annona holosericea Saff</i>	anono silvestre
29	MYRSINACEAE	<i>Ardisia compressa Kunth</i>	cerezo
30	BORAGINACEAE	<i>Tourefortia petiolaris DC</i>	vara negra
31	FLACOURTIACEAE	<i>Xilosma sp</i>	limoncillo espinoso
32	APOCYNACEAE	<i>Stemmadenia sp</i>	cojón de puerco
33	PAPAVERACEAE	<i>Bocona frutescens L.</i>	sangre de chucho
34	MORACEAE	<i>Ficus sp</i>	amate blanco
35	ONAGRACEAE	<i>Fuchsia arborescens Sims.</i>	sietillo

**Cuadro N° 3** Especies de árboles encontradas en el volcán de Santa Ana con sus respectivas Variables

N°	NOMBRE CIENTÍFICO	AB	AR	Fr	FR	D	DR
1	Zinowiewia integerrima	81	9,95086	34,000	11,111	2615,600	10,959
2	Alnus acuminata subsp. Arguta	62	7,61671	13,000	4,248	3289,500	13,783
3	Roupala montana Aublet	72	8,84521	19,000	6,209	1288,600	5,399
4	Ilex discolor var. toluicana	54	6,63391	12,000	3,922	2242,300	9,395
5	Styrax argenteus Presl.	57	7,00246	20,000	6,536	1120,200	4,694
6	Oreopanax xalapensis	50	6,14251	20,000	6,536	992,300	4,158
7	Viburnum hartwegii Benth	43	5,28256	15,000	4,902	798,000	3,344
8	Rondeletia laniflora Benth.	45	5,52826	13,000	4,248	688,800	2,886
9	Ocotea sp.	17	2,08845	10,000	3,268	744,200	3,118
10	Chiococa pachyphulla	14	1,7199	12,000	3,922	636,700	2,668
11	Quercus sp.	24	2,9484	4,000	1,307	921,600	3,861
12	Lippia myriocephala	21	2,57985	8,000	2,614	681,100	2,854
13	Saurauia kegeliana Schldl	26	3,1941	8,000	2,614	438,400	1,837
14	Quercus skinneri Benth.	17	2,08845	8,000	2,614	676,700	2,835
15	Ilex sp.	19	2,33415	6,000	1,961	759,000	3,180
16	Cupressus lusitanica	18	2,2113	3,000	0,980	827,300	3,466
17	Clethra sp.	10	1,2285	6,000	1,961	371,600	1,557
18	Rhamnus sphaerosperma	11	1,35135	8,000	2,614	177,500	0,744
19	Perymenium grande	15	1,84275	4,000	1,307	359,600	1,507
20	Trema micrantha (L.) Blume	11	1,35135	4,000	1,307	433,300	1,816
21	Citharexylum donnell-smithii	8	0,9828	8,000	2,614	176,700	0,740
22	Eugenia sp.	10	1,2285	6,000	1,961	252,000	1,056
23	Diphysa americana (Miller)	11	1,35135	5,000	1,634	216,000	0,905
24	Montanoa guatemalensis	7	0,85995	4,000	1,307	247,000	1,035
25	Lonchocarpus sp.	8	0,9828	4,000	1,307	170,500	0,714
26	Inga sp.	6	0,7371	3,000	0,980	227,100	0,952
27	Ilex sp.	7	0,85995	3,000	0,980	105,700	0,443
28	Senna pallida	6	0,7371	2,000	0,654	100,500	0,421
29	Cedrela odorata	4	0,4914	1,000	0,327	163,500	0,685
30	Prunus lundelliana Standl	5	0,61425	1,000	0,327	63,500	0,266
31	indetermin.(cola de pava)	1	0,12285	1,000	0,327	31,800	0,133
32	Indeterminada(limoncillo)	1	0,12285	1,000	0,327	22,000	0,092

AB.= abundancia; AR.= abundancia relativa; D.= dominancia; DR.= dominancia relativa; Fr.= frecuencia relativa e IVI=Índice de Valor de Importancia.

**Cuadro No. 4 Ubicación geográfica de las unidades de muestreo y Escala de daños en la vegetación.**

Sector	Unidad muestral	Ubicación	Altitud	Escala de daños
Los Andes	1	Loma El Caño	1851	II
	9	Loma El Caño	1939	II
	10	Limite Plan del Hoyo y el Limbo	1884	IV
	13	La Barrancona	2135	IV
	15	La Caballería	2300	V
	16	La Caballería, El Palo Seco	2179	IV
	17	La Caballería, 500 m arriba del Ojo de Agua	2080	IV
	18	Ojo de Agua del Venado	2017	I
	30	Ciprecera Los Clementes	1907	I
	31	Piedra Pacha	1777	I
	32	La Canchita	1777	I
	33	Tanque del Guatalón	1784	I
	34	El Guatalón, límite al Cipresal	1853	I
	35	Sendero El Anicillo	1842	I
	36	Sendero El Anicillo	1842	II
El Paraíso	2	El Paraíso	2008	II
	3	La Cabaña	2094	IV
	4	Joya de la Cabaña	2079	IV
	5	El pozo, Sendero Las Pupusas	2135	IV
	6	Loma El Caño, salida al sendero	2148	IV
	7	El Trompilla, Las Cuchillas	2084	IV

	8	El Trompallal	2060	IV
	11	Cerro El Limbo	2015	IV
	12	Cerro El Limbo, El Zanja	2034	IV
	14	Cuchilla El Limbo	2067	IV
	19	El Guamital	2030	II
	20	Loma El Zorrillo	2042	IV
	21	Loma El Zorrillo	2075	IV
	22	Costado Norte del Sitio Las Pupusas	2129	IV
	23	Sitio Las Pupusas	2162	IV
	24	Barranca Las Escaleras	2235	IV
	25	Entrada al Páramo, zona las Escaleras	2346	V
	26	El Puente del Páramo	2347	V
San Blas	37	Zona Suroeste del Cráter(260°SO)	2167	III
	38	Próximo a la Torre	1913	III
	39	Sendero al Cráter por la Torre	1973	III
	40	Loma Frente al Sendero al cráter	2022	III
	41	Loma Frente al Caserío San Blas	1897	III
San José Miramar	42	Frente a finca Monterrey	2089	V
	43	San José Miramar	2085	V
Santa Elena	27	Montaña Santa Elena	2298	V
	28	Montaña Santa Elena	2076	V
	29	Montaña Santa Elena	2013	V

I= daños no visibles en la vegetación; II= daños en copas y ramas; III=manchas foliares cloróticas y necróticas; IV=eliminación de dosel y ramas y V=vegetación devastada y totalmente eliminada.

**Cuadro No. 5** Determinación de fluoruro y pH en muestras vegetales.

<b>Muestra</b>	<b>mg/L de Fluoruro</b>	<b>Ph</b>
ciprés	0,163592403	6,91
duraznillo	0,176059373	7,21
naranjillo 1	0,273549084	6,34
huesito	0,212516522	6,80
zorrillo	0,327176281	6,95
mano de león	0,184329211	6,91
pepeto de montaña	0,286398195	6,94







44	gravileo			3								3	
SUBTOTAL		243	348	130	379	150	734	1	20	0	0	821	1490
		TOTAL										2311	

## IV DISCUSIÓN

El volcán de Santa Ana es una fuente de emisión continua de gases hacia la atmósfera y debido a diferentes factores como la topografía y las condiciones meteorológicas, se complica cada vez más la situación de la vegetación y de la fauna de la zona; además al combinarse estos y otros factores resulta un proceso complejo de dispersión de la pluma volcánica, lo cual se detectó a través del monitoreo de gases realizado en conjunto con el Grupo de investigación Vulcanológica de la Universidad de El Salvador (GIV-UES).

Por medio del monitoreo se comprobó la presencia de bióxido de azufre a distancias mayores de 15 km de la fuente de emisión, así como daños directos en la cobertura vegetal en los diferentes sectores del Ilamatepec y sus alrededores. Claramente las concentraciones atmosféricas de  $\text{SO}_2$  dependen de la dirección y velocidad del viento, lo cual influye en el desplazamiento de la pluma de gases. Es importante mencionar que el viento es determinante en cuanto a los niveles de contaminación del aire, tales concentraciones son inversamente proporcionales a la velocidad del viento en el entorno de la fuente de emisión.

Según Eslava (2006), en el volcán Nevado del Ruiz, responsable de la destrucción de la ciudad de Armero en Colombia, la degasificación volcánica puede ubicarse en tres fases o magnitudes: Fumarólica (200-500 ton/día), Activa(1000-12000 ton/día) y Eruptiva(2000-700,000 ton/día)

Al observar el comportamiento de las emisiones de gases en el Ilamatepec, se puede concluir que éstas se desarrollaron en las fases fumarólica y activa de acuerdo al flujo de gases emitido a la atmósfera en forma de vapor de agua, sulfuro de hidrógeno, dióxido de carbono y dióxido de azufre.

El impacto de los gases en el volcán de Santa Ana, varía de acuerdo a ciertos factores como: altura del cráter, altura de pluma sobre el cráter, velocidad del viento y cantidad de material tóxico emitido. Además los factores meteorológicos pueden ser determinantes en los procesos de dispersión y remoción de los contaminantes en el aire, ya que el viento transporta los contaminantes de un punto a otro y en ausencia de éste, hay acumulación de los gases, produciendo episodios de eventos severos de contaminación.

Después de observar el sistema de distribución de la pluma volcánica antes y después de la erupción, se puede establecer una división para analizar las emisiones de gases. Se tienen dos períodos de emisión: a) preeruptivo y b) período posteruptivo. En el primero los niveles de emisión rondaban las 12 mil ton/día, lo cual se manifestó en una mayor dispersión en sectores proximales y distales del punto de origen de los gases. Es importante mencionar que de acuerdo a Delmelle et al. (2001), cerca del 10 % de la masa total de las emisiones de SO<sub>2</sub> de origen volcánico, retorna a los alrededores de la fuente a través del proceso de deposición seca.

En el segundo período las emisiones de gases disminuyeron a 500 ton/día, debido a la liberación de la temperatura y a la presión interna del Ilamatepec, producto de la erupción el 1° de octubre de 2005, en la figura 1. Se presenta la información de las medidas del flujo de SO<sub>2</sub>, realizadas desde enero de 2001 a diciembre de 2005, donde se ilustra la cantidad de SO<sub>2</sub> por tonelada/día, oscilando las concentraciones entre 500 ton/día, 1400 ton/día y 4400 toneladas/día.

Estos números indicaban el incremento de la actividad del Ilamatepec, a tal grado que para el mes de septiembre hubo disminución con respecto al flujo anterior, llegando a más de 3,000 toneladas/día, luego fue bajando considerablemente y el 10 de septiembre llegó a menos de 3,000 ton/día, pero tuvo un aumento significativo a partir del 13 de septiembre, alcanzando la cantidad aproximada de 4,300 toneladas/día, luego el SO<sub>2</sub> fue bajando y del 16 al 20 de septiembre el flujo fue de menos de 2,000 ton/día.

Las variaciones en el flujo fueron casi constantes, manteniéndose así hasta el 24 de septiembre cuando aumento a 2,800 ton/día aproximadamente. La producción de SO<sub>2</sub> fue fluctuante. El 27 de septiembre el flujo de gas fue de aproximadamente 800 ton/día, así para el 30 de septiembre se registró un flujo de 1600 ton/día. Para el día 1° de octubre el flujo de SO<sub>2</sub> alcanzo los 1679 ton/día.

Un día después de la erupción del 1° de octubre el flujo de SO<sub>2</sub>, fue inferior a 500 ton/día y así se para el 6 de octubre se midió 500 ton/día, el día 9 del mismo mes se encontró un promedio de 700 ton/día, durante el resto de octubre la actividad se mantuvo constante, mientras que para el 24 de octubre se alcanzo un flujo de 1800 ton/día. En noviembre los mayores flujos de SO<sub>2</sub> fueron de 1000 ton/día y para los primeros días del mes diciembre el promedio fue de 600 ton/día.

#### **4.1 Efectos de los Contaminantes Atmosféricos sobre las plantas**

##### **4.1.2 Gases**

Al realizar observaciones a través del monitoreo volcánico, se encontró que en las zonas mas cercanas al cráter, mas que todo las áreas expuestas a la dirección de la pluma, fueron eliminados casi en su totalidad tanto el estrato arbóreo como arbustivo, encontrándose especies con síntomas de necrosis y clorosis foliar, también presentaban daños en frutos, las plantaciones de café fueron bastante vulnerables al impacto de los gases, se observó dificultad en cuanto al crecimiento normal de las plantas. Estimándose que un área de 20 km Fue impactada por la degasificación del volcán, posiblemente por la topografía y sistema de movimiento de los gases, ya que lo hacen de forma vertical.

Algunos autores creen que la presencia de fluoruros reduce el impacto en la vegetación por parte de las concentraciones de SO<sub>2</sub> (Murria and Wilson 1988; Smith 1990), pero también hay otros que se oponen a esta hipótesis y opinan que el fluoruro actúa de forma sinergista con el SO<sub>2</sub> e intensifican el impacto sobre la vegetación. (Mandl et al. 1975).

Los efectos de la exposición a las emanaciones de gases de origen volcánico, se pueden manifestar por la alteración de diversos mecanismos vitales de las plantas. Así, las funciones metabólicas y los tejidos vegetales se pueden ver afectados como consecuencia de la acción de gases como el anhídrido sulfuroso y los compuestos de flúor, los daños causados se manifiestan en forma de necrosis foliar en áreas localizadas que presentan un color marrón-rojizo-blanco, de clorosis, adquiriendo el tejido una coloración verde pálida o amarilla, o por la aparición de manchas puntuales necróticas.

Los gases provenientes del cráter son contaminantes muy fuertes y pueden llegar a paralizar el crecimiento de las plantas, entre los distintos gases que se presentan generalmente en el medio ambiente, el  $\text{SO}_2$  es el que tiene mayor importancia debido a la gran toxicidad que tiene para la vegetación, exposiciones altas al  $\text{SO}_2$  durante el período de crecimiento, pueden causar daños principalmente en las coníferas que son más sensibles debido a sus características anatómicas y fisiológicas, estos daños se caracterizan por la aparición de necrosis apicales de color rojo o anaranjado la exposición a menores concentraciones pero por más tiempo ocasiona lesiones crónicas, lo cual se observó en los sectores El Paraíso (Plan del Hoyo), San Blas y parte de San José Miramar colindante con Eco montaña.

