



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA  
DIRECCIÓN GENERAL DE  
INVESTIGACIÓN**



## **INFORME FINAL**

### **PROYECTO**

**“La deposición Húmeda y Seca, y su Impacto en la Acidez  
del Agua en la Región del Volcán de Pacaya”**

#### **Equipo de investigación**

**Licda. Bessie Evelyn Oliva Hernández de Sandoval, Coordinadora**

**M.Sc. Juan Francisco Pérez Sabino, Investigador**

**M.Sc. Karin Larissa Herrera Aguilar, Investigadora**

**Br. Oswaldo Efraín Martínez Rojas, Auxiliar de Investigación II**

**Br. Aleida Marissella Roldán Estrada, Auxiliar de Investigación II**

**Br. Balmore Salvador Valladeres Jovel, Auxiliar de Investigación I**

**Guatemala, enero-diciembre de 2006**

**Unidad Académica Avaladora**

**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA**

## INDICE

Contenido	Página
Resumen	V
1. Introducción	1
2. Antecedentes	1
2.1 Otros estudios	2
2.2 Estudios previos en el volcán de Pacaya	2
3. Justificación	2
4. Objetivos	3
4.1 General	3
4.2 Específicos	3
5. Referente Teórico	4
5.1 Origen de la deposición húmeda	4
5.2 Fuentes y distribución de la lluvia ácida	5
5.3 Efectos de la deposición húmeda y seca	5
6. Metodología	6
6.1 Ubicación de los sitios de muestreo	6
6.2 Muestreo	6
6.3 Equipo de muestreo	7
6.4 Medición de parámetros físicos en el campo	7
6.5 Análisis de nitrógeno y fósforo y otros parámetros fisicoquímicos en el laboratorio	8
6.6 Medición de sólidos	8
6.7 Análisis de iones específicos en muestras de agua	8
6.8 Grupo coliforme	8
6.9 Agua de calidad diferente del agua potable	9
6.10 Coliformes fecales	9
6.11 Escherichia coli	9
6.12 Colifagos	10
6.13 Fitoplancton	10
6.14 Trifoliar	10
6.15 Evaluación de resultados	10
6.16 Técnicas a utilizar en el proceso de investigación	11
6.17 Técnica estándar de fermentación para Coliformes	13
7. Resultados	20
7.1 Región del Volcán de Pacaya	20
7.2 Laguna de Calderas	28
7.3 Resultados microbiológicos del agua de la laguna de Calderas	34
8. Conclusiones	41
9. Recomendaciones	42
10. Bibliografía	42
12. Anexos	45

## INDICE DE CUADROS

	Contenido	Página
1	Deposición húmeda y seca en San Vicente Pacaya	20
2	Deposición húmeda y seca en aldea El Patrocinio	20
3	Deposición húmeda y seca en la aldea Los Ríos	21
4	Deposición húmeda y seca en la aldea Concepción El Cedro	21
5	Deposición húmeda y seca en la Estación INDE El Cedro	22
6	Deposición húmeda y seca en el Parque nacional Volcán de Pacaya	22
7	Deposición húmeda y seca en la aldea San José de Calderas	23
8	Deposición húmeda y seca en la aldea Mesillas Altas	23
9	Deposición húmeda y seca en la aldea Mesillas Bajas	24
10	Deposición húmeda y seca en Santa Elena Barillas	24
11	Formas de vida vegetal encontradas en la región del volcán de Pacaya	26
12	Potencial de Hidrógeno de la laguna de Calderas	28
13	Temperatura del agua de la laguna de Calderas	28
14	Concentración de oxígeno en la laguna de Calderas	28
15	Concentración de oxígeno en porcentaje en la laguna de Calderas	29
16	Conductividad del agua de la laguna de Calderas	29
17	Total de Sólidos Disueltos en la laguna de Calderas	29
18	Profundidad del espejo de agua en el sitio de muestreo	30
19	Visibilidad medida con el disco Secci	30
20	Color del agua de la laguna de Calderas	30
21	Nitrógeno de Nitritos en agua de la laguna de Calderas	31
22	Nitrógeno de Nitratos en agua de la laguna de Calderas	31
23	Nitrógeno de Amonio en agua de la laguna de Calderas	31
24	Nitrógeno Total en agua de la laguna de Calderas	32
25	Fósforo de Ortofosfatos en agua de la laguna de Calderas	32
26	Fósforo Total en agua de la laguna de Calderas	32
27	Demanda Química de Oxígeno en muestras de agua de la laguna de Calderas	32
28	Demanda Bioquímica en muestras de agua de la laguna de Calderas	33
29	Sólidos Totales en muestras de agua de la laguna de Calderas	33
30	Sólidos Suspendidos en muestras de agua de la laguna de Calderas	33
31	Sólidos disueltos en muestras de agua de la laguna de Calderas	33
32	Sólidos Sedimentables en muestras de agua de la laguna de Calderas	34
33	Cuadro de Sulfatos en muestras de agua de la laguna de Calderas	34

34	Coliformes totales en muestras de agua de la laguna de Calderas	34
35	Coliformes fecales en muestras de agua de la laguna de Calderas	35
36	Análisis de E. coli en muestras de agua de la laguna de Calderas	35
37	Recuento Heterotrófico en Placa en muestras de agua de la laguna de Calderas	35
38	Presencia de Colifagos en muestras de agua de la laguna de Calderas	36
39	Parásitos en muestras de agua de la laguna de Calderas	36
40	Fitoplancton en muestras de agua de la laguna de Calderas	37

## INDICE DE FIGURAS

	Contenido	Página
1	Colector convencional. Sistema de captación de agua de lluvia con polvos atmosféricos	7
2	Formas de vida vegetal encontradas en la región del volcán de Pacaya	25
3	Estimado de Coliformes totales	38
4	Estimado de Coliformes fecales	39
5	Estimado de Recuento Heterotrófico en Placa	39
6	Ericaceae	45
7	Senecio	45
8	Ilex toluhana	45
9	Malpighiaceae	46
10	Mapa de la región del volcán de Pacaya	46
11	Mapa de transporte de largo alcance de materiales aéreos (TLACA)	47

## RESUMEN

En el presente proyecto se evaluará el nivel de acidez de la deposición seca y húmeda, así como de las fuentes de agua superficial y subterránea en la región del volcán de agua y su relación con la actividad del volcán de Pacaya. Para esto se realizarán mediciones de pH y principales iones en la deposición seca y húmeda, así como en pozos y ríos en el área de estudio. Se establecerán quince sitios de muestreo en poblaciones en las faldas del volcán, así como en pozos y ríos en la región, así como en la laguna de Calderas, en la cual se hará un estudio más completo de la calidad del agua.

Las determinaciones se realizarán quincenalmente, incluyéndose el análisis microbiológico de muestras de agua de pozo, y de aguas superficiales, para establecer si la acidez del agua afecta la presencia de bacterias, así como para establecer la aptitud del agua para el consumo humano desde los puntos de vista fisicoquímico y bacteriológico.

En el proyecto se evaluará si existen enfermedades en las especies vegetales existentes en la región del volcán de Pacaya, relacionadas con la actividad volcánica. Por medio de análisis de regresión se establecerá la magnitud del impacto de la pluma de contaminación de las emanaciones del volcán de Pacaya, sobre las comunidades y se determinará cuales son las comunidades que se encuentran mas afectadas.

## **1. Introducción**

En un estudio reciente se demostró que el agua de lluvia en la región del volcán de Pacaya presenta un grado de acidez mayor que en la ciudad de Guatemala, al observarse valores de pH de hasta 3 (Oliva, 2005), lo cual representa un riesgo para la salud de la población, de las cosechas y para las estructuras en las comunidades. Dicho pH es indicativo también de la presencia de especies que reaccionan en el agua generando ácidos fuertes como el ácido sulfúrico y el ácido nítrico, que provocan el deterioro de la calidad de las fuentes de agua subterráneas y superficiales en la región del volcán de Pacaya, lo cual puede afectar la salud de la población que consume agua de dichas fuentes; Estos niveles de pH también son indicativos de la presencia de iones que pueden afectar la calidad de los suelos, lo cual puede disminuir la productividad de los mismos para su uso en la agricultura.

La falta de información completa sobre la acidez y los iones presentes en la deposición seca y húmeda, así como de la calidad del agua en las fuentes de agua residuales y superficiales constituyen un problema para el planteamiento de medidas para proteger la salud de la población y para la planificación de medidas de emergencia relacionadas con las tendencias de la deposición húmeda y seca, en relación con la actividad del volcán de Pacaya.

## **2. Antecedentes**

El volcán de Pacaya se ubica en el límite norte entre los departamentos de Escuintla y Guatemala. La morfografía del volcán de Pacaya y de las regiones cercanas forma un accidente geográfico que constituye un estrato-volcán con una altura de 2,500 msnm. Las laderas del cono son pendientes escarpadas en el lado sur y moderadas en el lado norte. El cráter es circular y tiene un diámetro aproximado de 150 metros. El volcán tiene flujos de lava que se han extendido, presentando también conos parásitos y domos de riodacita. El tipo de roca en su mayoría corresponde a basaltos, y en menor grado flujos de andesitas, riodacitas, dacitas y piroclastos de pómez y cenizas volcánicas. El volcán de Pacaya debe su forma a la actividad volcánica que mantiene, la cual es el resultado del cúmulo de rocas volcánicas de diferente tipo y edad. La erosión es de tipo radial y ha tomado parte en el modelado del sistema de drenaje. El volcán mantiene una actividad posiblemente por ser una salida de materiales que se consumen en la zona de subducción del Pacífico, por lo que existe salida de materiales lávicos y gases (piroclastos). Esta geoforma según su morfocronología se clasifica como del Pleistoceno a la actualidad, es decir, del periodo Cuaternario (MAGA, 2001).

El volcán de Pacaya se encuentra dentro de la unidad fisiográfica de Pendiente Volcánica del Pacífico. La actividad geológica se asocia a las fallas geológicas paralelas a la zona costera, a lo largo de las laderas del costado sur de la cadena volcánica. Es parte de una zona de historia tectónica reciente (López 2002).

Los suelos del área de influencia se clasifican como suelos de material fluvio-volcánico de reciente elevación media. Según el sistema geomorfológico, la unidad de relieve corresponde a la Cadena Volcánica. Según la distribución de biomas, el área se clasifica como bosque de montaña (Villar, 1998).

El volcán de Pacaya es un volcán activo, que está catalogado como uno de los más activos de Centro América, el cual se caracteriza por la efusión de flujos de lava, emisión de piroclastos y emisión de columnas de gases. Una de las amenazas del volcán de Pacaya son las emanaciones gaseosas, de las cuales no se ha realizado una zonificación de las áreas más susceptibles. Se han registrado erupciones con explosiones y degasificaciones, durante las cuales se han reportado enfermedades bronquiales y pulmonares en los pobladores, y necrosis en las hojas de los árboles y arbustos (INSIVUMEH, 2004).

## **2.1 Otros Estudios**

Se han realizado estudios de deposición ácida en volcanes como el Etna, en Italia, en donde se han reportado valores de pH con carácter ácido. Los valores de pH medidos presentan un rango de 3.80 a 7.22, presentando concentraciones de especies como potasio, calcio, nitratos y sulfatos. Otros estudios han reportado que ciudades como Nápoles, Manila, Tokio y Ciudad de México presentan valores de pH con carácter ácido debido a que se encuentran bajo la influencia de volcanes.

## **2.2 Estudios Previos en el Volcán de Pacaya**

En 2001 y 2002 se realizó un estudio de deposición húmeda y seca en la región del volcán de Pacaya. Durante este estudio se monitorearon cuatro sitios, la aldea El Patrocinio, Aldea Concepción El Cedro, la Estación Inde El Cedro y San Vicente Pacaya. Durante el mismo se reportaron valores de pH con carácter ácido reportando valores de 3.36 para las Aldea El Patrocinio, 3.49 para la aldea Concepción El Cedro, 3.43 para la Estación Inde El Cedro y 3.18 para San Vicente Pacaya como los valores mas bajos de pH para cada uno de los sitios monitoreados. Los meses que presentaron los valores mas bajos de pH durante dicho estudio se reportan como octubre de 2001, mayo, junio agosto y septiembre de 2002.

De los sitios muestreados, la aldea El Patrocinio y San Vicente Pacaya son los que reportan la mayor cantidad de muestras con carácter ácido medidas durante el estudio realizado.

## **3. Justificación**

La calidad del agua es uno de los pilares para la salud de las poblaciones humanas, así como para la conservación de la calidad de los ecosistemas. La calidad del agua superficial y subterránea es afectada por fuentes naturales, además de las antropogénicas, siendo una de las principales causas, en el caso de países con actividad volcánica como Guatemala, la deposición ácida, seca y húmeda, ocasionada por las emanaciones volcánicas.

El presente proyecto permitirá establecer el deterioro en la calidad del agua subterránea y superficial en el área del volcán de Pacaya, así como el grado de acidez de las deposiciones seca y húmeda, provocadas por la actividad del volcán, lo cual servirá de base para evaluar el riesgo de las poblaciones humanas en la región, por el consumo y exposición a dichas fuentes de agua. Esto permitirá también el planteamiento de medidas para la protección de la salud de la población, y el mejoramiento en los planes de emergencia relacionados con la actividad volcánica en el área de estudio.

Es necesario el conocimiento de la línea base en una área amplia para el establecimiento de tendencias en la acidez del agua así como para realizar evaluaciones de necesidades de tratamiento de agua, uso potencial del suelo, y en general, la planificación y toma de decisiones con respecto al desarrollo socioeconómico de las comunidades humanas establecidas en la zona de influencia de la deposición ácida, ya que la acidez es una característica del agua que afecta cualquier infraestructura.

Por otra parte, el estudio de la calidad del agua de la Laguna Calderas, permitirá determinar si existe relación con la actividad volcánica, al medirse los principales iones presentes en la deposición ácida y otras características importantes para la evaluación de la calidad del agua. La Laguna Calderas constituye una importante reserva de agua, que puede satisfacer las necesidades de agua para diferentes usos en la región, por lo que su estudio es importante para la planificación y manejo del recurso hídrico en el largo plazo.

#### **4. Objetivos**

##### **4.1 General:**

Evaluar el grado de acidez en la deposición seca y húmeda, y en fuentes de agua superficiales y subterráneas en la región del volcán de Pacaya.

##### **4.2 Específicos:**

4.2.1 Determinar el pH en la deposición húmeda y seca en 10 sitios de muestreo en la región del volcán de Pacaya.

4.2.2 Determinar la conductividad en las muestras de deposición húmeda y seca colectadas en 10 sitios de muestreo ubicados en la región del volcán de Pacaya.

4.2.3 Determinar la presencia de los iones sodio ( $\text{Na}^+$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ), calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), cloruro ( $\text{Cl}^-$ ), cianuro ( $\text{CN}^-$ ), sulfuro ( $\text{S}^{2-}$ ) y sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), en muestras de deposición húmeda y seca en 10 sitios de muestreo en la región del volcán de Pacaya.

- 4.2.4 Determinar los niveles de los parámetros fisicoquímicos: pH, conductividad, temperatura, oxígeno disuelto (perfiles), sólidos totales y nutrientes (especies de nitrógeno y fósforo) en laguna de Calderas, en cinco muestreos a realizar durante la estación húmeda y seca; y establecer si existen cambios debidos a la influencia de la deposición ocasionada por la actividad del volcán de Pacaya.
- 4.2.5 Determinar la presencia de Coliformes y E. coli en el agua de pozos y de la laguna de Calderas y otras fuentes, y su relación con la presencia de iones inorgánicos y acidez del agua de agua en la región del volcán de Pacaya.
- 4.2.6 Determinar la presencia de enfermedades en especies vegetales en la región del volcán de Pacaya, relacionadas con la acidez en la deposición húmeda y seca.
- 4.2.7 Elaborar un mapa de deposición ácida en la región del volcán de Pacaya.

## **5. Referente teórico**

En la atmósfera existe una gran cantidad de sustancias suspendidas que pueden estar en forma coloidal o en forma de gases, algunas de las cuales pueden resultar dañinas a la salud humana. En regiones cercanas a volcanes activos, se pueden encontrar óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre que provienen de forma natural por la combustión originada durante las erupciones. Estos compuestos al mezclarse con el agua de la atmósfera forman gotas de lluvia o niebla que reaccionan con el material orgánico e inorgánico, lo que puede ocasionar daño a los humanos, como el deterioro de las mucosas. En las plantas pueden deteriorar las hojas y en el suelo pueden causar la disolución del aluminio, el cual puede causar daño a las plantaciones por absorción. En el agua puede causar acidez deteriorando el medio y causando la muerte de la biota.

### **5.1 Origen de la deposición ácida**

La precipitación pluvial transparente normal es ligeramente ácida, con un pH aproximado de 5.6. Esto se debe al equilibrio entre el agua de lluvia y el CO<sub>2</sub> del aire, el cual se disuelve en cantidad suficiente en las gotas para dar una solución diluida de ácido carbónico.

De una manera natural, el dióxido de carbono, al disolverse en el agua de la atmósfera, produce una solución ligeramente ácida que disuelve con facilidad algunos minerales. Sin embargo, esta acidez natural de la lluvia es muy baja en relación con la que le imparten los ácidos fuertes como el sulfúrico y el nítrico, sobre todo a la lluvia que se origina cerca de las zonas volcánicas activas.

Durante la actividad volcánica son liberados al ambiente gases como el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>). Después que el SO<sub>2</sub> y los NO<sub>x</sub> se depositan en la atmósfera se transforman en partículas de sulfato o de nitrato y

más tarde se combinan con vapor de agua transformándose en ácido sulfúrico o nítrico diluidos. Estos ácidos retornan más tarde al suelo en forma de rocío, llovizna, niebla y lluvia.

## **5.2 Fuentes y distribución de la lluvia ácida**

El material contaminante que desciende con la lluvia se conoce como sedimentación húmeda, e incluye partículas y gases barridos del aire por las gotas de lluvia. El material que llega al suelo por gravedad durante los intervalos secos se llama sedimentación seca, e incluye partículas, gases y aerosoles. Los contaminantes pueden ser arrastrados por los vientos predominantes a lo largo de cientos e incluso miles de kilómetros. Este fenómeno se conoce como el transporte de largo alcance de contaminantes aéreos (TLACA).

## **5.3 Efectos de la deposición húmeda y seca**

La preocupación existente por la deposición húmeda y seca tiene relación con los efectos de la acidez, los cuales afectan las poblaciones de peces y otros animales acuáticos, también provocan daños potenciales a cultivos y bosques y se relacionan con el creciente deterioro de los materiales para construcción. Incluso parece probable que las lluvias acidificadas puedan penetrar en las reservas de aguas subterráneas y aumentar la solubilidad de los metales tóxicos.

Las aguas ácidas disuelven también metales como el plomo y el cobre de las tuberías de agua caliente y fría de los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano y otros usos. Los efectos potenciales en el turismo y en los usos recreativos de lagos y ríos también pueden ser afectados debido a los cambios de pH que puedan sufrir.

Los efectos directos de la deposición ácida en la vegetación 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. Además las membranas constituyentes de la estructura interna de la vegetación son atacadas provocando la pérdida de nutrientes.

Los efectos indirectos están relacionados con la acidificación del suelo, lo que produce una reducción de nutrientes y una liberación de sustancias perjudiciales para la vegetación como por ejemplo el aluminio.

La acidificación de las aguas subterráneas se realiza en tres etapas.

1. Primero disminuye la capacidad de los suelos de neutralizar las precipitaciones. Aumentan los niveles de sulfato, calcio y potasio, en las aguas subterráneas, no existiendo ningún otro efecto que altere la calidad del agua. En esta etapa el agua se torna corrosiva y ataca las cañerías.
2. Luego de esta etapa la acción neutralizante del suelo decae aún más y el efecto buffer de las aguas subterráneas comienza a disminuir. Se

nota en esta etapa un aumento en el poder corrosivo sobre metales y concreto.

3. Por último, la capacidad neutralizante del suelo desaparece y los valores de pH descienden con un aumento en las concentraciones de metales en las aguas de los pozos, tornándose aún más corrosivos.