Los daños por las emanaciones de gases se manifiestan en la vegetación por un gradual amarillamiento de la hoja que se va extendiendo desde la zona apical a la base de la misma, causada por dificultades en el mecanismo sintetizador de la clorofila, las brumas de ácido sulfúrico (deposición húmeda), causadas por la presencia en el aire de los óxidos de azufre, producen daños en las hojas, caracterizados por la aparición de manchas producidas por las gotas de ácido depositadas sobre las hojas humedecidas por el rocío o la niebla.

Concentraciones relativamente bajas de  $\text{SO}_2$  pueden causar daños importantes en la vegetación sensible, como consecuencia de la acción sinérgica de este contaminante con el ozono y los óxidos de nitrógeno, aunque estos se presenten en bajas concentraciones en el aire. Lo cual se observó en el sector San Blas, Eco montaña

(colindante con el sector El Paraíso), Plan del Hoyo (sector El Paraíso) y en menor intensidad en el sector Los Andes, debido a que estos lugares poseen vegetación de plantaciones forestales (Cipresal).

Luego de realizar recorridos de verificación por los diferentes sectores que comprenden el area natural, en una parte del sector El Paraíso y en el sector San José Miramar la mayor parte de la vegetación resultó ser matorrales y hierbas; una porción de ésta fue afectada por un incendio de altas proporciones que causó grandes daños en la vegetación de éstos sitios, al igual que las emanaciones de gases provenientes del cráter, esto sumado al fenómeno eruptivo ocurrido el 1° de octubre en el volcán de Santa Ana.

La pluma volcánica tendió a permanecer en la dirección sur oeste (sector San José Miramar), a veces se desplazaba hacia el sector San Blas, donde se nublaba totalmente por la presencia de los gases, afectando la salud tanto de los pobladores como de la flora y fauna de la zona. Es necesario mencionar que en los meses de agosto y septiembre se intensifico aun mas la emisión de gases, ya que el promedio expulsado por el cráter normalmente era menos de mil toneladas de bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) al día, pero para el día 10 de septiembre las emanaciones aumentaron a 2 mil toneladas por día, lo que se convirtió en una bomba de tiempo, atentando contra la tranquilidad de los pobladores y los recursos naturales de la zona.

El sector San José Miramar fue uno de los sectores mas afectados debido a que la columna de gases llevo a alcanzar hasta 6 mil metros de altura que al llegar a la altura máxima era llevada por el viento hacia este sector frecuentemente, los síntomas presentados por la vegetación fueron mas que todo Clorosis, necrosis, marchites y defoliación, en la población y posiblemente en la fauna silvestre de la zona, los síntomas se relacionan más con las enfermedades de tipo respiratorio.

El Ilamatepec poco a poco intensifico su actividad a tal grado que para el mes de septiembre ya presentaba incandescencia en el interior del cráter, mas que todo en sus paredes, lo cual trajo como consecuencia temperaturas que oscilaban alrededor de 900° C. debido estas altas temperaturas las emanaciones de gases se intensificaron, ya que la



laguna dentro del cráter comenzó a bajar de nivel, por la evaporación, la actividad sísmica también se hizo notoria, provocando derrumbes constantes al interior del cráter, por lo que se dedujo que la pequeña erupción o expulsión de cenizas producida por el volcán en el mes de julio, obstaculizó la libre salida de los gases, provocando que se fuera acumulando poco a poco la energía proveniente de las capas internas.

La incandescencia continuó aumentando, y por las noches los pobladores del sector San Blas, veían las nubes de un color rojo intenso y anaranjado, el cual describían como “fuego en el cielo”, esto también fue observado a gran distancia (15 Km.) del cráter, por lo que vulcanólogos del Instituto Tecnológico de Energías Renovables de España (ITER) junto Al grupo de vigilancia volcánica de la Universidad de El Salvador (UES), intensificaron el monitoreo, llegando al cráter casi a diario, donde con tecnología de punta, para medir la temperatura tanto de los gases como de la parte incandescente (paredes del cráter), utilizando una cámara de tipo termográfica.

#### ***4.1.3 Lluvia ácida***

En primer lugar debemos saber que la lluvia ácida es aquella que posee cantidades intolerables de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) y ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), disueltos en sus gotas de agua, ambos se forman al reaccionar el trióxido de azufre ( $\text{SO}_3$ ) y el dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) con el agua, de tal manera que la acidez del agua lluvia alcanza significativamente niveles que oscilan entre 3.5 a 5.5 con respecto al pH normal del agua que es aproximadamente de 6.5.

El dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) emitido por los volcanes, al reaccionar con el aire se oxida transformándose a trióxido de azufre, lo cual se da a través de procesos químicos, donde uno de ellos es combinándose con el ozono ( $\text{O}_3$ ), presente en la atmósfera.

La lluvia ácida es un fenómeno que causa un impacto negativo en los ecosistemas de los volcanes y se origina cuando las emisiones de óxidos de azufre, provenientes del cráter reaccionan con el vapor de agua y con ayuda de la luz solar se convierten en ácido sulfúrico y ácido nítrico, la lluvia ácida no solo afecta a la

vegetación sino también causa acidez en los cuerpos de agua afectando las formas de vida en el medio acuático.

Estos síntomas son visibles en la vegetación de los sectores San Blas, San José Miramar, zona alta del sector Los Andes y zona media y alta del sector El Paraíso. La lluvia ácida también provoca la acidificación de suelos con las consiguientes pérdidas por lixiviación de ciertos cationes metálicos de carácter básico tales como el calcio, magnesio, potasio y aluminio, Presentes en el suelo, Afectando la vegetación y las cosechas. Théron (1,965).

El factor principal es que los seres humanos comen alimentos, beben/ absorben agua, y respiran aire que entró en contacto con deposición ácida, al igual que la fauna silvestre y la vegetación, las interacciones entre los organismos vivos son extremadamente complejas, si el número de ejemplares de una especie o de un grupo de especies cambia en respuesta a la acidificación, todo el ecosistema puede resultar afectado por la relación presa-depredador de la red de alimentación, ya que según aumenta la acidez, más y más especies de plantas y animales declinan o desaparecen, la lluvia ácida afecta la vida de las plantas al alterar la capa cerosa protectora de las hojas, lo que baja la resistencia a la enfermedad al inhibir la germinación de la planta y su reproducción y acelerando la descomposición del suelo y la remoción de los nutrientes.

En cualquier caso, además de los daños a los suelos, hay que resaltar los producidos directamente a las plantas, ya sea a las partes subterráneas o a las aéreas, que pueden sufrir abrasión (las hojas se amarillean), los árboles dañados exhiben una serie de síntomas pero es muy difícil establecer una conexión entre cada tipo de daño y las causas correspondientes, el aire contaminado afecta directamente e indirectamente los árboles, los efectos directos consisten en daños sobre las hojas debido a que la capa de grasa protectora es corroída por el depósito seco de dióxido de azufre, la lluvia ácida o el ozono. SEMARNAT (2006).

Además las membranas constituyentes de la estructura interna del árbol son atacadas provocando la pérdida de nutrientes, la sensibilidad de las diferentes especies

frente a los contaminantes atmosféricos de origen volcánico varía de acuerdo con la superficie de las hojas y la caducidad de las mismas, bs daños observados en especies tales como: pinabete y algunos robles se traduce en un color marrón amarillento de sus hojas y pérdidas de las mismas. Los pinos sufrieron también decoloración con estrechamiento de su extremo cónico superior por pérdida de sus hojas.

Las plantas muestran una especial sensibilidad a la mayor parte de los contaminantes del aire, y sufren daños significativos a concentraciones mucho más bajas que las necesarias para causar efectos perjudiciales sobre la salud humana y animal, es muy difícil establecer valores límites de la contaminación atmosférica a partir de los cuales los efectos negativos se empiezan a manifestar, ya que estos dependen de la constitución de la planta y de la especie de que se trate, es decir, hay una especificidad de respuestas.

En el cuadro 1. Se detallan las características de las muestras de agua lluvia colectada en las zonas colindantes al volcán de Santa Ana y en las comunidades cercanas a la fuente de emisión de gases y cenizas, reportándose para la muestra 1, contenidos de Fluoruros de 1.4 mg/L, Cloruros 46 mg/L, Sulfatos 1.89 mg/L. y un pH de 5.69. Para la muestra 2, colectada siempre en el tanque del Cantón Lomas de San Marcelino se encontró un total de 7 mg/L de Fluoruros, 69.56 mg/L. de Cloruros, 268.5 mg/L. de Sulfatos. Y 2.88 de pH. Se colocó depósitos también en el Cantón Los Naranjos donde se obtuvo los datos siguientes: 0.51 mg/L. de Fluoruros, 6.86 mg/L. de Cloruros, 6.41 mg/L. de Sulfatos y 4.73 de pH. Para la muestra 4, colectada en el Tanque del Cantón Los Arenales se encontró las siguientes concentraciones: 1 mg/L. de Fluoruros, 5.88 mg/L. de Cloruros, 7 mg/L. de Sulfatos y un pH de 4.69. Siempre en este lugar se colecto la muestra 5. Donde se encontró 0.3 mg/L. de Fluoruros, 6.86 mg/L. de Cloruros, 14.73 mg/L. de Sulfatos y un pH de 6.42.

La muestra 6. Colectada en la Finca Santa Teresa, Cantón Los Naranjos, contenía 0.47 mg/L. de Fluoruros, 9.99 mg/L. de Cloruros, 7.63 mg/L. de Sulfatos y un pH de 3.99. En el análisis de la muestra 7. Colectada en el sitio La Cabaña del Cantón Los

Naranjos se midió en cuanto a Fluoruros 0.2 mg/L. Cloruros 3.71 mg/L., 4.28 mg/L. de Sulfatos y un pH de 4.88. En la muestra 8, colectada en el Beneficio Las Cruces, tanque colector de agua lluvia, se encontró 0.06 mg/L. de Fluoruros, 2 mg/L. de Cloruros, 1 mg/L. de Sulfatos y un pH de 6.88.

Para la muestra 9 colectada en el Beneficio El Molino, carretera Ahuachapán-Sonsonate en el km 109, nacimiento de agua encontrado en la ruta de Las Flores. Se determinó un total de 0.19 mg/L. de Fluoruros, 5 mg/L. de Cloruros, no se encontró contenido de Sulfatos y un pH de 7.01. Totalmente diferente a las muestras anteriores probablemente debido a la distancia que hay desde el volcán de Santa Ana, para la muestra 10 colectada en el Caserío San Blas se encontró un total de 0.29 mg/L. de Fluoruros, 77.6 mg/L. de Cloruros, 60.92 mg/L. de Sulfatos y un pH de 4.29.

La muestra 11, también colectada en el Beneficio El Molino, en un nacimiento que recibió la caída de agua lluvia el día de la erupción, se encontró 8 mg/L. de Fluoruros, 1250 mg/L. de Cloruros, 1850 mg/L. de Sulfatos y un pH de 5.49. La muestra 12, colectada en el tanque colector del Beneficio Las Cruces, se midió 0.01 mg/L. de Fluoruros, 2 mg/L. de Cloruros, no se encontró Sulfatos y un pH de 7. La muestra 13, colectada en el Beneficio Los Reyes del Cantón Los Naranjos, carretera a Sonsonate. Se encontró 0.53 mg/L. de Fluoruros, 23 mg/L. de Cloruros, no se encontró Sulfatos y se midió un pH de 6.71. Así en la muestra 14, colectada también en el Beneficio Los Reyes, en un pozo de agua a 100 mt. de profundidad se encontró 0.17 mg/L. de Fluoruros, 6.6 mg/L. de Cloruros, 19 mg/L. de Sulfatos y un pH de 7.1.

Al realizar el análisis de la información de cada muestra, se observan valores significativos en cuanto al pH, mas que todo concentraciones bajas, clara evidencia de lluvia ácida en las zonas circundantes al Ilamatpec, lo cual afecta directamente la salud de los ecosistemas presentes en el volcán, tanto vegetación como fauna, que se ve obligada a emigrar en busca de alimentos a las zonas de amortiguamiento, donde son objeto de depredación por parte de los pobladores, en el caso de la vegetación por no ser capaz de desplazarse es dañada directamente por el contacto con partículas

contaminantes, en el caso de la lluvia ácida y de la deposición seca, que al final al llegar los gases a las hojas, debido al contenido hídrico de éstas, reaccionan y forman ácidos fuertes tales como ácido sulfúrico y ácido nítrico.

Otro aspecto importante de mencionar es que no es común encontrar especies químicas como fluoruro y cloruro en la vegetación, debido a que no son parte del contenido químico de las plantas, mas bien están relacionados con la actividad volcánica, fuente natural de emisión, por lo que concentraciones menores de estos químicos pueden alterar el desarrollo normal de las plantas, ya sea crecimiento, disminución en la tasa de fotosíntesis, absorción de nutrientes, lo cual amenaza la cobertura vegetal de la zona y a la fauna que depende de ella, ya sea como alimento o como hábitat.(Ingra. Vilma Caballero; comunicación personal, 2006)

La salud de los pobladores de las zonas de amortiguamiento también se ve amenazada, ya que requieren del consumo de agua de la microcuenca del Ilamatepec, que provee el vital líquido a través de los nacimientos u ojos de agua de la zona, así como también el agua lluvia que recolectan, esta agua es pobre en cuanto a minerales, por lo que en lugar de hidratarlos hace la función inversa, amenazando sus condiciones de salud.

De acuerdo a la información obtenida en las muestras se puede interpretar que el volcán de Santa Ana es una fuente potencial de emisión de gases a la atmósfera, los cuales debido a los sistemas de vientos son llevados a grandes distancias, dispersándose en un radio promedio de 15 km, ya que se han encontrado evidencias en los límites de la zona occidental del País, igual ocurrió con la dispersión de cenizas a lo largo de la cordillera Apaneca- Lamatepec, afectando hasta las zonas costera y fronteriza.

El fluoruro, es un contaminante de origen volcánico caracterizado por ser tóxico para las plantas en pequeñas concentraciones, la sensibilidad de las plantas a la acción de éste varía, como en el caso del  $\text{SO}_2$ , según las especies y las condiciones del medio, siendo especialmente sensibles a este las plantaciones de frutales y de flores, mas que todo las de frutos con hueso (como el melocotón o durazno) y las resinosas (ciprés), que

son las especies más sensibles, ya que al tener hojas perennes y tener el flúor un efecto acumulativo sobre los tejidos, se va almacenando hasta sobrepasar los umbrales de toxicidad, lo que da lugar a la aparición de necrosis que pueden llegar a producir la muerte de bosques. Vike et al. (1999).