## **6. Metodología**

### **6.1 Ubicación de los sitios de muestreo**

Las estaciones de muestreo utilizadas para la colecta de muestras de deposición húmeda y seca se localizarán en los poblados ubicados en las faldas del volcán Pacaya y en sitios que puedan estar influenciados por los vientos ocurrentes en la región. Estos se localizarán a una altitud entre 1000 y 2,500 msnm alrededor del cono del volcán. Se puede llegar a ellos por medio de carreteras de terracería y carretera asfaltada. Los poblados con mayor población se encuentran en San Vicente Pacaya, Aldea Concepción El Cedro, San Francisco de Sales, Mesillas Altas, Mesillas Bajas, El Patrocinio, El Caracol, Santa Elena Barillas, San Carlos, los cuales no presentan industrias que puedan afectar el área por contaminación antropogénica debida a gases como dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre. Alrededor del volcán se puede observar plantaciones de maíz, frijol y café. Algunos aspectos a considerar en la selección de los sitios de muestreo son: las condiciones del sitio; su fácil acceso, infraestructura y protección contra el vandalismo.

En la laguna de Calderas se establecerán 6 sitios de muestreo. Las muestras de agua se colectarán durante cinco muestreos en el período de un año. Para la selección de los sitios se tomará en cuenta lugares que presenten distinto grado de perturbación antrópica, tomando como base las poblaciones, posibles fuentes de contaminación y el centro del lago.

Las muestras de otras fuentes de agua como ríos y agua de consumo humano se establecerán durante un muestreo de reconocimiento.

### **6.2 Muestreo**

Las muestras de deposición húmeda y seca serán colectadas quincenalmente en 15 sitios de muestreo, en botellas de vidrio de color ámbar de un litro de capacidad y transportadas en recipientes adecuados hasta el laboratorio en donde se realizarán los análisis fisicoquímicos.

Las muestras de agua de la laguna de Calderas, ríos y agua de consumo humano, se muestrearán de acuerdo a los procedimientos estándar de EPA y APHA-AWWA. Las muestras de agua serán colectadas en recipientes plásticos, para el análisis de sustancias inorgánicas. Las botellas serán previamente tratadas con ácidos para eliminar cualquier contaminación de las muestras y las muestras se preservarán en frío, transportándose hasta el laboratorio en hieleras para mantener una temperatura de aproximadamente 4°C, hasta su procesamiento.

Las muestras de agua de profundidad serán extraídas con una botella Van Dorn, y serán almacenadas en botellas de plástico las cuales serán debidamente etiquetadas, y serán transportadas al laboratorio en hieleras a 4°C. Se colectarán muestras de 1 y 2 litros dependiendo del análisis para el cual se destine cada una. La misma metodología se aplicará a las muestras de agua para otros cuerpos de agua y agua de consumo humano, La vegetación en la región del volcán de Pacaya será evaluada en períodos mensuales.

### 6.3 Equipo de muestreo

Este consiste de colectores convencionales, los cuales captan el agua de lluvia junto con los polvos atmosféricos. Consisten de un embudo acoplado a una manguera Tygon, la cual está acoplada a una botella de vidrio ámbar. Este sistema puede estar sostenido por una base de metal o ser ubicado en un soporte. También puede colocarse el embudo directamente sobre la botella como se muestra en la figura 1.

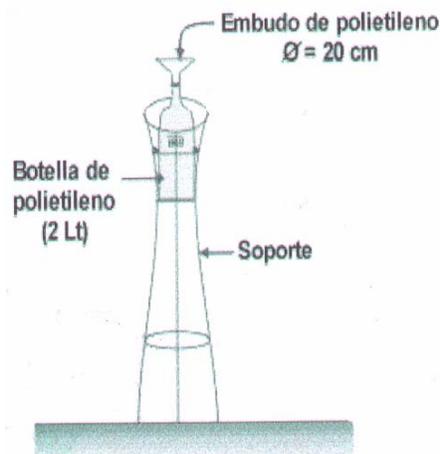


Figura 1. Colector convencional. Sistema de captación de agua de lluvia junto con polvos atmosféricos.

### 6.4 Medición de Parámetros Físicos en el Campo

Muestras de deposición ácida

Las mediciones se realizarán utilizando sensores de campo, se medirá pH, conductividad y temperatura en cada sitio de muestreo.

Muestras de agua de la laguna de Calderas, ríos y agua de consumo humano. Las mediciones se realizarán utilizando sensores de campo, se medirán pH, conductividad, temperatura, oxígeno disuelto, en cada sitio de muestreo. En el caso del oxígeno disuelto se determinarán los perfiles de profundidad con un oxímetro de sonda e 25 metros de largo. Se medirá la transparencia utilizando un disco de Secchi y la profundidad. Todos los sitios se registrarán por medio de un sistema posicionamiento geográfico (GPS).

## **6.5 Análisis de nitrógeno y fósforo y otros parámetros fisicoquímicos en el laboratorio**

Se analizarán los niveles de nitrógeno total, nitrógeno de amonio, de nitratos y de nitritos, de fósforo total y de o-fosfatos, según metodología de la APHA y AWWA (1992). Los compuestos de interés son hechos reaccionar con reactivos específicos para formar compuestos con coloración, para luego ser analizados por Espectrofotometría visible. Debido al tiempo que transcurrirá entre la toma de las muestras y su análisis de laboratorio, las muestras serán preservadas siguiendo procedimientos de APHA y AWWA (1992).

## **6.6 Medición de sólidos:**

Se medirán los sólidos totales, sólidos disueltos, sólidos sedimentables y sólidos en suspensión en las muestras de agua de la laguna de Calderas y de ríos a muestrear. Los procedimientos a utilizar son los recomendados por la APHA y AWWA en el Standard Methods (1992).

## **6.7 Análisis de iones específicos en muestras de agua:**

Los siguientes iones específicos serán analizados por potenciometría selectiva de iones, según procedimientos establecidos por la Agencia Ambiental de los Estados Unidos, en que se obtienen curvas de calibración de potencial contra concentración del ión presente, para cada ión es necesario un electrodo específico:

Amonio, cloruros, cianuros, fluoruros, nitrato, potasio, sodio, sulfuro

Análisis de calcio y magnesio:

La medición de los iones calcio y magnesio se realizará por medio de absorción atómica.

## **6.8 Grupo coliforme**

El grupo coliforme consiste de varios géneros de bacterias que pertenecen a la familia Enterobacteriaceae. La definición histórica de este grupo ha estado basada en el método usado para detección (fermentación de la lactosa) y no en los principios de bacteriología sistemática. Por ende, cuando se usa la técnica de fermentación, este grupo se define como todo anaerobio facultativo, Gram negativo, no esporoformador, bacterias en forma de bacilo que fermentan la lactosa con formación de ácido y gas en 48 h a 35°C.

La prueba estándar para el grupo coliforme se puede llevar a cabo por la técnica de fermentación del tubo múltiple, por el procedimiento de presencia-ausencia descrito aquí (a través de las fases presuntiva, confirmativa o prueba final), o por la prueba de coliformes por sustrato enzimático. Cada técnica es aplicable dentro de las limitaciones especificadas y con las debidas consideraciones del propósito del análisis. La generación de resultados válidos requiere estricto apego a los procedimientos de control de calidad.

Cuando se usa tubos múltiples en la técnica de fermentación, los resultados del análisis de la replica de tubos y diluciones se reportan en términos de número más probable (NMP) de organismos presentes. Este número, basado en determinadas fórmulas de probabilidad, es un estimado de la densidad promedio de coliformes en la muestra. La densidad de los coliformes, junto con otra información obtenida por estudios de ingeniería o sanitarios proporciona la mejor evaluación de la efectividad del tratamiento de agua y la calidad sanitaria de la fuente de agua.

La precisión de cada prueba depende del número de tubos usados. La información más satisfactoria, se puede obtener cuando el mayor inóculo de muestra examinado presenta gas en algunos o todos los tubos y el menor inóculo de muestra no presenta gas en todos o la mayoría de los tubos. La densidad bacteriana puede ser estimada a partir de la tabla, usando el número de los tubos positivos en las diluciones múltiples. El número de porciones de muestra seleccionada debe ser determinado por la precisión deseada del resultado (APHA, 1996).

### **6.9 Agua de Calidad diferente del agua potable**

En el análisis de aguas no potables, inocule una serie de tubos con diluciones decimales apropiadas (múltiplos y submúltiplos de 10mL), basado en la densidad probable de coliformes. Utilice la fase presuntiva - confirmativa del procedimiento de tubos múltiples. Utilice la prueba más laboriosa como una medida de control de calidad en al menos 10% de muestras de agua no potable positivas a coliformes, trimestralmente. El objetivo de analizar el agua no potable normalmente es para estimar la densidad de la contaminación bacteriana, determinar una fuente de contaminación, reforzar estándares de calidad del agua o rastrear la supervivencia de los microorganismos. La técnica de fermentación de tubos múltiples puede ser usada para obtener estimados estadísticamente válidos del NMP, de la densidad de coliformes.

### **6.10 Coliformes fecales<sup>1</sup>**

La prueba de coliformes fecales (usando medio EC) es aplicable a investigaciones de agua potable, corrientes contaminadas, fuentes de agua sin tratamiento, sistemas de tratamiento de aguas residuales, aguas recreacionales, agua de mar y monitoreo de calidad del agua en general. Se requiere un enriquecimiento previo en medio presuntivo para la recuperación óptima de coliformes fecales al utilizar medio EC.

### **6.11 Escherichia coli**

*Escherichia coli* es un miembro del grupo de bacterias coliformes fecales. La presencia de este organismo en agua indica contaminación fecal. Se han desarrollado ensayos enzimáticos que permiten la identificación de este organismo. En este método las bacterias *E.coli* se definen como bacterias coliformes que poseen la enzima  $\beta$ -glucuronidasa, y son capaces de degradar el sustrato fluorogénico 4-metilumbeliferil- $\beta$ -D-glucuronido (MUG), con la

---

<sup>1</sup> Los coliformes fecales también se conocen como coliformes termotolerantes o termoresistentes.

correspondiente liberación de fluorogeno cuando crece en medio EC-MUG a 44.5°C en 24 ± 2 horas o menos. El procedimiento es usado como una prueba confirmativa después de un enriquecimiento previo en un medio presuntivo para bacterias coliformes totales. Este análisis es realizado como un procedimiento en tubo.