#### ***4.1.4 Análisis de la composición florística***

En las diferentes unidades de muestreo se encontraron diferentes especies con datos importantes en términos absolutos y relativos (dominancia, frecuencia, abundancia e IVI (Índice de Valor de Importancia)), tal es el caso de *Sinowiewia integerrima*, *Alnus acuminata*, *Roupala montana*, *Ilex discolor*, *Styrax argenteus*, *Oreopanax xalapensis*, *Viburnum hartwegii* y *Rondeletia laniflora*, las cuales presentaron los mayores IVI. es importante el hecho de que fueron encontradas en la zona alta, lo cual concuerda con Calderón & Stanley (1941), quienes manifiestan que estas especies son abundantes en zonas frías y de una elevación de más de 1800 msnm.

Los resultados del presente estudio coinciden con lo reportado por Ortiz (1978), quien realizó un análisis preliminar de la variación altitudinal de la vegetación del volcán de Santa Ana, quien reporta 13 especies arbóreas distribuidas en 12 familias, de las cuales *Sinowiewia integerrima* resultó ser la especie dominante, reportando además especies tales como *Agnus arguta*, *Rondeletia laniflora*, *Oreopanax spp*, *Ocotea spp*, *Clethra spp*, y otras. Además son especies que se encuentran distribuidas en un 90 % de los sitios de muestreo.

Se obtuvieron datos de especies con altos valores de IVI, lo cual se detalla en el cuadro No. 3, donde aparecen en orden decreciente. Encontrándose a la especie *Sinowiewia integerrima* (10.6737), *Alnus acuminata* (8.5492), *Roupala montana* (6.8178), *Ilex discolor* (6.6501), *Styrax argenteus* (6.077) como las especies con mayores índices de valor de importancia; siendo las de menor IVI: *Ocotea sp* (2.824), *Chiococa pachyphulla* (2.769), *Quercus sp* (2.705), *Lippia myriocephala* (2.682), *Saurauia kegeliana* (2.548), *Quercus skinneri* (2.512), *Ilex sp* (2.491), *Cupressus lusitanica* (2.219).

*Clethra sp* (1.582), *Rhamnus sphaerosperma* (1.569), *Perymenium grande* (1.552), *Trema micrantha* (1.491), *Citharexylum donnell-smithii* (1.445), *Eugenia sp* (1.415), *Diphysa americana* (1.296), *Montanoa guatemalensis* (1.067), *Lonchocarpus sp* (1.001), *Inga sp.* (0.889), *Ilex sp.* (0.761), *Senna pallida* (0.603), *Cedrela odorata* (0.501), *Prunus lundelliana* (0.402), indeterminada "cola de pava"(0.194), indeterminada "limoncillo"(0.180)

Estos datos concuerdan con la información recabada por Chacón & Martínez (2005), quienes encontraron las mismas especies, en ese estudio *Oreopanax xalapensis* es la que obtuvo el mayor IVI (0.362), seguida de *Rondeletia laniflora* (0.324), *Sinowiewia integerrima* (0.299), *Alnus acuminata* (0.265), *Saurauia kegeliana* (0.255), *Viburnum hartwegii* (0.226) y *Chiococa pachyphulla* (0.204), estos valores se deben posiblemente a que ellos, trazaron parcelas de 20x50 mt. Siendo el número de estas en el volcán de Santa Ana de 49.

Al observar el Índice de Valor de Importancia (IVI) en el cuadro 3 se observa que el paso de un dato hacia otro menor no es abrupto, lo que conlleva a asegurar que esta es una comunidad estable, lo cual concuerda con Vásquez(1992), quien manifiesta que en una comunidad clímax, las especies tienen mayor presencia de biomasa (truncos gruesos, enorme dosel, y la distribución de las especies es uniforme), también que las relaciones de los organismos son estables, pero muy diversas porque entre mayor versatilidad manifieste el ecosistema estará más dotado de autorregulación aunque varíen las condiciones ambientales.

Se observó también la abundancia de las especies, donde *Sinowiewia integerrima* presenta la mayor abundancia con 81 individuos, seguida de *Roupala montana* con 72, *Alnus acuminata* presentó 62 individuos, *Styrax argenteus* con 57, *Ilex discolor* con 54, *Oreopanax xalapensis* con 50, *Rondeletia laniflora* con 45 y *Viburnum hartwegii* con 43 individuos respectivamente.

Las especies menos abundantes en las unidades muestrales son: *Saurauia kegeliana* (26), *Lippia myriocephala* (21), *Ilex sp* (19), *Cupressus lusitanica* (18),

*Quercus skinneri* y *Ocotea sp* (17), *Perymenium grande* (15), *Chiococa pachyphulla* (14), *Trema micranta* y *Rhamnus sphaerosperma* (11), *Eugenia sp* y *Clethra sp* (10), *Lonchocarpus sp* y *Citharexylum donnell-smithii* (8), *Montanoa guatemalensis* e *Ilex sp* (7), *Senna pallida* e *Inga sp* (6), *Sapium sp* (5), *Cedrela odorata* (4), *Ficus sp* e indeterminadas 1 y 2 ( cuadro 1).

La abundancia de “naranjillo 1” (*Ilex toluhana*) es evidente en todo el bosque nebuloso del volcán de Santa Ana y la familia Leguminosaceae es la que presenta la mayor diversidad de especies con 6 representantes; las familias Compositae, Meliácea, Lauráceae, Aquifoliaceae, Fagaceae y Verbenaceae poseen también una moderada diversidad, 2 a 4 especies cada una, 3 árboles no fueron identificados y aparecen citados únicamente (ver cuadro 1).

La gran mayoría de los árboles del volcán de Santa Ana mantiene su follaje siempre verde durante todo el año (vegetación perennifolia), lo cual está relacionado principalmente con las condiciones climáticas del área, ya que se presenta como parte de los bosques más húmedos de El Salvador, donde la estación lluviosa es más larga que en otros y el agua contenida en la neblina es atrapada directamente por la vegetación, dando como resultado condiciones óptimas para el epifitismo. Las características especiales del área (formación geológica, topografía, clima, altitud, así como la flora y fauna), hacen de este sitio un lugar único en el País.

Probablemente debido a las características climáticas la vegetación del volcán de Santa Ana ha desarrollado adaptaciones morfológicas convergentes; así, puede observarse que los árboles que alcanzan mayores alturas presentan gran similitud en forma, tamaño y color de corteza y hojas; aún cuando sus individuos pertenecen a diferentes familias. Lo cual se observa principalmente en los árboles de las familias: Fagaceae, Lauraceae, Meliaceae, Aquifoliaceae, Clethraceae, Celastraceae, Rubiaceae, Styracaceae. Datos que concuerdan con Calderón & Stanley (1941) y Witesberger (1982), quienes reportan a estas familias como las que presentan alturas de 15 a 33 m.



Los árboles que presentaron las mayores alturas son: *Alnus acuminata* Subs. *arguta* (35 m), *Cupressus lusitanica*(30 m), *Ilex toluhana* var. *Mesoamericana* (27 m), *Persea americana* (25 m), *Ilex discolor* variedad *tolucana*(21 m), *Chiococa pachyphulla* (20 m), *Sinowiewia integerrima*, *Lippia myriocaphala*, y *Ocotea sp*(19m), *Styrax argenteus presl* (17 m).

Las especies que presentan las menores alturas son *Citharexylum doncel-smithii* Greenman(15), *Viburnum hartwegii* y *Roupala montana*(13m), *Oreopanax xalapensis*, *Rhamnus sphaerosperma*, *Lonchocarpus sp* y *Saurauia hegeliana*(12 m), *Montanoa guatemalensis*(11m), *Prunus lundeliana* Standl. y *Rondeletia laniflora*(9m), entre otras.

El área estudiada presenta una alta diversidad de especies distribuidas en cuatro diferentes comunidades vegetales: vegetación de páramo, vegetación de bosque nebuloso, vegetación de ecotono y vegetación secundaria. En el bosque nebuloso propiamente dicho, ocurre el 89% de las especies reportadas en esta investigación, algunas de las especies son características; otras, en cambio, poseen un rango de distribución más amplio y pueden encontrarse en dos o más comunidades, se evidencia la abundancia de individuos de las familias Leguminosaceae, Compositae, Meliácea, Laurácea, Aquifoliaceae, Fagaceae y Verbenaceae. (Cuadro 2)

El estudio de la vegetación comprendió los sectores: el Paraíso, Los Andes, San José Miramar, Ojo de Agua El Venado, Santa Elena, Las Delicias y San Blas. encontrándose 36 especies de árboles en 43 parcelas de muestreo (Cuadro 2), lo cual presenta considerables diferencias con los datos obtenidos en estudios anteriores ya que Ortiz (1978), reportó 13 especies arbóreas para el sector Los Andes, mientras que Castaneda L. (2001), reportó 38 especies muestreando los sectores El Paraíso, Ojo de Agua El Venado y Los Andes.

Mientras que Chacón & Martínez (2005) en el estudio de la vegetación arbórea del Parque Nacional Los Volcanes establecieron 49 parcelas de muestreo, encontrando 66 especies arbóreas en el bosque nebuloso y 23 especies en el estrato plantaciones

forestales, además reportan que en el Complejo Los volcanes se encuentran presentes significativamente el género *Quercus* conocido comúnmente como “roble o belloto” y otras especies tales como: *Quercus skinneri*, *Quercus sp* (ocho sin identificar) y *Quercus peduncularis*, coincidiendo con el presente estudio donde se encontró con el nombre de roble tres árboles, uno del género *Quercus* (*Quercus skinneri benth*, “belloto”, *Quercus sp*, “roble”), y uno del género *Clethra* (*Clethra sp*, “roble blanco”).

En el Parque Nacional Los Volcanes se tenía como antecedentes siete estudios de la vegetación, de los cuales, cuatro se realizaron en el Cerro Verde y tres en el volcán de Santa Ana (sectores San Blas, Los Andes y El Paraíso).y el estudio de vegetación efectuado por CATIE de septiembre de 2004 a enero de 2005 en el marco del proyecto diseño y Operativización del sistema de monitoreo de indicadores biológicos del Complejo Los Volcanes.

Al realizar la evaluación de los daños en la vegetación del volcán Ilamatepec, se hizo un análisis preliminar del contenido de fluoruros en algunas muestras que se eligieron de acuerdo a la frecuencia con la que aparecieron en el muestreo, notándose que los vegetales al ser sometidos a análogas influencias ambientales se adaptan a ellas siguiendo caminos convergentes, de tal forma que plantas de zonas aisladas, pero sometidas a un mismo tipo de factores ecológicos, adoptan un aspecto semejante, atendiendo a estos caracteres adaptativos.

#### ***4.2 Erupción del Volcán de Santa Ana (1° de octubre de 2005)***

El Ilamatepec presentó una súbita actividad eruptiva, simultáneamente con un fuerte aumento en la cantidad de la energía liberada. Este incremento de la actividad se detectó a partir de las 8:20 a.m. del 1° de octubre de 2005, éste era de 44 unidades, a las 8:30 a.m. se incrementó a 1 mil 309 y finalmente a las 8:40am; alcanzó un máximo de un mil 368 unidades, inmediatamente se obtuvo reporte por parte de la red de observadores locales y entidades de protección civil de fuertes explosiones con caída de ceniza de hasta cinco milímetros de espesor en el cantón y caserío Los Naranjos, al

occidente del volcán. La caída de ceniza se reportó también en Nahuizalco, Juayúa, Apaneca, Ahuachapán, La Hachadura y la zona costera, entre otros. (SNET, 2005)

Bloques balísticos (rocas) de hasta un metro de diámetro cayeron al sur del volcán a unos dos kilómetros del cráter, asociada a esta actividad se tuvo reporte de una columna de gases y ceniza hasta unos 10 Km de altura aproximadamente, según los vulcanólogos de la Universidad de El Salvador, quienes mencionan que antes de la erupción no se había registrado cambios significativos en la actividad a las 9:40 a.m. el RSAM se encontraba a 92 unidades, a partir de esa hora la sismicidad mostró una tendencia a disminuir, el RSAM alcanzó un promedio de 20 unidades cantidad que se encuentra en el nivel de energía dentro de la línea base de actividad normal del volcán.

La erupción se clasifica como de tipo freática, la cual es una salida violenta de gases o explosión de vapor, barro u otro material que esté incandescente, la explosión generó una columna de cenizas volcánicas que inicialmente ascendió a 6 mil msnm. Y siguió subiendo hasta alcanzar 12 mil msnm, la cual fue visible desde varios Km. este fenómeno fue calificado como una erupción moderada en mediana magnitud. (SNET & GIV-UES, 2005)

Durante la inspección de campo se pudo observar cráteres de impacto debido a la caída de bloques a dos kilómetros de distancia al sur del cráter sobre la carretera que conduce al Cerro Verde, se observó el depósito de un flujo de escombros en la Quebrada el Lajar, ubicada al sureste del volcán.

### ***4.3 Evaluación de daños por la erupción***

#### ***4.3.1 Ceniza volcánica***

La ceniza presenta una dureza que Varía entre 2 y 7 en la escala de Mohs, la cual va desde uno a diez y clasifica los diferentes materiales en función de la dureza de ciertos minerales específicos que de menor a mayor dureza son: talco, yeso, calcita, fluorita, apatito, plagioclasa, cuarzo, topacio, corindón y diamante. Por estas

características, la ceniza es utilizada en la industria como abrasivo (Ortiz & Araña, 1996).

Las propiedades físicas y químicas de las cenizas volcánicas dependen de las proporciones relativas en vidrio, minerales y fragmentos líticos de las composiciones químicas de cada uno de ellos y del tamaño de la partícula.