Las pruebas para *E.coli* (usando medio EC-MUG) son aplicables para análisis de agua potable, agua superficial, subterránea y aguas residuales. *E.coli* es un miembro de la microbiota fecal natural de los animales de sangre caliente. La incidencia de *E.coli* es considerada como un indicador específico de contaminación fecal y la posible presencia de patógenos entéricos.

### **6.12 Colifagos**

Son los virus que parasitan a la bacteria *E. coli* causando un rompimiento o lisis de la bacteria. Algunos virus son más resistentes a la desinfección que los organismos coniformes, por lo que los indicadores tradicionales de contaminación bacteriana no evalúan de manera eficiente la presencia o ausencia de virus en agua. Los colifagos se desarrollan directamente con su huésped bacteriano específico *E. coli* son buenos indicadores de la presencia de este microorganismo en una muestra (Espejo, 1973). Cuando las condiciones ambientales son desfavorables, los coliformes fecales no son buenos indicadores de contaminación fecal, ya que desaparecen rápidamente.

### **6.13 Fitoplancton**

Es el plancton de origen vegetal. Son organismos adaptados a vivir en suspensión, en el mar o en agua dulce, y con un movimiento pasivo generado por la acción del viento y la corriente. Incluye especímenes tanto de algas como de bacterias. De éstos los más representativos son las algas. Estas no tienen capacidad de movimiento pero algunas poseen cierto poder de locomoción, desplazándose mediante flagelos y otros mecanismos. Este está restringido a las aguas de tipo léntico y grandes ríos (Ramírez, 2000).

### **6.14 Trifoliar**

Se editará un trifoliar el cual se distribuirá en las diferentes comunidades de la región y a autoridades de la misma. En el trifoliar se informará sobre las actividades del proyecto y la situación de la susceptibilidad a la deposición ácida y la calidad del agua de la laguna de Calderas y del agua de consumo, y algunas recomendaciones a seguir en caso de fuertes emanaciones de gases tóxicos.

### **6.15 Evaluación de resultados**

La evaluación estadística de los resultados implica el análisis de varianza de una vía para establecer diferencias significativas en la acidez del agua entre sitios de muestreo, y el análisis de regresión para evaluar la variación del nivel de acidez, con la distancia a partir del cráter del volcán de Pacaya.

## **6.16 Técnicas a utilizar en el proceso de la investigación:**

### **6.16.1 Muestreo**

Se realizarán muestreos quincenales de deposición húmeda y seca en sitios ubicados en poblaciones en las faldas del volcán. Se muestrearan fuentes de agua superficiales y subterráneas con frecuencia quincenal.

### **6.16.2 Análisis de datos**

Los análisis se realizarán por triplicado y se aplicará a los resultados un análisis de varianza de una vía. Se realizará un análisis de regresión para determinar la variación de la acidez con la distancia. Se compararán los resultados de sitios de muestreo en la región del volcán de Pacaya con los obtenidos en regiones no afectadas por actividad volcánica (áreas no contaminadas de la ciudad de Guatemala).

### **6.16.3 Interpretación de los datos**

Los datos serán interpretados de acuerdo con la evaluación estadística de los resultados, aplicando criterios de análisis de varianza de una vía.

### **6.16.4 Instrumentos**

#### **6.16.4.1 Potenciometría**

Mide el potencial de un sistema electroquímico en equilibrio para determinar la concentración de algunas sustancias. Este es el método utilizado para medir el pH, que es la concentración de iones hidronio en las muestras de agua (Rubinson, 2000).

##### **6.16.4.1.1 Potenciometría selectiva de iones**

La aplicación más conocida de las potenciometrías directas es la utilización de lo que se conoce con el nombre de Electroodos Selectivos de Iones (ISE). Podemos decir que un electrodo selectivo de iones, consiste en una membrana que responde más o menos selectivamente a un ion determinado, y que está en contacto, por una parte, con la disolución del ion a determinar, y por otra, generalmente, con una disolución del mismo ion a una actividad fija, la cual está a su vez en contacto con un electrodo de referencia apropiado.

La modificación del transporte de materia debido a la presencia de la membrana puede dar lugar a diferencias de potencial electrostático, estos potenciales de membrana son función de la composición de las disoluciones y pueden por tanto relacionarse con las actividades de los iones de las mismas.

Una de las principales ventajas de este tipo de electrodos es que pueden construirse, en principio, para cualquier especie iónica, aunque las dificultades de la obtención de un electrodo específico provienen de las técnicas que se necesitan para su preparación. Constituyen una herramienta importante para la determinación de iones, debido a la capacidad que tienen para obtener selectiva y de forma continua la actividad de un ion en disolución.

Los electrodos selectivos de iones, se pueden clasificar de acuerdo con el estado físico de la sustancia (compuesto electroactivo) que forma la membrana del electrodo, en:

- a) Electrodo selectivo de iones de membrana sólida.
- b) De membrana homogénea, monocristal de una sustancia muy insoluble como el  $\text{LaF}_3$  (electrodo selectivo de ion  $\text{F}^-$ ) o de vidrio (utilizado en la medida de pH).
- c) De membrana heterogénea o de membrana precipitada, la muestra en este caso se forma cuando una sustancia activa o mezcla de sustancias, se incorporan a un material inerte.
- d) Electrodos selectivos de iones de membrana líquida, en estos electrodos, un soporte inerte saturado con una especie iónica, o no cargada, separa una fase acuosa de otra no acuosa.
- e) Electrodos selectivos de iones especiales
- f) Para gases
- g) Enzimáticos

En general, podemos decir que los electrodos de membrana tienen en común:

- a) Se basan en el establecimiento de una diferencia de potencial entre las dos caras de la membrana que separa dos disoluciones de concentración diferente de la especie a determinar. Una de estas disoluciones es de concentración conocida, determinándose la de la otra por diferencia de potencial.
- b) La diferencia de potencial establecida tiene como principal componente el cambio de energía libre asociada a la transferencia de masa a través de la membrana. Son fundamentalmente distintas a los electrodos que implican transferencia electrónica.
- c) Todos ellos cumplen la Ley de Nernst.

#### **6.16.4.2 Absorción atómica**

Esta técnica es de utilidad para el análisis de metales, hierro, manganeso, cobre y zinc. Es una técnica de determinación unielemental. Con ella es posible obtener precisiones superiores a  $\pm 1\%$  (Rubinson, 2000).

#### **6.16.4.3 Conductimetría**

Esta técnica es útil para medir la conductividad de las disoluciones, la cual depende del tipo de electrolitos presentes y de sus concentraciones. La conducción de la corriente eléctrica a través de la disolución se realiza por medio del movimiento de los iones en la disolución (Rubinson, 2000).

#### **6.16.4.4 Gravimetría**

Servirá para la medición de sólidos totales disueltos en las muestras de lluvia y deposición ácida. Se utilizaron los procedimientos APHA-AWWA (1992).

## **6.17 Técnica Estándar de Fermentación para Coliformes Totales**

### **6.17.1 Fase presuntiva**

Use caldo lauril-triptosa en la fase presuntiva de la prueba de tubos múltiples. Si el medio ha sido refrigerado después de la esterilización, incube durante la noche a temperatura ambiente (20°C) antes de usar. Descarte los tubos que muestren crecimiento y/o burbujas.

#### **6.17.1.1 Reactivos y Medio de cultivo:**

##### **6.17.1.1.1 Caldo lauril-triptosa:**

Añada los ingredientes deshidratados al agua, mezcle completamente y caliente para disolver. El pH debe ser  $6.8 \pm 0.2$  después de la esterilización. Antes de la esterilización, dispense suficiente medio en los tubos de fermentación para cubrir la campana de Durham por lo menos de la mitad a dos terceras partes después de la esterilización. Alternativamente omita la campana de Durham y añada 0.01g/L de púrpura de bromocresol al medio presuntivo para determinar la producción de ácido, que es el indicador de un resultado positivo en esta parte de la prueba de coliformes. Cierre los tubos con tapas de metal o de plástico resistente al calor.

Prepare el caldo lauril-triptosa a tal concentración, que al añadir porciones de 10 mL de muestra al medio, se mantengan las concentraciones de los ingredientes iguales a las del medio estándar.

##### **6.17.1.1.2 Procedimiento:**

Ordene en una gradilla los tubos de fermentación en filas de 5 ó 10 tubos cada una. El número de filas y volumen de muestra seleccionada, depende de la calidad y la naturaleza del agua a ser examinada. Para agua potable utilice cinco porciones de 20 mL, diez porciones de 10 mL o una sola frasco de una porción de 100 mL; para agua no potable utilice cinco tubos por dilución (de 10, 1.0 y 0.1 mL, etc.).

Agite la muestra y las diluciones vigorosamente 25 veces aproximadamente. Inocule la serie de cinco tubos, con réplicas del volumen de muestra. Mezcle con agitación suave las porciones de prueba en el medio.

Incube los tubos o frascos inoculados a  $35 \pm 0.5^\circ\text{C}$ . Después de  $24 \pm 2$  h mueva suavemente en forma circular cada tubo o frasco y examine para crecimiento, gas, y reacción ácida (tonos de color amarillo); si el gas o reacción ácida no son evidentes, vuelva a incubar y examine al final de  $48 \pm 3$  h. Registre la presencia o ausencia de crecimiento, gas y producción de ácido.

### **6.17.1.1.3 Interpretación:**

La producción de una reacción ácida o gas en los tubos o frascos, dentro de  $48 \pm 3$  h constituye una reacción presuntiva positiva. Someta los tubos con una reacción presuntiva positiva a la fase confirmativa.

La ausencia de reacción ácida o de formación de gas al final de  $48 \pm 3$  h de incubación, constituye una prueba negativa. (APHA, 1996).

### **6.17.2 Fase confirmativa**

#### **6.17.2.1 Medio de cultivo**

Use tubos de fermentación de caldo bilis lactosa verde brillante (BVB) para la fase confirmativa.

##### **6.17.2.1.1 Caldo bilis lactosa verde brillante (BVB)**

Añada los ingredientes deshidratados al agua, mezcle completamente y caliente para disolver. Después de la esterilización, el pH debe ser  $7.2 \pm 0.2$ . Antes de la esterilización, dispense en tubos de fermentación con una campana de Durham, con suficiente medio para cubrirla al menos un medio ó dos tercios después de la esterilización. Cierre los tubos con tapón de metal o de plástico resistente al calor.

##### **6.17.2.1.2 Procedimiento:**

Someta a la fase confirmativa todos los tubos o frascos presuntivos que muestren crecimiento, cualquier cantidad de gas o reacción ácida, dentro de  $24 \pm 2$  h de incubación. Si aparece fermentación activa o reacción ácida en los tubos presuntivos más temprano de las  $24 \pm 2$  h, transfiera a medio confirmativo: de preferencia examine los tubos a las  $18 \pm 1$  h. Si tubos o frascos presuntivos adicionales muestran fermentación activa o reacción ácida al final de un periodo de incubación de  $48 \pm 3$  h, someta éstos a la fase confirmativa.

Para suspender los organismos agite suavemente o rote los tubos o frascos presuntivos que muestren gas o crecimiento con ácido. Con un asa estéril de 3.0 a 3.5 mm de diámetro, transfiera una o más asadas de cultivo a un tubo de fermentación conteniendo caldo BVB o inserte un palillo de madera largo al menos 2.5 cm dentro del cultivo, retire rápidamente y sumerja el palillo en el fondo de un tubo de fermentación conteniendo caldo BVB. Retire y descarte el palillo. Repita para todos los otros tubos presuntivos positivos.

Incube los tubos inoculados de caldo BVB a  $35 \pm 0.5^\circ\text{C}$ . La formación de gas en cualquier cantidad en el vial invertido de los tubos de fermentación de caldo BVB a cualquier tiempo (por ejemplo  $6 \pm 1$  h,  $24 \pm 2$  h) dentro de  $48 \pm 3$  h constituye una fase confirmativa positiva. Calcule el valor de NMP del número de tubos positivos de BVB (APHA, 1996).

### **6.17.3 Fase Final:**

Para establecer la presencia de bacterias coliformes y proporcionar datos de control de calidad use la prueba final al menos en 10% de los tubos positivos confirmados). Se puede usar inoculación simultánea en caldo BVB para coliformes totales y caldo EC-MUG para E. coli. Considere los resultados positivos de caldo EC-MUG a elevadas temperaturas (44.5°C) como una respuesta positiva a la prueba final. Paralelamente los cultivos positivos de caldo BVB con cultivo de caldo EC-MUG negativos, indican la presencia de coliformes no fecales.

#### **6.17.3.1 Medios de cultivos y reactivos:**

Agar LES Endo: .

Agar MacConkey:

Agar Nutritivo:

Reactivos de Coloración Gram:

- a) Cristal violeta - oxalato de amonio (Hucker's): .
- b) Solución de Lugol modificación de Gram
- c).Safranina
- d) Alcohol acetona

#### **6.17.3.2 Procedimiento:**

Tan pronto como sea posible después de la observación de gas en caldo BVB y usando una técnica aséptica, raye de cada tubo, una placa de agar LES Endo. Raye las placas a manera de asegurar la presencia de algunas colonias discretas separadas al menos 0.5 cm.

Incube las placas (invertidas) a  $35 \pm 0.5^\circ\text{C}$  por  $24 \pm 2$  h.

Después de 24 h de incubación, las colonias desarrolladas en agar Endo son definidas como típicas (rosadas o rojo oscuro con brillo verde metálico en la superficie) o atípicas (colonia rosada, roja, blanca o incoloras sin brillo). De cada placa, pique una o más colonias típicas bien aisladas de coliformes o, si no hay colonias típicas presentes, pique dos o más colonias que más se parezcan al grupo coliforme, y transfiera el crecimiento de cada colonia aislada a un tubo de fermentación de caldo lauril triptosa concentración simple y a un tubo con agar nutritivo inclinado.

Cuando se pican las colonias de placas de agar Endo, si es necesario, use una lupa para proporcionar un aumento óptimo. Cuando se transfieren colonias bien aisladas.

Incube los tubos de caldo secundario (caldo lauril triptosa con campana de Durham invertida) a  $35 \pm 0.5^\circ\text{C}$  por  $24 \pm 2$  h; si no se produce gas dentro de  $24 \pm 2$  h, incube de nuevo y examine a las  $48 \pm 3$  h. Examine microscópicamente las preparaciones de la coloración Gram de aquellos cultivos de 24 h en agar nutritivo, correspondientes a los tubos secundarios que muestran gas.

### **6.17.3.3 Técnica de coloración Gram:**

Prepare suspensiones separadas y ligeras, del crecimiento bacteriano y cultivos de controles positivos y negativos en la misma lámina usando gotas de agua destilada. Seque la preparación al aire y fijela pasando la lámina a través de la llama. Tiña por un minuto con solución cristal violeta - oxalato de amonio. Lave la lámina con agua de chorro y seque el exceso; aplique solución de Lugol por un minuto.

Lave la lámina teñida con agua de chorro. Decolore por aproximadamente 15 a 30 s con alcohol acetona tomando la lámina entre los dedos y dejando el alcohol acetona correr a través del frote teñido hasta que el solvente fluya incoloro. No decolore en exceso. Tiña con safranina por 15 s, lave con agua de chorro, seque la preparación con papel absorbente o al aire y examine microscópicamente. Los organismos Gram positivo son azules; los organismos Gram negativo son rojos. Los resultados son aceptables sólo cuando los controles han dado las reacciones apropiadas (APHA, 1996).

### **6.17.3.4 Interpretación:**

La formación de gas en los tubos secundarios de caldo lauril triptosa dentro de  $48 \pm 3$  h y la demostración de bacilos Gram negativo, no esporoformadores, del cultivo de agar nutritivo, constituye un resultado positivo para la prueba final, demostrando la presencia de un miembro del grupo coniforme.

#### **6.17.3.4.1 Prueba de Coliformes Fecales (medio EC)**

La prueba de coliformes fecales se usa para distinguir aquellos organismos coliformes fecales del resto de los coliformes totales. Use medio EC; para una prueba más rápida de la calidad de agua de mariscos, aguas residuales tratadas o fuentes de agua, use medio A-1 para una prueba directa.

#### **6.17.3.4.2 Medio EC:**

Añada los ingredientes deshidratados al agua, mezcle completamente y caliente para disolver. Después de la esterilización, el pH debe ser  $6.9 \pm 0.2$ . Antes de esterilizar, dispense en tubos de fermentación, cada uno con una campana de Durham, con suficiente medio para cubrirla al menos parcialmente después de la esterilización. Cierre los tubos con tapones de metal o de plástico resistente al calor.

#### **6.17.3.4.3 Procedimiento**

Realice la prueba de coliformes fecales a todos los tubos o frascos de fermentación presuntiva que muestren presencia de gas, crecimiento o acidez dentro de 48 h de incubación.

Agite o rote suavemente los tubos o frascos de fermentación presuntiva que muestren gas, crecimiento o acidez. Transfiera crecimiento de cada tubo o

frasco de fermentación presuntiva a caldo EC, usando un asa estéril de 3 o 3.5 mm de diámetro o un palillo estéril.

Incube los tubos de caldo EC inoculados en baño de agua (baño María) a  $44.5 \pm 0.2^\circ\text{C}$  por  $24 \pm 2$  h. Coloque todos los tubos de EC en baño de agua dentro de los 30 min después de la inoculación. Mantenga un volumen suficiente de agua en el baño para que, al sumergir los tubos, el agua sobrepase el nivel del medio (APHA, 1996).

#### **6.17.3.4 Interpretación:**

La producción de gas con crecimiento en un cultivo de caldo EC, dentro de  $24 \pm 2$  h o menos, se considera una reacción positiva de coliformes fecales. La ausencia de producción de gas (con poco o ningún crecimiento) constituye una reacción negativa. Si se usaron tubos múltiples, calcule el NMP del número de tubos de caldo EC positivos.

#### **6.17.3.5 Prueba de Escherichia coli (medio EC-MUG)**

Utilice medio EC-MUG para la confirmación de E.coli

##### **6.17.3.5.1 Medio EC-MUG:**

Añada los ingredientes deshidratados al agua, mezcle completamente y caliente para disolver. Después de la esterilización, el pH debe ser  $6.9 \pm 0.2$ . Antes de esterilizar, dispense en tubos que no fluorescan en la longitud de onda (366 nm) de luz ultravioleta (UV). No es necesario utilizar una campana de Durham. Cierre los tubos con tapones de metal o plástico resistente al calor.

##### **6.17.3.5.2 Procedimiento**

Someta al análisis de E. coli todos los tubos o frascos de fermentación presuntivos que muestren crecimiento, gas o acidez, en  $48 \pm 3$  h de incubación.

Agite o rote suavemente los tubos o frascos de fermentación presuntivos que muestren crecimiento, gas o acidez. Transfiera el crecimiento del tubo o frasco de fermentación presuntiva a caldo EC-MUG, utilizando un asa de metal estéril, de 3 ó 3.5 mm de diámetro, o un palillo estéril de madera.

Incube los tubos de EC-MUG inoculados, en un baño de agua o incubadora mantenida a  $44.5 \pm 0.2^\circ\text{C}$  por  $24 \pm 2$  horas. Coloque todos los tubos de EC-MUG en el baño de agua dentro de los 30 minutos después de la inoculación. Mantenga suficiente volumen de agua, para sumergir los tubos hasta alcanzar el nivel del medio.

##### **6.17.3.5.3 Interpretación**

Examine para fluorescencia todos los tubos que muestren crecimiento, usando una lámpara con longitud de onda UV (preferiblemente 6 W). La presencia de

una fluorescencia azul brillante es considerada una respuesta positiva para E.coli.