La densidad de la ceniza varía entre 0.5 y 2 g/cm<sup>3</sup>, dependiendo de la compactación que experimente y del contenido de agua. Esto quiere decir que una capa de ceniza de 1 cm. de espesor puede ejercer una fuerza de 20 Kg. por m<sup>2</sup>. En el caso de la erupción de 1981 del volcán Santa Elena, se vio que la densidad de la ceniza compactada aumentó en un 60 % y con un tamaño de grano de 75 micras, la densidad variaba entre 0.7 y 1.89 g/cm<sup>3</sup>, siendo el valor medio de 1.54 g/cm<sup>3</sup> (Ortiz & Araña, 1996)

Las cenizas expulsadas pueden transportar ciertos elementos como cloro y los sulfatos que pueden ser contaminantes al disolverse en las aguas de los ríos y manantiales, por su alta capacidad de disolución, son los más propensos a generar esta contaminación, los depósitos de ceniza pueden permanecer mucho tiempo sin fijar, especialmente en zonas áridas, siendo removidos fácilmente por el viento y propagándose a distancias mayores durante un largo período después de la erupción, el Ilamatepec no fue la excepción, ya que los acuíferos que abastecen durante todo el año a las comunidades de la zona fueron cubiertos por la ceniza, provocando serios problemas de contaminación.

Lo cual se observó en la parte alta de los sectores El Paraíso, Los Andes, San Blas y Santa Elena, donde el viento se encargó de lanzar la ceniza a gran distancia, ya que debido a su velocidad y dirección, así fueron los daños, obstaculizó la visión, y cubrió la superficie de las hojas y troncos de árboles, arbustos y hierbas, los bejucos y otras epifitas debido al sobre peso y al contacto directo con la ceniza, sufrieron quemaduras de consideración y deshidratación por lo que se cayeron de los árboles.

Los efectos de la ceniza en la vegetación varían dependiendo del volumen del material expulsado y la duración o intensidad de la erupción, Sin embargo en climas cálidos la vegetación se recupera en muy poco tiempo, como ejemplo se tiene la erupción del volcán Cerro Negro en Nicaragua, que dejó una capa de ceniza de 20cm en diciembre de 1995, pero que en septiembre de 1996 ya estaban completamente recuperadas. (Cook, 1981).

En el caso del Ilamatepec, la situación fue similar ya que a los 8 meses de haber ocurrido la erupción, parte de la cobertura vegetal ya se encontraba en proceso de regeneración, produciendo nuevo follaje, mas que todo la vegetación arbórea, donde debido a la carencia de ramificaciones, el fuste fue el encargado de repoblarse de hojas, no así los estratos arbustivo y herbáceo, que su proceso de regeneración fue mas lento para algunos sectores, en cambio en aquellos sectores donde se eliminó completamente la cobertura vegetal, los primeros en aparecer fueron las hierbas y arbustos, en forma de matorrales.

Los efectos de la caída de ceniza dependen del tipo de vegetación, del desarrollo de la misma y del espesor de la ceniza, la caída de ésta agujereó las hojas de las plantas, tornándolas de color café y en lugares muy cercanos a la fuente de emisión lo que causó quemaduras considerables en el follaje, mas que todo en los sectores El Paraíso y parte de Los Andes.

Dependiendo del espesor de la ceniza depositada por la erupción de un volcán, así será el nivel de daño, por ejemplo si el espesor de la ceniza es mayor de 2,000mm, toda la vegetación expuesta queda totalmente destruida, si el espesor es de 1,500mm, la mayor parte de la vegetación muere, si es de 1,000mm, ciertos cultivos pueden ser parcialmente recuperables dependiendo de la resistencia y características fisiológicas de la planta, si el espesor es de 150/200 mm. Los cafetales son destruidos, y si es de 100 mm. Los árboles presentan ramas rotas por el peso de la ceniza (Ortiz, 1995).

El volcán de Santa Ana no es la excepción a esta regla, ya que en el caso de los cafetales antes de la erupción presentaban daños considerables por efecto de los gases,

comenzando a perder la hoja, esto fue muy evidente después de la erupción, debido a la caída de ceniza el cafetal perdió en un 100% la hoja, lo que trajo como consecuencias grandes pérdidas al campo cafetalero, es importante recalcar que este cultivo es muy importante porque brinda empleo a la mayoría de la gente que vive en las zonas altas de El Salvador.

La retención de la ceniza en la cobertura vegetal depende de varios factores entre los que se mencionan: Superficie de las hojas, densidad del follaje por unidad de área; esto quiere decir la cantidad de hojas en un determinado espacio, tamaño, forma y orientación individual de las hojas, ciertas características de las hojas como rugosidad, la presencia de fibras, aceites, etc., tamaño de la ceniza y de la cantidad que caiga, velocidad y dirección del viento sobre las copas de los árboles y humedad relativa, especialmente si se encuentra sobre el 90 %, en estas circunstancias la cantidad de ceniza retenida en el follaje es el doble de la que se puede encontrar con menores valores de humedad. Millar & Lee, (1966: 102).

La erupción del volcán de Santa Ana ha sido un problema de grandes dimensiones, ya que debido a la expulsión de ceniza, mucha fauna presente en la zona emigro para ponerse a salvo en áreas menos impactadas como el cerro verde y volcán de Izalco, otros murieron sin tener la oportunidad de desplazarse como es el caso de la vegetación, la enorme cantidad de ceniza que cayó sobre el bosque provocó que las ramas de árboles se quebraran debido al sobrepeso, así mismo que el estrato arbustivo desapareciera y que las hierbas quedaran completamente cubiertas por una capa de ceniza de aproximadamente 30 cm. en algunas zonas y hasta de 50 cm en las zonas más próximas al cráter.

Los arbustos también fueron afectados por las emanaciones de gases, presentando amarillamiento en hojas y en algunos individuos hasta marchites en cuanto al estrato herbáceo se observó poco daño, debido a que se encuentra protegido a nivel de sotobosque, también por la altura a la que se desplaza la pluma de gases.

La especie *Cupressus lusitanica* “ciprés”, no sufrió desfoliación, pero la copa de estos presentaba un color amarillento a pardo amarillo o café, clara evidencia de clorosis esto se observó en San Blas, San José Miramar y El Paraíso, Es importante mencionar que estos sectores fueron blanco de incendios en años anteriores, mas que todo de origen antropico, el sector San José Miramar fue quemado casi en su totalidad, por b cual en este sector no se muestreó con intensidad, predominando especies de gramíneas ciperáceas y bejucos como la campanilla morada (convulvulaceae) y una especie de la familia compositae que no fue identificada.

Antes de la erupción se realizaron recorridos observándose que la vegetación en los sectores San Blas, San José Miramar, El Paraíso, y parte de Los Andes, presentaba síntomas de amarillamiento de las hojas, (Clorosis). Lo que fué provocando la caída del follaje, estos daños se encontraron en la mayor parte de árboles de los sectores antes mencionados, encontrándose árboles desfoliados en un 50%.

En el sector Santa Elena todas las especies arbóreas fueron devastadas completamente, perdiendo prácticamente el 100% de la hoja, eliminación de la copa, y ramas laterales, así como troncos y astas totalmente cubiertos por ceniza y arena, el suelo se encontró cubierto por una capa de 50 cm de ceniza, rocas y arena, lo que produjo la eliminación total de los estratos arbustivo y herbáceo, en la zona se formaron grandes depresiones o barrancos, producto de los lahares debido al fenómeno de la erupción y a las lluvias producidas por el huracán Stan, también se encontró abundante presencia de balísticos hasta de 1 m<sup>2</sup>. de diámetro, rocas cubiertas de un color verde claro (azufre), este sector quedo prácticamente desértico.

#### ***4.3.2 Daños en cafetales***

Según el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG, 2005) las nubes de ceniza y gases expulsados por el volcán Ilamatepec, se regaron como pólvora arrastrados por el viento y la lluvia, impactando directamente alrededor de 58,000 Manzanas de café y una indeterminada cantidad de áreas forestales de Juayúa, Salcoatitan y Apaneca.

En la parte norte del volcán de Santa Ana, los cafés de estricta altura sufrieron daños debido a la ceniza, según el MAG, los daños son incalculables, ya que las fincas cercanas al cráter en los últimos años han obtenido “la taza de excelencia”, los cafetales desde antes de la erupción han sufrido daños a causa de las emanaciones de gases, los síntomas observados en el café fueron más que todo pérdida de pigmentación de las hojas (amarillamiento de las hojas) y la caída de las mismas, los frutos sufrieron quemaduras.

PROCAFE (2005), manifiesta que de acuerdo con estimaciones preliminares, los daños causados por la erupción, se estiman en alrededor de 58,000 manzanas afectadas por la caída de ceniza, antes de la erupción los daños estimados por estudios realizados con respecto a los follajes quemados por el dióxido de azufre eran 140,000 manzanas, considerándose que luego de la erupción las pérdidas pueden ser iguales o mayores al 20 % de la cosecha nacional del café, las pérdidas según el MAG & PROCAFE, oscilan en alrededor de \$44 millones de dólares, después de la erupción se encontró; 140,000 mz, de café con quemaduras en follaje

Las plantaciones más afectadas por el azufre son las de estricta altura (1,400 m) las pérdidas por quemaduras oscilan en alrededor de 600 dólares por manzana (las fincas más afectadas fueron San Blas y Santa Elena), según las estadísticas, 470 qq de café se cosechaban en las faldas del volcán, el 25% de la producción es de estricta altura y el riesgo laboral se calcula en aproximadamente 22,000 empleos que genera el café aromático y según estimaciones la producción para la temporada 2006, tendrá una pérdida del 20 % de la cosecha nacional.



## CONCLUSIONES

1- De las tres zonas de estudio la que presenta el mayor índice de daño es la zona alta (80%), ya que se encuentra más cercana al cráter, por lo que recibió daños directos por ceniza, gases, balísticos y lluvia ácida. seguida de la zona media (70%) y zona baja (60%), ésta última fue menos impactada

2- Con respecto a los daños en la vegetación por sector El Paraíso fue afectado en un 90%, Los Andes 76%, San Blas 50%, San José Miramar 90% y Santa Elena 100%. El Páramo resultó dañado en un 95% de la composición florística, siendo probable que los sectores El Paraíso, Los Andes y San Blas logren estabilizarse como bosque clímax, ya que presentaron el mayor número de especies e individuos de regeneración natural (latizales y brinzales).

3- Los mayores daños son a causa de la caída de ceniza, seguida de las emanaciones de gases y la caída de balísticos, así como la deposición seca y deposición húmeda (lluvia ácida)

4- Se registró un total de 620 individuos distribuidos en 31 familias y un total de 48 géneros, de los cuales se identificaron 32 especies y 19 no se pudieron determinar; además se registraron especímenes identificados hasta nivel familia y otros de familia desconocida.

5- Los daños en cafetales, plantaciones forestales y el bosque natural han sido de gran envergadura, es posible que su proceso de recuperación sea lento, a demás de las pérdidas en cuanto a biodiversidad, se mencionan las pérdidas económicas que representan para las comunidades que viven exclusivamente del cultivo del café.

6- El fenómeno de la lluvia ácida, tiene una amplia distribución en el volcán de Santa Ana y alrededores, encontrándose pH hasta de 2.8 en sitios como el cantón Lomas de San Marcelino, a 4 Km del cráter.

7- Las especies mas sensibles a las emanaciones de gases y cenizas son: “aláis” (*Saurauia kegeliana*), “papelillo” (*Rondeletia lanniflora*), “trompillo” (*Ocotea sp*), “himaliote o palmerito de montaña” (*Verbesina guatemalensis*), “tatascamite rojo” (*Perymenium grande*), “tatascamite blanco” (*Lippia miriocephala*), “roble blanco” (*Clethra sp*), “anono silvestre” (*Annona holosericeae*), “ástago” (*Montanoa guatemalensis*), “aguacate mico” (*Persea sp*), “belloto” (*Quercus skinneri*), “canelillo” (*Chiococca pachyphulla*), “duraznillo” (*Rhamnus sphaerosperma*), “capulín de montaña” (*Trema micranta*), “guamito o pepeto de montaña” (*Inga sp*), “huesito” (*Senna pallida*), “huele de noche” (*Lyciantes orígenes*), “naranjillo 2” (*Ilex sp*), “naranjillo 3” (*Ilex sp*), y otras.

8- Las especies mas resistentes a las emanaciones de gases son: “zorrillo” (*Roupala montana*), “naranjillo” (*Ilex toluicana*), “pinabete” (*Alnus acuminata Subs. arguta*), “mano de león” (*Oreopanax xalapensis*), “estoraque” (*Stirax argenteus*), “coralillo” (*Viburnum hartwegii*), “culebro” (*Zinowiewia integerrima*), “sangre de chucho” (*Bocona arborea*).

9- Los factores meteorológicos pueden ser determinantes en los procesos de dispersión y remoción de los contaminantes en el aire, ya que el viento transporta los contaminantes de un punto a otro, la lluvia y la nubosidad contribuyen al proceso de remosion de partículas y gases hidrosolubles.

11- El presente estudio estima y resume las posibles consecuencias de erupciones, con base en el impacto de los contaminantes principales sobre la salud de la población y de los ecosistemas de los volcanes.

## RECOMENDACIONES

- 1- Realizar estudios florístico-ecológicos en la zona del páramo para conocer las especies más sensibles y resistentes al azufre gaseoso emanado por el cráter del Volcán, debido a la información ecológica que puede proveer, ya que hasta el momento es la formación vegetal menos estudiada del área natural protegida.
- 2- Establecer parcelas de muestreo permanente en las zonas afectadas por incendios, por las emanaciones de azufre y caída de ceniza, para determinar las especies más vulnerables y resistentes a esos cambios.
- 3- Realizar estudios complementarios que permitan generar información sobre los diferentes cambios que sufren estos ecosistemas montañosos y establecer el estado de salud y las perturbaciones de mayor impacto para las comunidades vegetales presentes en el volcán de Santa Ana.
- 4- Continuar con el muestreo de agua lluvia en los alrededores del volcán para evaluar los posibles daños en la vegetación y en la salud de los habitantes de los alrededores de éste.
- 5- Monitorear la actividad de los volcanes para establecer parámetros en el control del estado de la vegetación, realizando análisis de los contenidos químicos y así medir el grado de daño provocado por las emanaciones de gases atmosféricos.
- 6- Realizar estudios ecológicos en el volcán de Santa Ana para estudiar el proceso de regeneración de la vegetación y de esta forma plantear posibles actividades de protección, conservación y restauración en las zonas más dañadas
- 7- Apoyar las actividades de monitoreo volcánico involucrando estudiantes en servicio social y tesis, para generar estudios biológicos, geológicos y químicos en los volcanes.
- 8- Realizar monitoreos permanentes de control de lluvia ácida, en los alrededores del volcán y a lo largo de la cordillera Apaneca-Ilamatepec, para determinar el estado de salud de la cobertura vegetal.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Amaya, E.L, Quintanilla, J.C. 1996. Evaluación Actual de la vegetación en el área de Sabanetas, Municipio de Perquín, Departamento de Morazán, Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, Escuela de Biología. 162p.

Amaya, J.A, Morán, S.M, Polanco, T.A. 2002. Estudio de la composición florística del estrato arbustivo en el cerro “ él águila” municipio de chalchuapa, santa ana, Universidad de El Salvador, Facultad Multidisciplinaria de Occidente, Departamento de Biología.37p.

Bellomo, S. 2002. Estudio del Flúor volcánico en agua lluvia, Mt. Etna e Isla Stromboli, Departamento CFTA, Universidad de Palermo Italia.

CATIE, 2002. Estudio preliminar de la Flora. Volcán de Santa Ana. 62p.

CATIE-FIAES. 2004. Protocolo de investigación para los estudios de fauna y vegetación del Complejo Los Volcanes. San Salvador. SV. 50 p.

Castaneda LF, Orellana MA. 2003. Estudio preliminar de las epifitas complementario de Estudio de vegetación Los Andes y El Paraíso. San Salvador, SV. 30 p.

Castaneda LF, Orellana MA. 2003. Estudio de Vegetación Los Andes y El Paraíso. San Salvador, SV. 48 p.

Cerén, J.G, López. G.N, Rodríguez. D, 2003. Estudio de la Composición Florística del Estrato Herbáceo en el Área Natural del Cerro El Águila, Jurisdicción Chalchuapa, Departamento de Santa Ana, Universidad de El Salvador, Facultad Multidisciplinaria de Occidente, Departamento de Biología. 76p.

Chacón, w.w & Martínez. G.L. 2005. Estudio de Vegetación del Área Natural Protegida Complejo Los Volcanes Proyecto CATIE-FIAES: Diseño y Operativizacion del Sistema de Monitoreo de Indicadores Biológicos del Complejo Los Volcanes. 54P.

Chacón WW. & Martínez GL. 2005. Estudio de vegetación del área natural protegida Parque Nacional Los Volcanes. Proyecto CATIE-FIAES. Diseño y Operativización del Sistema de Monitoreo de Indicadores Biológicos del Complejo Los Volcanes. 107p.

Clavel, C.L, Salazar, M.E, Sermeño, A.A, 2004. Determinación Preliminar de la vegetación en Sucesión Hídrica Laguna de Las Ninfas, Apaneca, Municipio de Ahuachapán, Universidad de El Salvador, Facultad Multidisciplinaria de Occidente, Departamento de Biología. 88p.

Eslava, J.A, Cambios atmosféricos asociados a la erupción del Nevado del Ruiz, academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Colección Jorge Álvarez L., No.4, Bogotá-Colombia, 1994.

Flores, J. S.1980. Tipos de Vegetación y su estado actual. Un estudio ecológico. Editorial Universitaria. San Salvador, El Salvador.273p.

Guerra, O.A. 1998.Composición Florística del Cerro El Águila, Santa Ana, Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, Escuela de Biología 182 p.

Heiken, Murphy, Hackett, Scott, 1995, Volcanic Hazards and Energy Infrastructures. USA, U.S. Department of Energy Code EH-33. Office of risk analysis and Technology. LA-UR 95-1087, 45pp

Hernández Sampieri. 1998. Metodología de la Investigación .McGraw Hill Interamericana Editores, SA de CV. México.

Instituto Geofísico-EPN, NOM-EM-148- SEMARNAT-2006 Formulario MIR de emergencia para el anteproyecto: norma oficial mexicana de emergencia.-contaminación atmosférica.- refinerías de petróleo.-recuperación de azufre.

Krebs JC. 1985. Ecología: Estudio de la distribución y la abundancia. Trad. Jorge Blanco Correa. 2ª Ed. Harla Harper & Row Latinoamericana. México D.F, Mx. 753 p.

Lagos, J. A. 1983. Compendio de Botánica Sistemática. 2° edición. Dirección de Publicaciones, Ministerio de Educación, San Salvador. 318 pp.

MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2004. Plan de Manejo del área natural Los Volcanes. San Salvador, SV. 173 p.

Okuda, T, 2000. Monitoreo de las Emisiones continuas del gas volcánico. Departamento de química aplicada, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad de Keio, Yokohama, Japón.

Ortiz & Araña, 1996, Daños que pueden producir las erupciones, Serie Casa de los Volcanes No.5, España, pp. 37-96.

Ortiz Sánchez JE. 1978. Volcán de Santa Ana: Análisis preliminar de la variación altitudinal de la vegetación arbórea. Tesis Licenciado en Biología. UES. San Salvador, SV. 29 p.

Pullinger, C, (1998): Evolution of the Santa Ana volcanic complex, El Salvador. Submitted in Partial full fillment of the requirements for the degree of Master of Science in Geology. Michigan Technological University.

Revista Costarricense de Salud Pública, Vol.8, No.15, San José-Costarrica, dic, 1999.

Reina, M.L. 1979. Vegetación arbórea del bosque nebuloso de Montecristo. Tesis Lic. en Biol. El Salvador. UES. 175 p.

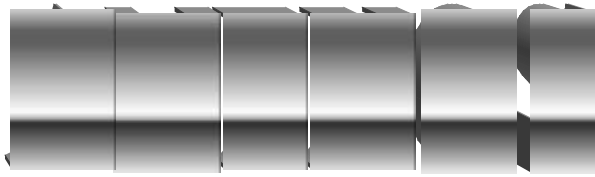
Rosales, VM, Salazar CH. 1976. Análisis Cuantitativo de la vegetación arbórea del Cerro Verde. Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias y Humanidades, Departamento de Biología. 47 p.

Santamaría, J.A. 1990. Características Climáticas y Aproximación a Condiciones Micro climáticas del Bosque Nebuloso del Volcán de Santa Ana. Flora y Fauna. Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias y Humanidades Departamento de Biología. P1-7.

SEMA-SISAP. 1994. Corredor Biológico Mesoamericano, El Salvador, Informe del País. Sistema Salvadoreño de Áreas Protegidas, zona de amortiguamiento y corredores biológicos. 65 p.

Théron, A. 1965. Botánica, Trad. Dr. Rafael Salord Barceló. 1º Edición. Editorial UTEHA (Unión tipográfica Editorial Hispanoamericana), México D.F, Mx. 296 p.

Villee, S. B. 1998. Biología, Trad. Roberto Palacios Martínez. 4º Edición. Editorial McGraw\_Hill Interamericana, México D.F, Mx. 1800p.





**Anexo 2:** análisis comparativo de los diferentes estudios de vegetación realizados en el volcán de S

No	Nombre científico	Nombre común	Castaneda,2001	Salguero y Rosales VM, 1978	Montoya JM y Rosales VM, 1977	Rosales VM 1977
1	<i>Alnus acuminata</i> Subs. <i>arguta</i> (Schldl.) Furlow	pinabete	x	x	x	x
2	<i>Annona holosericea</i> Saff.	anono silvestre				
3	<i>Ardisia compressa</i> Kunth	cerezo	x	x		
4	<i>Bocconia frutescens</i> L.	sangre de chucho"	x			x
6	<i>Cestrum aurantiacum</i> Lindley	huele de noche flor amarilla	x			
7	<i>Lyciantes orígenes</i> Standl. & Steyerm.	huele de noche flor blanca				
8	<i>Chiococa pachyphulla</i>	canelillo				
9	<i>Citharexylum donnell-smithii</i> Greenman	rosario o cordoncillo	x			
10	<i>Clethra</i> ( <i>nance macho</i> )	nance macho	x			
11	<i>Clethra</i> sp ( <i>roble blaco</i> )	roble blanco				x
12	<i>Croton replexifolius</i> kunth	copalchí	x			
13	<i>Cupania</i> sp ( <i>cola de pava</i> )	cola de pava				
14	<i>Cupressus lusitanica</i> Mills.	ciprés	x			
15	<i>Diphysa americana</i> (Miller) M.Souza	guachipilín	x			
16	<i>Eugenia</i> sp	escobo o chimichu	x		x	x
17	<i>Ficus</i> sp	amate Blanco				
18	<i>Fuchsia arborescens</i> Sims	sietillo	x			
19	<i>Ilex discolor</i> var. <i>tolucana</i> (Hemsley) Edwin	naranjillo 1	x			x

20	<i>Indet</i>	aceituno de montaña				
21	<i>Ilex sp</i>	naranjillo 2	x			
22	<i>Ilex sp</i>	naranjillo 3	x			
23	<i>Inga sp</i>	guamito o pepeto de montaña	x	x	x	x
24	<i>Lippia myriocephala Cham &amp; Schldl</i>	cutujume o tatascamite blanco		x		x
25	<i>Lonchocarpus minimiflorus J.D.Smith</i>	chaperno negro				x
26	<i>Lonchocarpus sp</i>	chaperno de montaña				
27	<i>Montanoa guatemalensis Robinson &amp; Greenman</i>	astago				x
28	<i>Ocotea sp</i>	trompillo	x	x	x	x
29	<i>Oreopanax xalapensis (Kunth) Decne. &amp; Planchon</i>	mano de león	x	x	x	x
30	<i>Peltostigma pteleoides (Hook.) Walp.</i>	matazanillo	x			
31	<i>Persea sp.</i>	aguacate mico (aguacamico)	x			
32	<i>Perymenium grande Hemsley var. grande</i>	tatascamite rojo	x	x	x	x
33	<i>Pluchea odorata (L.) Cass.</i>	suquinay	x			
34	<i>Prunus lundelliana Standl</i>	zapotillo	x			
35	<i>Quercus skinneri Benth.</i>	belloto	x	x	x	x
36	<i>Quercus sp</i>	roble				
37	<i>Rhamnus sphaerosperma var. mesoamericana L. A. &amp; M. C. Johns</i>	duraznillo	x	x		
38	<i>Rondeletia laniflora Benth.</i>	estoraque o papelillo	x	x	x	x
39	<i>Roupala montana Aublet</i>	zorrillo	x	x	x	
40	<i>Sapium aucuparium Jacq.</i>	chilamate				
41	<i>Saurauia kegeliana Schldl</i>	alais	x			x

42	<i>Senna pallida</i> var. <i>quiedondilla (Micheli) Irwin &amp; Barneby</i>	huesito				
43	<i>Simarouba glauca</i> DC.	aceituno o jucumico	x			
44	<i>Stemmadenia</i> sp	cojón de puerco				
45	<i>Styrax argenteus</i> Presl.	oreja de venado	x		x	x
46	<i>Tourefortia petiolaris</i> DC	vara negra				
47	<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	capulín de montaña (macho)	x			x
48	<i>Trichilia</i> sp.	jocotillo				
49	<i>Ulmus mexicana</i> (Liebm.) Planchon	mescal	x			
50	<i>Verbesina guatemalensis</i>	himaliote o palmerito de montaña	x			
51	<i>Viburnum hartwegii</i> Benth	coralillo o Quina	x			
52	<i>Xilosma</i> sp	limoncillo espinoso				
53	<i>Sinowiewia integerrima</i> Turckz	culebro	x			
54	<i>indeterminada</i>	gravileo				
55	<i>indeterminada</i>	limoncillo				
56	<i>Ficus</i> sp	amate				
	TOTAL DE ESPECIES		34	11	10	17

**Anexo 3:** especies de arbustos encontradas en el volcán de Santa Ana en los diferentes estudios realizados

No	FAMILIA	Nombre científico	Nombre común	Fernando
1	SOLANACEAE	<i>Acnistus sp.</i>	tomatillo fruto negro	x
2	ACANTHACEAE	<i>Aphelandra</i>	chufle, camarón	
3	ONAGRACEAE	<i>Fuchsia microphylla Kunth</i>	venenillo	x
4	SOLANACEAE	<i>Jaltomata procumbens (Cav.) J.L.Gentry</i>	chilpepón o amargo	
5	MALVACEAE	<i>Malvaviscus arboreus Cav.</i>	flor de arito	x
6	MELASTOMATACEAE	<i>Miconia guatemalensis Cogn.</i>	cirín	x
7	PIPERACEAE	<i>Piper pseudolindenii</i>	anicillo	x
8	PIPERACEAE	<i>Piper sp</i>	anicillo	x
9	COMPOSITAE	<i>Roldana petasitis (Sims) H.Robinson &amp; Brettell</i>	hoj a de queso	
10	URTICACEAE	<i>Ureia corallina (Liebm.) Wedd.</i>	chichicaste	x
11	URTICACEAE	<i>Phenax mexicanum Leed.</i>	chichicaste macho	
12	COMPOSITAE	<i>indeterminada</i>	salviona	
13	HIDROPHYLLACEAE	<i>Wigandia urens</i>	tabacón	
14	ACANTHACEAE	<i>Justicia sp.</i>	antorcha	
15	URTICACEAE	<i>Boehmeria ulmifolia Weddell</i>	cuerno de cabra	
16	URTICACEAE	<i>Piper tuberculatum</i>	cordoncillo	
17	RUBIACEAE	<i>Coffea arabica</i>	cafeto	
18	COMPOSITAE	<i>indeterminada</i>	desconocido	
19	COMPOSITAE	<i>Verbesina sp.</i>	chimaliote	
20	PIPERACEAE	<i>Piper elongatum L.</i>	anicillon	

**Anexo 4:** Especies de hierbas y bejucos encontradas en el volcán de Santa Ana durante diferen

No	FAMILIA	Nombre Científico	Nombre común	Comparación		
				C	MR	C & M. 2004/20
1	PASSIFLORACEAE	<i>Passiflora sp</i>	b. calzoncillo			x
2	CONVOLVULACEAE	<i>Ipomoea sp</i>	b. campanilla			x
3	CONVOLVULACEAE	<i>Ipomoea sp</i>	b. campanilla morada			x
4	ALSTROEMERACEAE	<i>Bomarea edulis</i>	b. coyol de gato			x
5	ASCLEPIADACEAE	<i>Gonolobus sp</i>	b. cuchamper			x
6	ASCLEPIADACEAE	<i>Metastelma pedunculare Decaerne.</i>	b. cuchamper			x
7	SMILACEAE	<i>Smilax sp</i>	b. cuero de vieja			x
8	PASSIFLORACEAE	<i>Passiflora membranaceae Benth.</i>	b. granadilla larga			x
9	PASSIFLORACEAE	<i>Passiflora adenopoda DC.</i>	b. granadilla ovoide			x
10	ARACEAE	<i>Monstera siltepecana</i>	b. hoja baliada			x
11	SOLANACEAE	<i>Solanum wendlandii Hook.f.</i>	b. iztán			x
12	DILLENACEAE	<i>Petrea volibilis</i>	b. lengua de vaca img-2078			x
13	PASSIFLORACEAE	<i>Passiflora sexflora A.L. Juss.</i>	b. murcielago			x
14	COMPOSITAE	<i>Sinclairia discolor</i>	b. pansa de burro o sobrepalo			x
15	PASSIFLORACEAE	<i>Pasiflora sp.</i>	b. pantalón			x
16	DIOSCOREACEAE	<i>Dioscorea composita Hemsl.</i>	b. talguente			x
18	SOLANACEAE	<i>Lyciantes sp.</i>	b. tomatillo			x