#### **6.17.4 Determinación y enumeración de Colifagos**

##### **6.17.4.1 Materiales**

Cajas Petri 15 x 150 mm  
Asa bacteriológica no calibrada  
Papel Parafilm  
Agitadores magnéticos  
Filtros de membrana de polisulfona "Acrodisc" para jeringa, con un poro de 0.22  $\mu\text{m}$  de diámetro (PALL).  
Jeringas plásticas de 10 ml  
Frascos plásticos de 100 y 500 ml

##### **6.17.4.2 Reactivos**

Agua destilada estéril  
Alcohol etílico  
Caldo Trypticase Soya (BBL)  
Agar tripticase Soya (BBL)  
Agar nutritivo (BBL)  
Buffer Tris (ph de 7.4)  
Cloruro de Magnesio  
Cloruro de Sodio

##### **6.17.4.3 Equipo**

Estufa con agitador magnético  
Incubadora 35-37° C  
Balanza semi analítica  
Autoclave  
Campana bacteriológica  
Refrigeradora  
Pipetor eléctrico  
Agitador vortex  
Baño de María  
Mechero tipo Bunsen (Vossberg, 2003)

##### **6.17.4.4 Controles**

Escherichia coli ATCC 15597, célula hospedera en el análisis de Determinación y Enumeración de colifagos.  
Colifago MS2, como control positivo en el proceso de estandarización de la técnica de Determinación y enumeración de colifagos.

#### **6.17.4.5 Metodología para Colifagos**

##### **6.17.4.5.1 Previo al análisis**

Inocular una o dos colonias de E. coli ATCC 15597 en 50 ml de caldo Trypticase Soya

Incubar durante 2 horas a 37°C con agitación.

##### **6.17.4.5.2 Análisis.**

Tome con una jeringa una alícuota de cada muestra de agua y filtrar a través de un filtro Acrodisc de polisulfona con un poro de 0.2 µm de diámetro. De la muestra filtrada hacer dos diluciones seriadas en buffer Tris a ph 7.4 y mantener en refrigeración.

Licúe 3 tubos de agar Trypticase Soya (3.5 ml por tubo) y colocar en baño de María a 48°C durante 15 minutos hasta que la temperatura del agar se ajuste a 48°C

Agregue al primer tubo 1 ml de caldo nutritivo de E. coli ATCC 15597 y 1 ml de la muestra filtrada no diluida.

Mezclar durante 2 a 3 segundos y verter en una caja de Petri con agar Trypticase Soya de fondo.

Rote la caja para difundir la mezcla en toda la superficie y dejar solidificar.

Repita el procedimiento para cada dilución.

Incube las cajas a 37°C durante 24 horas.

Cuente la Unidades Formadores de Placa (UFP), que son halos de inhibición del crecimiento de la bacteria en la caja que van de 2 a 4 milímetros, multiplicar por el factor de dilución y se obtiene la cantidad de fagos en la muestra original (Florián, 2003).

#### **6.17.5 Conteo de fitoplancton**

Las muestras para cuantificar el fitoplancton se obtiene filtrando 100 L a través de una red de plancton, en los puntos de muestreo seleccionados. Se muestreará la superficie. Se utilizará formalina y lugol para preservar las muestras. En el laboratorio se observarán alícuotas de 1 mL y 0.1 mL de las muestras con la ayuda de una placa de vidrio de Sedwick-Rafter Chamber. Se contarán e identificarán con la ayuda del microscopio y claves dicotómicas diseñadas para la identificación. (APHA, 1996).

## 7. Resultados y discusión de resultados

### 7.1 Región del Volcán de Pacaya

#### 7.1.1 Deposición húmeda y seca en San Vicente Pacaya

<b>Botella no.</b>	<b>Fecha</b>	<b>Volumen</b>	<b>pH</b>	<b>Cond. (uS/cm)</b>	<b>TDS</b>
5	17/03/2006	162 ml	7.00	13.6	14.3
10	01/03/2006	190 ml	6.84	5.9	7.0
20	03/04/2006	0 ml	8.70	10.5	11.0
30	05/05/2006	660 ml	6.43	72.0	75.6
39	19/05/2006	1140 ml	4.54	18.9	19.8
50	01/06/2006	1200 ml	4.52	34.0	23.0
60	22/06/2006	1200 ml	4.78	47.0	33.0
70	13/07/2006	960 ml	6.97	51.1	55.0
80	28/07/2006	940 ml	6.78	86.6	89.0
90	18/08/2006	800 ml	6.59	125.3	115.0
102	31/08/2006	1000 ml	5.73	57.8	55.0
110	13/09/2006	920 ml	6.66	12.0	11.0
120	28/09/2006	550 ml	7.47	17.2	18.0
130	12/10/2006	610 ml	6.56	10.8	11.0
141		200 ml	7.38	1.3	1.0

Fuente: Datos experimentales

#### 7.1.2 Deposición húmeda y seca en aldea El Patrocinio

<b>Botella no.</b>	<b>Fecha</b>	<b>Volumen</b>	<b>pH</b>	<b>Redox (mV)</b>	<b>Cond. (uS/cm)</b>	<b>TDS</b>
1	17/03/2006	190 ml	8.03	-68.0	13.5	14.2
11	01/03/2006	188 ml	8.42	-82.4	9.8	11.0
21	03/04/2006	430 ml	6.62	22.8	49.1	51.6
31	05/05/2006	540 ml	7.80	-53.2	19.8	20.8
40	19/05/2006	1140 ml	4.07	158.6	23.1	24.2
51	01/06/2006	1200 ml	4.44	136.8	49.0	35.0
61	22/06/2006	1200 ml	4.56	130.8	77.0	53.0
71	13/07/2006	1100 ml	6.92	-3.7	10.2	11.0
81	28/07/2006	760 ml	6.94	-4.4	23.4	24.0
91	18/08/2006	1000 ml	6.03	47.2	15.2	14.0
100	31/08/2006	1200 ml	4.93	109.2	57.3	54.0
111	13/09/2006	1000 ml	4.21	147.5	20.6	20.0
121	28/09/2006	720 ml	7.46	-33.7	3.4	4.0
131	12/10/2006	910 ml	5.51	76.0	7.8	8.0
141		200 ml	7.38	-12.3	1.3	1.0

Fuente: Datos experimentales

### 7.1.3 Deposición húmeda y seca en la aldea Los Ríos

<b>Botella no.</b>	<b>Fecha</b>	<b>Volumen</b>	<b>pH</b>	<b>Redox (mV)</b>	<b>Cond. (uS/cm)</b>	<b>TDS</b>
2	17/03/2006	168 ml	7.48	-35.0	24.3	25.5
12	01/03/2006	580 ml	6.77	13.5	207.0	222.0
22	03/04/2006	0 ml				
41	05/05/2006	940 ml	5.93	53.2	20.0	21.0
42	19/05/2006	232 ml	6.26	34.2	19.8	20.8
52	01/06/2006	1200 ml	9.14	-129.1	3220.0	3400.0
62	22/06/2006	1200 ml	5.17	95.6	38.0	27.0
72	13/07/2006	900 ml	7.24	-21.5	48.8	52.0
82	28/07/2006	780 ml	8.78	-109.4	1696.0	1741.0
92	18/08/2006	1000 ml	7.82	-54.7	142.7	132.0
101	31/08/2006	1200 ml	6.13	41.2	47.5	46.0
112	13/09/2006	1000 ml	6.40	25.7	76.5	73.0
122	28/09/2006	690 ml	6.61	13.9	16.7	17.0
132	12/10/2006	620 ml	8.39	-86.7	1393.0	1395.0
141		200 ml	7.38	-12.3	1.3	1.0

Fuente: Datos experimentales

### 7.1.4 Deposición húmeda y seca en la aldea Concepción El Cedro.

<b>Botella no.</b>	<b>Fecha</b>	<b>Volumen</b>	<b>pH</b>	<b>Redox (mV)</b>	<b>Cond. (uS/cm)</b>	<b>TDS</b>
3	17/03/2006	102 ml	7.14	-16.0	8.4	8.8
13	01/03/2006	124 ml	6.97	7.0	97.1	104.0
23	03/04/2006	148 ml	7.02	-9.1	107.4	112.8
32	05/05/2006	590 ml	6.62	13.4	18.2	19.1
43	19/05/2006	1140 ml	4.50	134.8	23.1	24.2
53	01/06/2006	1200 ml	5.79	61.1	60.4	43.0
63	22/06/2006	1200 ml	4.14	154.5	80.0	55.0
73	13/07/2006	1000 ml	5.53	75.5	14.9	16.0
83	28/07/2006	910 ml	6.37	27.9	14.4	15.0
93	18/08/2006	930 ml	4.89	111.8	19.3	17.0
103	31/08/2006	1000 ml	5.67	67.4	22.5	21.0
113	13/09/2006	1000 ml	6.17	38.7	17.5	17.0
123	28/09/2006	510 ml	6.97	-6.5	5.3	6.0
133	12/10/2006	870 ml	6.83	1.6	14.7	14.0
141		200 ml	7.38	-12.3	1.3	1.0

Fuente: Datos experimentales

### 7.1.5 Deposición húmeda y seca en la Estación INDE El Cedro

<b>Botella no.</b>	<b>Fecha</b>	<b>Volumen</b>	<b>pH</b>	<b>Redox (mV)</b>	<b>Cond. (uS/cm)</b>	<b>TDS</b>
4	17/03/2006	76 ml	6.90	-2.0	37.8	39.7
14	01/03/2006	4.9 ml	7.37	-22.1	126.0	237.0
24	03/04/2006	120 ml	6.68	18.3	2100.0	Fuera Rango
33	05/05/2006	620 ml	6.59	15.5	18.8	19.7
44	19/05/2006	1140 ml	3.85	171.3	63.7	66.9
54	01/06/2006	1200 ml	4.12	155.0	109.0	76.0
64	22/06/2006	1200 ml	3.83	172.2	128.0	90.0
74	13/07/2006	780 ml	6.41	25.3	117.1	121.0
84	28/07/2006	770 ml	7.65	-44.9	19.7	20.0
94	18/08/2006	660 ml	8.69	-103.7	18.9	17.0
104	31/08/2006	690 ml	6.43	24.4	20.3	19.0
114	13/09/2006	940 ml	6.23	35.3	21.7	21.0
124	28/09/2006	430 ml	7.09	-13.2	3.1	3.0
134	12/10/2006	670 ml	6.47	21.7	6.1	6.0
141		200 ml	7.38	-12.3	1.3	1.0

Fuente: Datos experimentales

### 7.1.6 Deposición húmeda y seca en el Parque Nacional Volcán de Pacaya.

<b>Botella no.</b>	<b>Fecha</b>	<b>Volumen</b>	<b>pH</b>	<b>Redox (mV)</b>	<b>Cond. (uS/cm)</b>	<b>TDS</b>
6	17/03/2006	92 ml	6.53	20.0	30.0	31.5
15	01/03/2006	106 ml	7.31	-17.8	42.4	45.0
25	03/04/2006	258 ml	7.09	-13.4	35.4	37.2
34	05/05/2006	450 ml	6.61	14.4	14.1	14.8
45	19/05/2006	1140 ml	3.80	174.3	46.4	48.7
55	01/06/2006	1200 ml	4.42	138.0	44.0	30.0
65	22/06/2006	1200 ml	3.98	163.2	78.0	53.0
75	13/07/2006	820 ml	5.96	50.9	15.7	17.0
85	28/07/2006	1000 ml	8.22	-77.5	14.0	15.0
95	18/08/2006	1000 ml	7.98	-63.6	25.0	25.0
105	31/08/2006	1000 ml	6.21	36.7	28.4	27.0
115	13/09/2006	1000 ml	6.12	41.7	54.1	51.0
125	28/09/2006	620 ml	7.23	-21.0	1.5	2.0
135	12/10/2006	710 ml	6.32	30.4	7.1	7.0
141		200 ml	7.38	-12.3	1.3	1.0

Fuente: Datos experimentales

### 7.1.7 Deposición húmeda y seca en la aldea San José de Calderas

<b>Botella no.</b>	<b>Fecha</b>	<b>Volumen</b>	<b>pH</b>	<b>Redox (mV)</b>	<b>Cond. (uS/cm)</b>	<b>TDS</b>
7	17/03/2006	88 ml	6.44	26.0	30.8	32.3
16	01/03/2006	70 ml	7.24	-13.7	79.4	85.0
26	03/04/2006	260 ml	7.24	-22.0	47.2	49.6
35	05/05/2006	460 ml	6.53	18.6	12.5	13.1
46	19/05/2006	1140 ml	3.77	175.8	19.7	20.7
56	01/06/2006	1200 ml	4.85	113.7	25.0	18.0
66	22/06/2006	1200 ml	4.34	143.1	25.0	18.0
76	13/07/2006	960 ml	6.02	47.6	9.8	10.0
86	28/07/2006	930 ml	6.64	12.7	9.1	9.0
96	18/08/2006	1200 ml	6.44	24.0	15.5	15.0
106	31/08/2006	1000 ml	6.57	16.4	9.0	9.0
116	13/09/2006	930 ml	6.45	23.3	10.4	10.0
126	28/09/2006	90 ml	6.55	17.5	4.9	5.0
136	12/10/2006	750 ml	6.80	3.2	1.3	1.0
141		200 ml	7.38	-12.3	1.3	1.0

Fuente: Datos experimentales

### 7.1.8 Deposición húmeda y seca en la aldea Mesillas Altas

<b>Botella no.</b>	<b>Fecha</b>	<b>Volumen</b>	<b>pH</b>	<b>Redox (mV)</b>	<b>Cond. (uS/cm)</b>	<b>TDS</b>
17	01/03/2006	200 ml	7.25	-14.5	234.0	240.0
27	03/04/2006	410 ml	7.02	-9.5	52.6	55.2
36	05/05/2006	730 ml	6.43	24.7	17.2	18.1
47	19/05/2006	960 ml	5.10	100.4	15.5	16.2
57	01/06/2006	1200 ml	5.31	87.9	47.0	33.0
67	22/06/2006	1200 ml	4.83	115.1	32.0	22.0
77	13/07/2006	960 ml	5.86	56.8	19.7	20.0
87	28/07/2006	940 ml	6.35	28.9	25.9	27.0
97	18/08/2006	620 ml	6.42	25.2	39.2	37.0
107	31/08/2006	600 ml	6.32	30.4	43.6	42.0
117	13/09/2006	600 ml	6.18	38.6	36.9	35.0
127	28/09/2006	530 ml	6.51	19.7	8.1	9.0
137	12/10/2006	500 ml	6.67	10.7	8.2	9.0
141		200 ml	7.38	-12.3	1.3	1.0

Fuente: Datos experimentales

### 7.1.9 Deposición húmeda y seca en la aldea Mesillas Bajas

<b>Botella no.</b>	<b>Fecha</b>	<b>Volumen</b>	<b>pH</b>	<b>Redox (mV)</b>	<b>Cond. (uS/cm)</b>	<b>TDS</b>
8	17/03/2006	72 ml	6.22	39.0	78.2	82.1
18	01/03/2006	6.1 ml	7.59	-34.6	605.0	Fuera Rango
28	03/04/2006	38 ml	7.26	-23.1	170.7	179.2
37	05/05/2006	720 ml	6.27	33.5	35.7	37.4
48	19/05/2006	760 ml	5.54	75.0	13.1	13.8
58	01/06/2006	1200 ml	5.29	88.7	43.0	30.0
68	22/06/2006	1200 ml	5.18	95.2	26.0	18.0
78	13/07/2006	820 ml	5.97	50.5	10.6	11.0
88	28/07/2006	660 ml	6.35	28.9	11.7	12.0
98	18/08/2006	1200 ml	5.80	60.5	9.4	9.0
108	31/08/2006	840 ml	6.66	11.4	11.7	11.0
118	13/09/2006	620 ml	6.60	14.4	8.3	8.0
128	28/09/2006	490 ml	6.61	13.7	6.4	7.0
138	12/10/2006	440 ml	7.12	-14.8	3.0	3.0
141		200 ml	7.38	-12.3	1.3	1.0

Fuente: Datos experimentales

### 7.1.10 Deposición húmeda y seca en Santa Elena Barillas

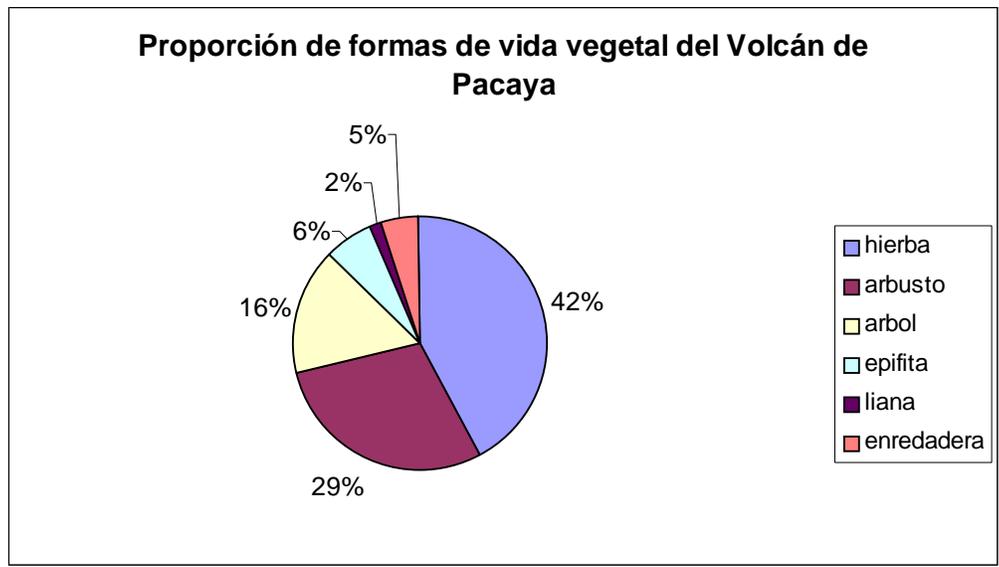
<b>.Botella no.</b>	<b>Fecha</b>	<b>Volumen</b>	<b>pH</b>	<b>Redox (mV)</b>	<b>Cond. (uS/cm)</b>	<b>TDS</b>
9	17/03/2006	92 ml	6.27	36.0	87.2	91.6
19	01/03/2006	132 ml	7.53	-31.0	102.0	108.0
29	03/04/2006	224 ml	7.42	-32.1	2300.0	Fuera Rango
38	05/05/2006	650 ml	6.57	16.3	65.0	68.2
49	19/05/2006	720 ml	6.26	34.1	55.0	57.8
59	01/06/2006	1150 ml	5.76	62.0	37.0	26.0
69	22/06/2006	1200 ml	5.62	70.6	20.0	14.0
79	13/07/2006	930 ml	5.89	55.1	16.5	17.0
89	28/07/2006	800 ml	6.43	24.7	29.5	30.0
99	18/08/2006	1150 ml	8.99	-120.4	18.5	18.0
109	31/08/2006	1000 ml	6.56	17.0	18.6	18.0
119	13/09/2006	680 ml	6.29	32.4	20.8	20.0
129	28/09/2006	860 ml	6.81	-1.6	5.0	5.0
139	12/10/2006	400 ml	6.81	2.8	6.7	7.0
141		200 ml	7.38	-12.3	1.3	1.0

Fuente: Datos experimentales

Los meses que presentan mayor deposición ácida son los meses de mayo, junio, agosto y septiembre. El sitio mayormente afectado por la deposición ácida es la aldea El patrocinio con 5 mediciones de pH menores a un valor de pH 5.5. San Vicente Pacaya, aldea Concepción El Cedro, Estación INDE El Cedro, Parque Nacional Volcán de Pacaya, aldea San José de Calderas, aldea Mesillas Altas, presentan 3 mediciones con valores de pH menores a 5.5. La aldea Mesillas Bajas presenta 2 mediciones con valores menores a un pH de 5.5 y la aldea Los Ríos y Santa Elena Barillas no presentan mediciones con valores menores al valor de referencia (pH de 5.5) para considerar deposición ácida.

Los meses que presentaron una mayor incidencia en valores bajos de pH para la deposición húmeda y seca son mayo, junio agosto y septiembre con 7, 15, 2 y una medición con valores menores al valor de referencia (pH 5.5). En algunos sitios, como el Parque Nacional de Pacaya y el de San José de Calderas, se observaron los menores valores de pH en el mes de mayo, con niveles de pH inferiores a 4 (ver cuadros 7.1.6 y 7.1.7), lo cual indica que durante dicho mes, hubo mayor impacto de la actividad volcánica del lado norte del volcán de Pacaya.