19	LEGUMINOSACEAE	<i>Machaerium sp.</i>	b. uña de gato			x
20	BEGONIACEAE	<i>Begonia calderónii standley</i>	begonia	x		x
21	STERCULIACEAE	<i>Byttneria aculeata Jacq.</i>	bejuco con espinas hoja aserrada mezcal			x
22	COMPOSITAE	<i>Baccharis trinervis</i>	bejuco desconocido.			x
23	MALPIGHIACEAE	<i>Stigmaphyllon retusum Griseb.</i>	bejuco flor amarilla			x
24	RUBIACEAE	<i>Hoffmannia psychotriaefolia (Benth.) Griseb.</i>	cafecillo			x
25	POLYPODIACEAE	<i>Polipodium sp</i>	calaguala		x	x
26	MELASTOMATAACEAE	<i>Heterocentron hondurensis Gleason</i>	caña ácida		x	x
27	GRAMINEAE	<i>no identif</i>	caña brava			x
28	COMPOSITAE	<i>Cirsium mexicanum DC.</i>	cardosanto	x	x	x
29	COMPOSITAE	<i>Dahlia imperialis Roetzl ex Ortgies</i>	catalina	x		x
30	UMBELLIFERAE	<i>Hydrocotyle mexicana Cham. &amp; Schldl.</i>	centavito	x	x	x
31	COMPOSITAE	<i>Melanthera nivea (L.) Small</i>	Chichinguastón.			x
32	POLYGALACEAE	<i>Monnina sylvatica Schldl. &amp; Cham.</i>	cinco negritos		x	x
33	EQUISETACEAE	<i>Equisetum sp</i>	cola de caballo			x
34	CYPERCEAE	<i>Cyperus mutissi H.B.K.</i>	coyolillo	x	x	x
35	PALMACEAE	<i>Chamaedorea sp</i>	cuiliote	x		x
36	DENNSTAEDTIACEAE	<i>Pteridium aquilinum L. Kuhn</i>	culantrillo o crespillo	x		x
37	CAMPANULACEAE	<i>Lobelia laxiflora H.B.K.</i>	diente de chucho	x	x	x
38	COMPOSITAE	<i>no identif</i>	flor amarilla			x
39	COMPOSITAE	<i>Verbesina sp.</i>	flor blanca			x

40	ACANTHACEAE	<i>Justicia sp.</i>	floreía			x
41	ACANTHACEAE	<i>Sanchezia parvibracteata Sprague &amp; Hutchinson</i>	floreía o camarón			x
42	ACANTHACEAE	<i>Jacobinia aurea (Sch.) Hemsl.</i>	floreía 1			x
43	ROSACEAE	<i>Fragaria mexicana Schlet</i>	frambuesa			x
44	GRAMINACEAE	<i>no identificada</i>	gramínea			x
45	SOLANACEAE	<i>no identificada</i>	huiztomate			x
46	CONVALLARIACEAE	<i>Maianthemum flexuosum (Bertol.) L.</i>	lluvia			x
47	GRAMINEAE	<i>Lasiacis nigra Davidse</i>	maicillo			x
48	PHYTOLACACEAE	<i>Phytolaca icosandra</i>	masorquilla o querla	x		x
49	COMMELINACEAE	<i>Commelina erecta</i>	matalío	x		x
50	SOLANACEAE	<i>Solanum nigrescens Matus &amp; Galeotti</i>	mora comestible	x		x
51	TILIACEAE	<i>Triumfetta bogotensis DC.</i>	mozote			x
52	ASTRACEAE	<i>Baltimora sp.</i>	Parecida a escobilla			x
53	AMARANTHACEAE	<i>Iresine calea (Ibañez) Standley</i>	pata de paloma			x
54	GRAMINEAE	<i>Oplismenus hirtellus (L.) P. Beauv.</i>	pluma de gallina	x		x
55	PIPERACEAE	<i>Piper umbellatum</i>	santa maría	x		x
56	SOLANACEAE	<i>Lycianthes</i>	tomatillo fruto rojo			x
58	COMPOSITAE	<i>Tithonia rontundifolia (Mill.) Blake</i>	vara boja			x
59	LEGUMINOSAE	<i>Mimosa sp</i>	zarza común			x
60	LEGUMINOSAE	<i>Mimosa albida Humb. &amp; Bonpl. ex Willd. var. albida</i>	zarza dormilona			x
61	ROSACEAE	<i>Rubus niveus Thunb.</i>	zarzamora gris			x
62	ROSACEAE	<i>Rubus miser Liebm.</i>	zarzamora roja			x

63	GRAMINEAE	<i>no identificada</i>	quicuyo(graminea)			x
64	COMPOSITAE	<i>Verbesina sp.</i>	botoncillo			x
65	ORQUIDEACEAE	<i>no identificada</i>	orquidea terrestre			
66	COMPOSITAE	<i>Senecio sp.</i>	mirabil			
67	COMPOSITAE	<i>no identificada</i>	zaitfa			
68	GRAMINEAE	<i>no identificada</i>	zacate mieludo			
69	COMPOSITAE	<i>no identif</i>	oreja de coyote			

**C: Castaneda; MR: Manuel Rosales; C & M: Chacon y Martínez; M, R: Roberto l**



**Anexo 5:** parámetros de medición en el volcán de Santa Ana 2005/2006.

<b>Medidas Variables</b>	<b>Suelo</b>	<b>Hojas</b>	<b>Atmósfera</b>	<b>Agua lluvia</b>	<b>Instrumentos a utilizar</b>
<b>sulfatos</b>				x	Espectrofotómetro HATCH
<b>cloruros</b>				x	Espectrofotómetro HATCH
<b>fluoruros</b>				x	Espectrofotómetro HATCH
<b>pH</b>				x	Peachimetro
<b>dióxido de azufre</b>			x		Espectrómetro portátil USB2000
<b>temperatura</b>	x		x	x	Termómetro digital
<b>Ceniza</b>	x				Regla graduada

**Anexo 6: Datos Generales del Ecosistema (Boleta No.1)**

**Investigador:** \_\_\_\_\_

**Tipo de Comunidad:** \_\_\_\_\_

**Tipo de Muestreo:** \_\_\_\_\_

**Fecha:** \_\_\_\_\_ **Nombre del Sitio:** \_\_\_\_\_ **Parcela:** \_\_\_\_\_

Estacionalidad de la vegetación	Decidua			semi-decidua			Siempre verde								
Presencia de epifitas	alta			mediana			Baja								
Presencia de musgos	Alta			mediana			Baja								
Presencia de bejucos	Alta			mediana			Baja								
Número de estratos															
Estado sucesional															
<b>Especies Dominantes por Estrato</b>															
Estrato 1															
Estrato 2															
Estrato 3															
<b>Características del Suelo</b>															
Suelo desnudo	alto			medio			Bajo								
Presencia de claros	alta			media			Baja								
Erosión	alta			media			baja		No visible						
Tipo de suelo	arcillo		arenoso		limoso		limo-arcillo		limo-arenoso						
Rocosidad	< 2%		2-10%		10-30%		30-50%		> 50%						
<b>Densidad de la Vegetación</b>															
Densidad	<b>Árboles (altura en metros)</b>										<b>arbustos</b>		<b>Hierbas</b>		
	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5-2	2-1	2-1	< 1
Densa															
Media															
Abierta															
Muy abierta															
Rala															
<b>Datos Ambientales</b>															
Estacionalidad															
Topografía general	montaña			pie de monte			llanura		Otro						
Topografía de sitio	cima		falda arriba		falda abajo		base		Otro						
Altitud/profundidad															
Pendiente															
Humedad	seco			húmedo			saturado		Inundado						
Tipo de Vegetación															
<b>Datos de Georreferenciación</b>															
Departamento:					Latitud:										

Municipio:	Longitud:
Cantón:	Sistema de referencia:
Caserío:	Fuente:
Sitio:	Precisión/escala:
Observaciones:	



**Anexo 8: Datos de Especies Colectadas (Boleta No3).**

<b>Nombre común:</b>	<b>Fecha:</b>
<b>Nombre del colector:</b>	
<b>Nombre de identificador:</b>	
<b>Institución colectora:</b>	
<b>Número de individuos colectados:</b>	
<b>Nombre del sitio de colecta</b>	
<b>Descripción del sitio u hábitat:</b>	
<b>Características morfológicas del espécimen:</b>	
<b>Objetivo de la colecta</b>	
<b>Coordenadas del sitio de colecta:</b> <b>LN:                      LW:</b>	<b>Altura (msnm):</b>
<b>Fotos tomadas:</b>	

**Anexo 9:** Datos ambientales de las parcelas realizadas en el volcán de Santa Ana, 2005/6.

<b>Nº Parcela</b>	<b>Altura(msnm)</b>	<b>Temperatura Ambiente</b>	<b>Temperatura Suelo</b>	<b>Topografía</b>	<b>Humedad</b>
1	1851	15.8	13.8	Montaña FA.	húmedo
2	2008	16	14.3	Montaña FA.	húmedo
3	2094	17	14.7	Montaña FA.	húmedo
4	2079	18.3	14.5	Montaña FA.	húmedo
5	2135	20.6	13.9	Montaña FA.	húmedo
6	2148	18.8	13.6	Montaña FA.	húmedo
7	2084	18.6	13.1	Montaña Fa.	Húmedo
8	2060	17.3	13.6	Montaña FA	húmedo
9	1939	17.9	14.8	Montaña FA	húmedo
10	1884	18.4	14.5	Montaña FA	húmedo
11	2015	17.3	14.6	Montaña FA	húmedo
12	2034	16.9	15.4	Montaña FA	húmedo
13	2135	16.8	14.3	Montaña FA	húmedo
14	2067	16.8	14.6	Montaña FA	húmedo

15	2300	15	13.7	Montaña FA.	Húmedo
16	2179	17	14.2	Montaña FA.	Húmedo
17	2080	17.3	14.3	Montaña FA.	Húmedo
18	2017	16.8	14.6	Montaña FA	húmedo
19	2030	18.3	15.6	Montaña FA	húmedo
20	2042	16.8	15.6	Montaña FA	húmedo
21	2075	17.4	15.7	Montaña FA	húmedo
22	2129	8.9	12.9	Montaña FA	saturado
23	2162	8.6	12.6	Montaña FA	saturado
24	2235	9.3	12.8	Montaña FA	saturado
25	2346	8.8	11.5	Montaña FA	saturado
26	2347	7.2	13.8	Montaña FA	saturado
27	2298	19.4	22.6	Montaña FA	seco
28	2076	23.7	36.8	Montaña FA	seco
29	2013	19.6	34.1	Montaña FA	seco
30	1907	14.4	13.2	Montaña Fa	húmedo
31	1777	17.6	13.1	Montaña FA	húmedo

32	1777	19	14.2	Montaña FA	húmedo
33	1784	18.8	14.5	Montaña Fa	húmedo
34	1853	17.2	13.9	Montaña FA	húmedo
35	1842	17.1	15.5	Montaña FA	húmedo
36	1842	16	13.3	Montaña FA	húmedo
37	2167	22.9	14.1	Montaña FA	húmedo
38	1913	19.3	16.2	Pie de M. Fa	seco
39	1973	20	16	Pie de M. Fa	seco
40	2022	23.2	16.4	Montaña FA	seco
41	1897	18.5	16.3	Pie de M. Fa	seco
42	2089	N. M	N. M	Montaña FA	húmedo
43	2085	N. M	N. M	Montaña FA	húmedo

FA: falda arriba; Fa: falda abajo.

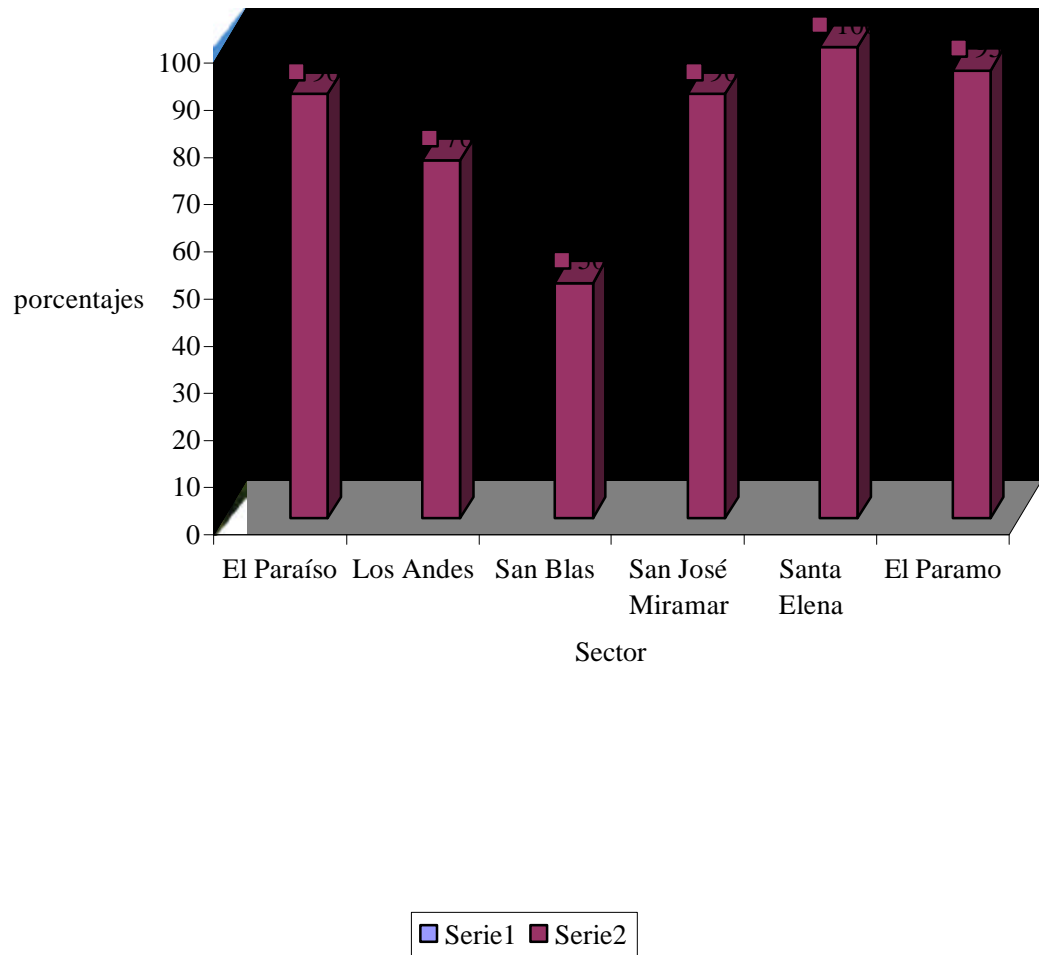


**Anexo 10:** Información de georeferencia de los puntos de muestreo establecidos en el volcán de

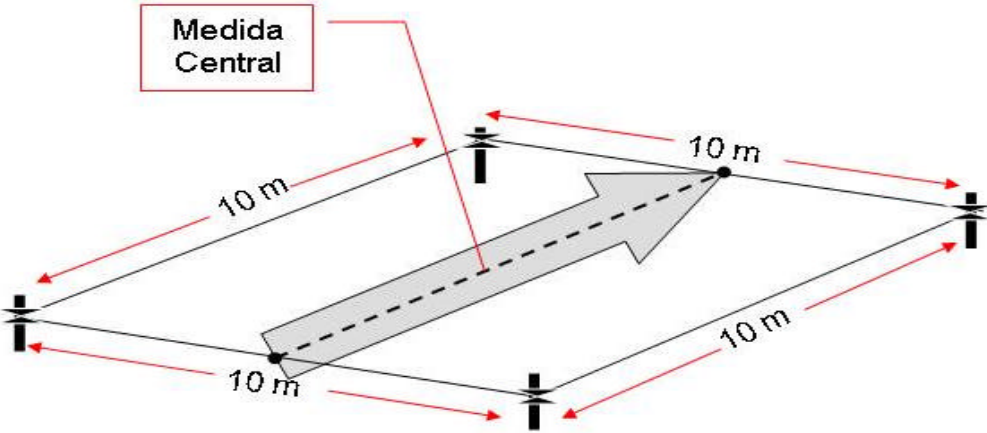
<b>UBICACIÓN</b>	<b>ALTURA</b>	<b>ERROR</b>	<b>COORDENADAS X</b>			
Loma El Caño Sector Los Andes	1851	12	13	52	1	13,8669444
El Paraíso	2008	8	13	51	48	13,8632222
Sector El Paraíso, Cabaña	2094	6	13	51	45	13,8624444
sector El Paraíso, Joya de la Cabaña	2079	6	13	51	42	13,8616111
sector El Paraíso, El pozo, Sendero Las Pupusas	2135	6	13	51	15	13,8541389
Loma El Caño, salida al sendero sector El Paraíso	2148	5	13	51	46	13,8628611
El Trompallal, Las Cuchillas, Sector El Paraíso	2084	5	13	51	51	13,8641944
El Trompallal, Sector El Paraíso	2060	6	13	51	52	13,8645278
Loma El Caño ,Sector Los Andes	1939	8	13	52	1	13,8670556
Limite Plan del Hoyo y Los Andes en el Limbo	1884	6	13	52	11	13,8695833
Cerro El Limbo, Sector El Paraíso	2015	6	13	52	2	13,8670833
Cerro El Limbo, El Zanjo, Sector El Paraíso	2034	6	13	51	57	13,8657222
La Barrancona, Sector Los Andes	2135	6	13	51	52	13,8645000
Cuchilla El Limbo, sector El Paraíso	2067	7	13	52	3	13,8675278
Las Caballerías, sector Los Andes	2300	6	13	51	35	13,8598333
Las Caballerías, El Palo Seco, sector Los Andes	2179	7	13	51	48	13,8632222
Las Caballerías,500 mts arriba del Ojo de Agua	2080	8	13	51	55	13,8651667
Ojo de Agua El Venado	2017	6	13	52	2	13,8671667
El Guamital, Sector El Paraíso	2030	6	13	51	51	13,8642222
Loma El Zorrillo, Sector El Paraíso	2042	7	13	51	43	13,8618333
Loma El Zorrillo, Sector El Paraíso	2075	6	13	51	46	13,8626667
Costado Norte del Sitio Las Pupusas, Sector el Paraíso	2129	9	13	51	36	13,8598889
Sitio Las Pupusas, Sector El Paraíso	2162	5	13	51	31	13,8586111
Barranca Las Escaleras, Sector El Paraíso	2235	5	13	51	28	13,8578889

Entrada al Páramo, Zona las Escaleras, Sector El Paraíso	2346	5	13	51	25	13,8570556
El Puente del Páramo, Sector El Paraíso	2347	5	13	51	30	13,8584444
Montaña Santa Elena	2298	6	13	51	19	13,8552222
Montaña Santa Elena	2076	7	13	51	25	13,8568333
Montaña Santa Elena	2013	6	13	51	26	13,8573333
Ciprecera Los Clementes, Sector Los Andes	1907	5	13	51	47	13,8631111
Piedra Pacha, Sector Los Andes	1777	8	13	52	12	13,8700556
La Canchita, Sector Los Andes	1777	7	13	52	6	13,8682500
Tanque del Guatalòn, Sector Los Andes	1784	6	13	52	3	13,8674167
El Guatalòn, limítrofe al Cipresal	1853	6	13	52	1	13,8668889
Sendero El Anicillo, Sector Los Andes	1842	8	13	52	7	13,8687222
Sendero El Anicillo, Sector Los Andes	1842	9	13	52	8	13,8690000
Zona Suroeste del Cráter (260°SO)	2167	6	13	51	21	13,8558889
Próximo a la Torre, Sector San Blas	1913	7	13	50	15	13,8374722
Sendero al Cráter por la Torre, Sector San Blas	1973	8	13	50	21	13,8390556
Loma Frente al Sendero al cráter, Sector San Blas	2022	9	13	50	27	13,8409444
Loma Frente al Caserío San Blas	1897	6	13	50	14	13,8371944
Frente a Finca Monterrey, San José Miramar	2089	7	13	50	48	13,8465833
San José Miramar	2085	5	13	50	41	13,8446111

Anexo 11. Comparación de daños en las diferentes zonas del volcán de Santa Ana.

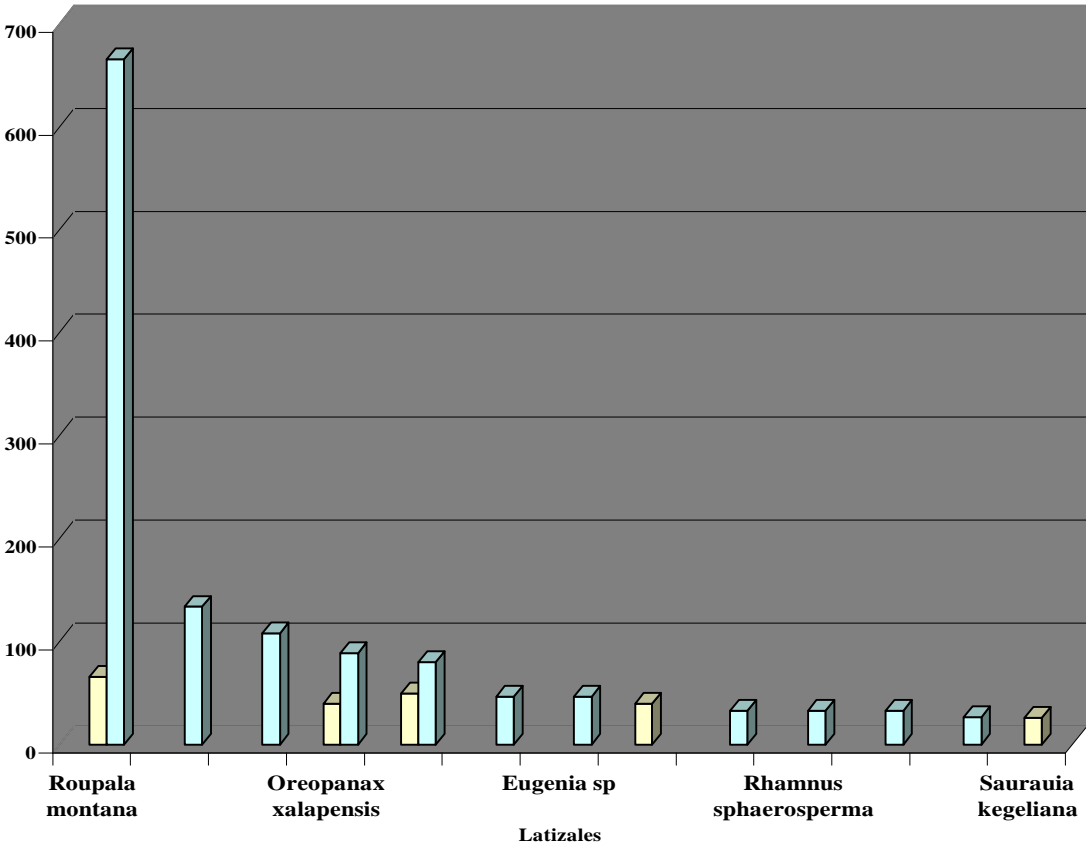


**Anexo 12.** Modelo de parcela empleado en la investigación.(10x10 mt.)



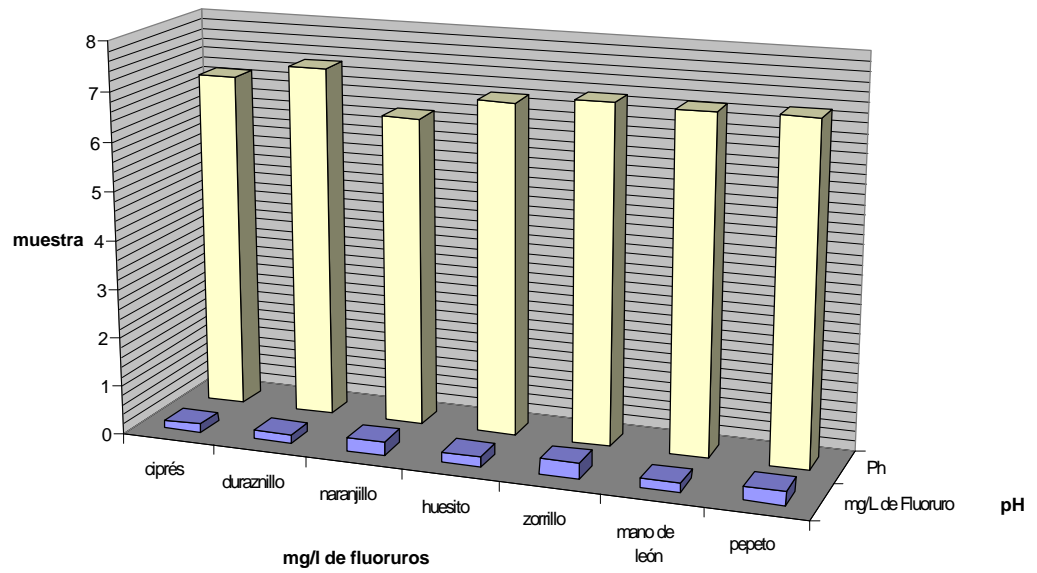
**Anexo 13:** Especies arbóreas de regeneración natural encontradas en el volcán de Santa Ana después de la erupción el 1° de octubre.

**Brinzales**



**Anexo 14:** Determinación de Fluoruro (mg/L) y pH en hojas de 7 especies de árboles en el volcán de Santa Ana.

Determinación de Fluoruro y pH en hojas de diferentes especies de árboles encontrados en el volcán de Santa Ana.



	ciprés	duraznillo	naranjillo	huesito	zomillo	mano de león	pepeto
■ mg/L de Fluoruro	0,163592403	0,176059373	0,273543084	0,212516522	0,327176281	0,184329211	0,286398195
■ Ph	6,91	7,21	6,34	6,8	6,95	6,91	6,94

■ mg/L de Fluoruro    □ Ph

**Anexo 15.** Número de individuos encontrados por parcela, después de la erupción del volcán de Santa Ana,

N <sup>a</sup>	NOMBRE COMUN	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17
1	alàis, llorón									4	5		3		6			
2	ástago																	
3	canelillo											2						
4	capulín macho	1																
5	cedro																	
6	chaperno																	
7	chilamate																	
8	ciprés																	
9	coralillo o quina		1										2	1	1	5	1	
10	culebro	1					3	2	1			5			6			2
11	duraznillo, yema de huevo											1						
12	escobo, shimichu																	
13	estoraque, oreja de venado												1	6	1		3	







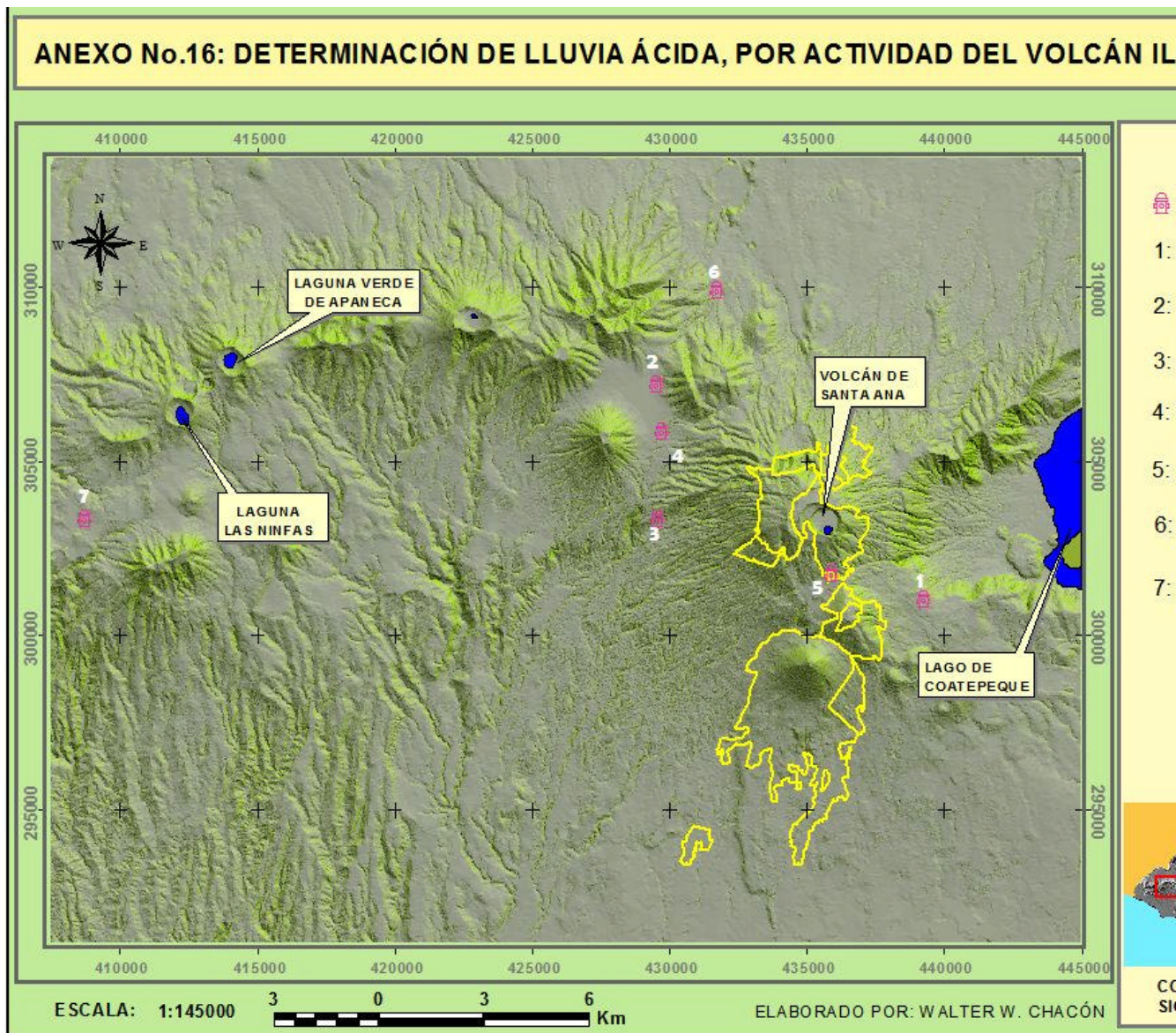


Continuación Cuadro 15.

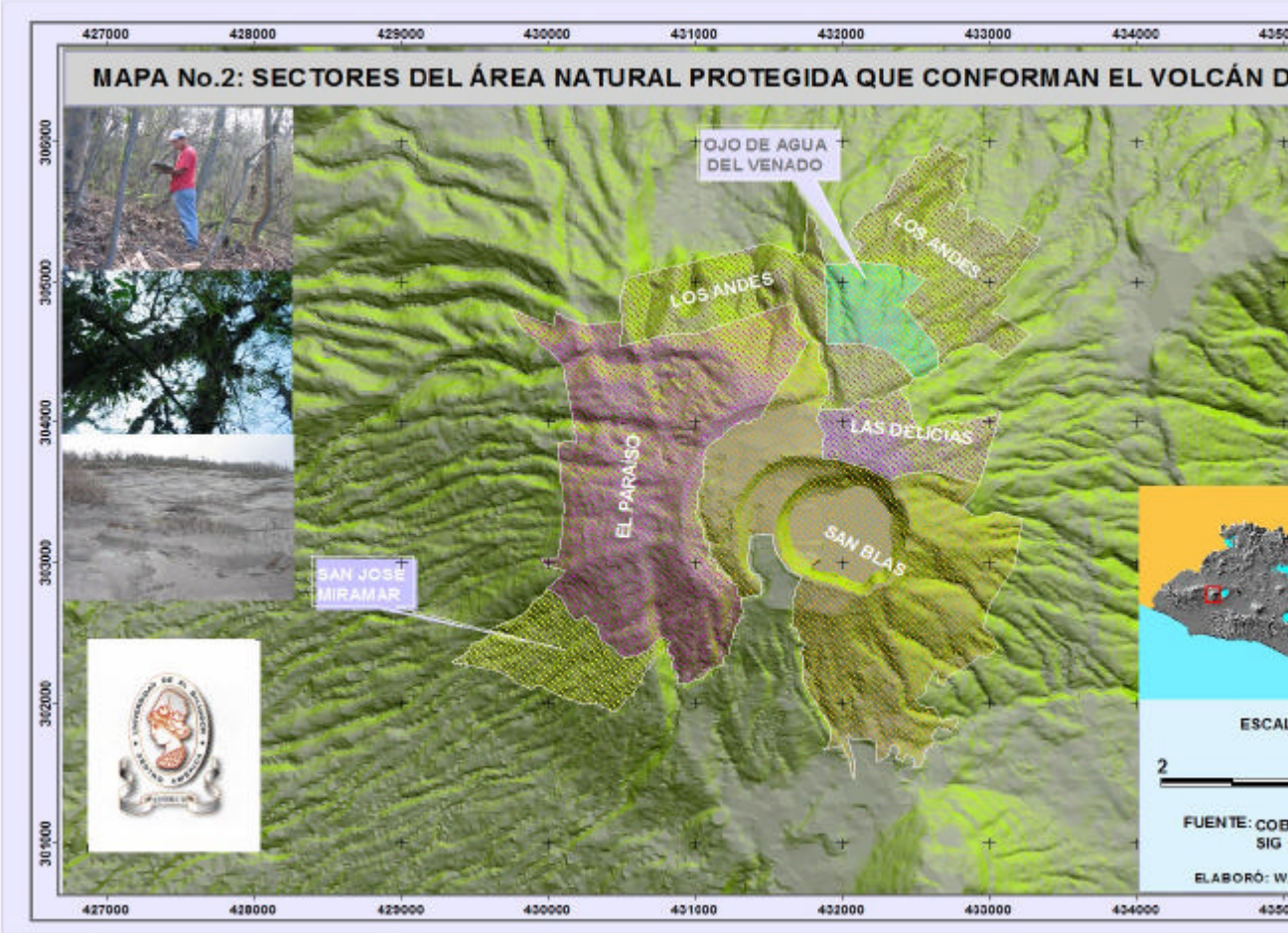
Nº	NOMBRE COMUN	P35	P36	P37	P38	P39	P40	P41	P42	P43
1	alàis, llorón				2					
2	ástago									
3	canelillo	4								
4	capulín macho									
5	cedro									
6	chaperno									
7	chilamate									
8	ciprés		4							
9	coralillo o quina			1	4	1	1	2		
10	culebro				3	1				
11	duraznillo, yema de huevo	1				1		2		
12	escobo, shimichu				1					
13	estoraque, oreja de venado				2	1				
14	guachipilín									
15	huesito							5		



Anexo No. 16. Mapa de resultados del análisis de lluvia ácida en la cordillera ApanecaLamatepec.



Anexo N° 17. Mapa de los sectores que conforman el volcán de Santa Ana.



Anexo No. 18. Sitios de muestreo de la vegetación en el volcán de Santa Ana.



## ANEXO 19.SECUENCIA FOTOGRAFICA

### Imágenes antes de la erupción del volcán de Santa Ana.



Pluma del volcán de Santa Ana vista desde el sector San Blas.



Emanación de gases vista desde la ciudad de Sonsonate, donde se observa el alcance de la pluma y la dirección en la cual se dispersa.



Estado de la vegetación la zona alta de San Blas, al costado sur del cráter próximo al Páramo.



Vista panorámica de la pluma del volcán de Santa Ana, con una altura aproximada de 1000 metros.



Daños en vegetación a causa de las emanaciones de gases, sector San Blas.



Vulcanólogos de la Universidad de El Salvador, haciendo una estación mientras se preparan para realizar mediciones de gases y temperaturas en el cráter del Volcán de Santa Ana.

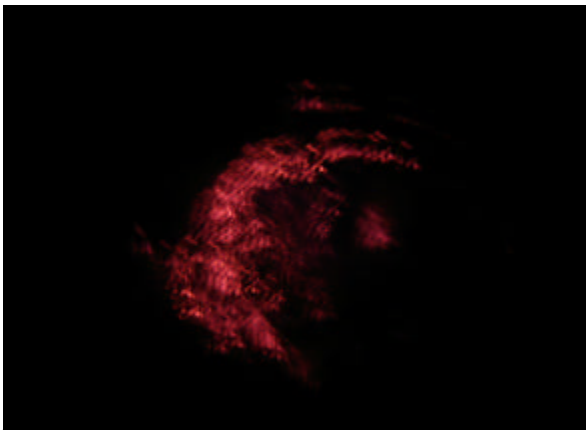




Medición de gases en el contorno del cráter del volcán de Santa Ana, utilizando un sistema de flujo doble



Vista del perfil del cráter del volcán de Santa Ana, el cual es la Fuente principal de emanación de contaminantes atmosféricos (gases). En los alrededores del complejo volcánico.



Incandescencia observada a las 10:00 p.m. del día 20 de septiembre de 2005.



Incandescencia al interior del cráter del volcán de Santa Ana, fotografía tomada por la Prensa Gráfica



Imagen de la erupción del volcán Ilamatepec, el 1° de octubre de 2005.



SECUENCIA FOTOGRAFICA DE ESPECIES VEGETALES ENCONTRADAS  
EN EL VOLCÁN DE SANTA ANA  
Vegetación arbórea



*Ilex discolor* var. *Toluca*  
"naranjillo 1"



*Ilex* sp. "naranjillo 2"



*Inga* sp. "pepeto de montaña"



*Rondeletia lanniflora* "papelillo"



*Saurauia hegeliana* "aláis"



*Prunus lundelliana* "Zapotillo"



*Eugenia sp.* "chimichu"



*Perymenium grande* "tatascamite rojo"



*Ocotea sp* "trompillo"



*Pluchea odorata* "suquinay"



*Rhamnus sphaerosperma*  
"duraznillo"



*Citharexylum donnell-smithii*  
"rosario"



*Roupala montana* “zorrillo”



*Boconia frutescens* “sangre de chucho”



*Montanoa guatemalensis* “ástago”



*Oreopanax xalapensis* “mano de león”

## Especies arbóreas de regeneración natural



*Inga sp*



*Saurauia kegeliana*



*Chiococca pachyphulla*



*Pluchea odorata*



*Oreopanax xalapensis*



Indeterminada

## Vista panorámica del estado de la vegetación posterior a la erupción del Ilamatepec



Véase la destrucción total de la cobertura arbórea y algunas especies herbáceas en proceso de regeneración



Árboles mostrando la eliminación total de hojas en dosel y ramas laterales



Véase la poca cobertura foliar en ramas y fuste.



Panorámica del daño causado por la caída de piroclastos en el bosque nebuloso



Fuste y ramas cubiertos por la caída de material sólido (piroclastos)



Obsérvese la capa de ceniza sobre la vegetación de los estratos arbóreos, arbustivos y herbáceos.



Vista panorámica del estado de la vegetación del sector El Paraíso.



La vegetación predominante posterior a la erupción, resulto ser matorrales y hierbas



Estado de la vegetación de los sectores El Paraíso y San José Miramar



Cobertura de ceniza sobre la vegetación de la zona alta del llamatepec



Estado de la vegetación del sitio conocido como plan del hoyo, ubicado en la zona baja del llamatepec



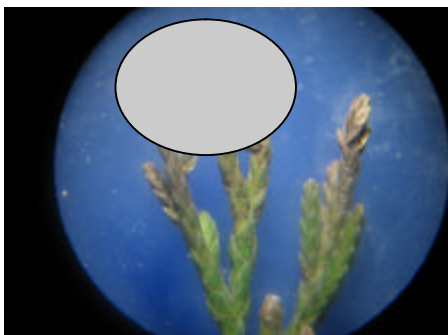
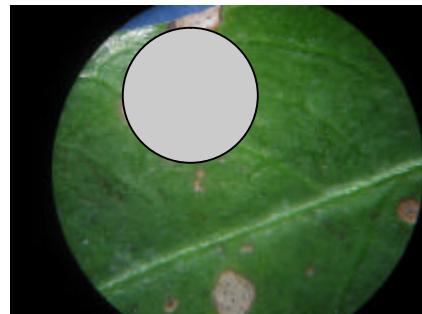
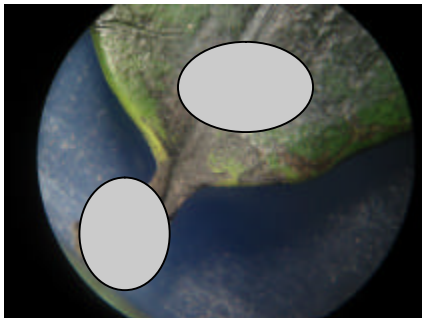
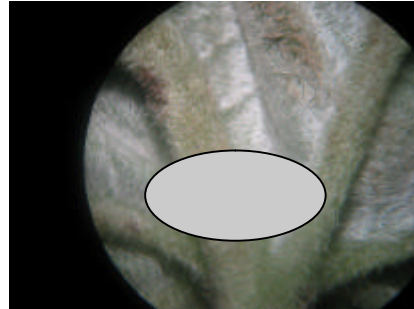
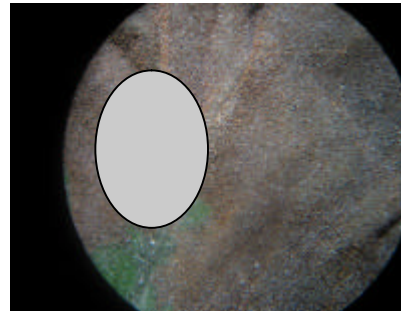
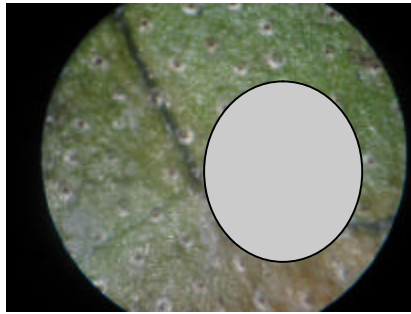
Zona baja de los sectores El Paraíso y Los Andes

**Vista panorámica del volcán de Santa Ana posteriores a la erupción**





## Secuencia fotográfica de daños en vegetación



Nótese en la sección señalada cada uno de los daños a causa de la actividad volcánica (ceniza (piroclastos), gases, lluvia ácida, clorosis, necrosis, en haz y envés, así como en el pecíolo)