Figura 2. Formas de vida vegetal encontradas en la región del Volcán de Pacaya



Fuente: Datos experimentales.

7.1.11 Formas de vida vegetal encontradas en la región del volcán de Pacaya, clasificadas por familia y especie.

<b>Familia</b>	<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Hábito</b>
Amaryllidaceae	<i>Bomarea hirtella</i>	---	hierba
Asclepiadaceae	<i>Asclepias curassavica</i>	---	hierba
	Sp1	---	liana
Araceae	<i>Monstera sp</i>	---	trepadora
Asteraceae	<i>Senecio sp*</i>	Hoja de queso	arbusto
	<i>Verbesina sp</i>	---	hierba
	Sp1	---	hierba
	Sp2	---	hierba
	Sp3	---	hierba
	Sp4	---	arbusto
Bromeliaceae	<i>Tillandsia sp</i>	gallito	epifita
	<i>Pitcairnia tuerckheimii</i>	---	epifita
Betulaceae	<i>Alnus sp.</i>	aliso	árbol
Cariophyllaceae	Sp1	---	hierba
Caesalpinaceae	<i>Cassia sp</i>	---	árbol
Chlorantaceae	<i>Ediosmum mexicanum</i>	---	árbol
Meliaceae	<i>Cedería pacayana</i>	---	árbol
Clusiaceae	<i>Clusia sp.</i>	---	árbol
Commelinaceae	Sp1	---	hierba
	Sp1	---	hierba
Cyrtillaceae	<i>Ilex toluhana*</i>	Caldo de frijoles	árbol
Ericaceae	Sp1*	---	arbusto
Euphorbiaceae	<i>Corton guatemalensis</i>	copalchí	arbusto
	<i>Acalipha sp</i>	---	hierba
	Sp1	---	hierba
Fagaceae	<i>Quercus sp</i>	encino	árbol
Flacourtiaceae	<i>Olmediella betschleriana</i>	---	árbol
	Sp1	---	arbusto
	Sp2	---	arbusto
Liliaceae	<i>Smilacina flexuosa</i>	---	hierba
Malpighiaceae	Sp1*		
Malvaceae	<i>Malvabiscus sp.</i>	---	arbusto
	<i>Abutilon sp</i>	---	arbusto
Moraceae	<i>Ficus sp</i>	---	árbol
Orchidaceae	<i>Lepantes sp.</i>	orquídea	epifita
	<i>Malaxis</i>	orquídea	hierba
	Sp1	orquídea	hierba
Onagraceae	<i>Fuchsia sp</i>	---	arbusto
	<i>Lopezia sp</i>	---	hierba
Passifloraceae	<i>Passiflora membranacea</i>	---	enredadera

Papaveraceae	<i>Bocconia arborea</i>	---	<i>arbusto</i>
Phytolacaceae	<i>Phytolacca sp.</i>	---	<i>arbusto</i>
Piperaceae	<i>Peperomia sp</i>	---	<i>epifita</i>
	<i>Piper sp.</i>	---	<i>hierba</i>
Plantaginaceae	<i>Plantago sp.</i>	---	<i>hierba</i>
Poaceae	<i>Pennisetum clandestinum</i>		<i>hierba</i>
Rhamnaceae	<i>Rhamnus sp</i>	---	<i>arbustos</i>
Rosaceae	<i>Rubus sp.</i>	mora	<i>enredadera</i>
	<i>Sp1</i>	---	<i>arbusto</i>
Scrophulariaceae	<b>Hemichaena fruticosa</b>	---	<i>hierba</i>
Smilacaceae	<i>Smilax sp.</i>	---	<i>hierba</i>
Solanaceae	<i>Cestrum aurantiacum</i>	---	<i>arbusto</i>
	<i>Solanum hispidum</i>	---	<i>arbusto</i>
	<i>Physalis porrecta</i>	---	<i>hierba</i>
	<i>Cestrum sp</i>	---	<i>arbusto</i>
	<i>Solanum sp</i>	---	<i>árbol</i>
	<i>Lycianthes sp</i>	---	<i>arbusto</i>
	<i>Sp1</i>	---	<i>enredadera</i>
	<i>Sp2</i>	---	<i>hierba</i>
Sterculiaceae	<i>Chiranthodendron pentadactylon</i>	majahue	<i>árbol</i>
Stiracaceae	<i>Styrax</i>	---	<i>hierba</i>
Thyliaceae	<b>Triumffeta</b>	---	<i>hierba</i>
Urticaceae	<b>Phenax hirtus</b>	---	<i>hierba</i>
Verbenaceae	<i>Lantana hispida</i>	---	<i>arbusto</i>
Violaceae	<i>Hybanthus sp</i>	---	<i>hierba</i>

Fuente: Datos experimentales.

Las formas vegetales que presentan un asterisco muestran necrosidades que pueden ser atribuibles a la deposición ácida. Sus fotografías se presentan en la sección de anexos (figura 4 a 7).

## 7.2 Laguna de Calderas

7.2.1 Cuadro 12. Potencial de hidrógeno, en el agua de la laguna de Calderas en 4 sitios de muestreo.

Sitio de muestreo	Fecha de Muestreo					Promedio
	03/04/2006	19/05/2006	02/08/2006	18/10/2006	22/11/2006	
Lado oriental	7.94	8.62	8.65	8.36	7.61	8.24
Lado sur	8.38	8.69	8.72	8.60	7.86	8.45
Lado occidental	ND	8.61	8.67	8.56	7.56	8.35
Centro	8.58	8.7	8.6	8.76	7.84	8.50
Promedio	8.30	8.66	8.66	8.57	7.72	

Fuente: Datos experimentales tomados en sitio.

7.2.2 Cuadro 13. Temperatura del agua de la laguna de Calderas.

Sitio de muestreo	Fecha de Muestreo					Promedio
	03/04/2006	19/05/2006	02/08/2006	18/10/2006	22/11/2006	
Lado oriental	22.3	22.3	17.4	23.1	19.6	20.9
Lado sur	18.2	18.0	17.7	21.9	19.1	19.0
Lado occidental	22.2	18.3	21.9	22.0	19.5	20.8
Centro	22.0	18.5	22.0	22.1	19.4	20.8
Promedio	21.2	19.3	19.8	22.3	19.4	

Fuente: Datos experimentales tomados en sitio.

7.2.3 Cuadro 14. Concentración de oxígeno disuelto en mg/L en 4 sitios de la laguna de Calderas.

Sitio de muestreo	Fecha de Muestreo					Promedio
	03/04/2006	19/05/2006	02/08/2006	18/10/2006	22/11/2006	
Lado oriental	8.8	6.4	7.9	9.2	5.8	7.62
Lado sur	9.0	7.2	7.4	9.2	5.5	7.66
Lado occidental	9.0	7.4	7.8	9.3	5.7	7.84
Centro	9.3	7.7	7.9	9.5	5.5	7.98
Promedio	9.0	7.2	7.8	9.3	5.6	

Fuente: Datos experimentales tomados en sitio.

7.2.4 Cuadro 15. Concentración de oxígeno disuelto en porcentaje de saturación en 4 sitios de muestreo en la laguna de Calderas.

Sitio de muestreo	Fecha de Muestreo					Promedio
	03/04/2006	19/05/2006	02/08/2006	18/10/2006	22/11/2006	
Lado oriental	125.9	91.1	110.3	134.5	77.7	107.9
Lado sur	125.4	102.2	103.9	131.2	72.7	107.1
Lado occidental	128.5	104.9	110.7	132.0	76.1	110.4
Centro	131.5	110.0	111.2	136.1	74.0	112.6
<b>Promedio</b>	127.8	102.1	109.0	133.5	75.1	

Fuente: Datos experimentales tomados en sitio.

7.2.5 Cuadro 16. Conductividad del agua de la laguna de Calderas en 4 sitios de muestreo.

Sitio de muestreo	Fecha de Muestreo					Promedio
	03/04/2006	19/05/2006	02/08/2006	18/10/2006	22/11/2006	
Lado oriental	70	ND	ND	301	62	145
Lado sur	70	ND	ND	298	62	143
Lado occidental	70	ND	ND	298	62	143
Centro	70	ND	ND	299	62	144
<b>Promedio</b>	70	ND	ND	299	62	

Fuente: Datos experimentales tomados en sitio.

ND: No determinado durante el muestreo debido a desperfectos en el conductímetro.

7.2.6 Cuadro 17. Total de sólidos disueltos (TDS) medidos en 4 sitios de muestreo en la laguna de Calderas.

Sitio de muestreo	Fecha de Muestreo					Promedio
	03/04/2006	19/05/2006	02/08/2006	18/10/2006	22/11/2006	
Lado oriental	68	ND	ND	296	65	143
Lado sur	67	ND	ND	295	65	142
Lado occidental	67	ND	ND	296	65	143
Centro	67	ND	ND	296	65	143
<b>Promedio</b>	67	ND	ND	296	65	

Fuente: Datos experimentales tomados en sitio.

ND. No determinado debido a desperfectos en el Conductímetro.

7.2.7 Cuadro 18. Profundidad del espejo de agua en el sitio de muestreo.

Sitio de muestreo	Fecha de Muestreo					Promedio
	03/04/2006	19/05/2006	02/08/2006	18/10/2006	22/11/2006	
Lado oriental	1.86	3.16	3.65	3.40	3.28	3.07
Lado sur	12.50	8.04	mas de 17	10.48	13.24	11.07
Lado occidental	7.50	11.21	11.00	12.88	15.52	11.62
Centro	12.50	mas de 17	mas de 17	25.08	26.88	21.49
<b>Promedio</b>	8.59	7.47	7.33	12.96	14.73	

Fuente: Datos experimentales tomados en sitio.

7.2.8 Cuadro 19. Visibilidad del disco Secci, en el agua de la laguna de Calderas en 4 sitios de muestreo.

Sitio de muestreo	Fecha de Muestreo					Promedio
	03/04/2006	19/05/2006	02/08/2006	18/10/2006	22/11/2006	
Lado oriental	1.37	2.61	3.26	3.00	1.45	2.34
Lado sur	2.73	2.50	5.00	1.68	2.84	2.95
Lado occidental	2.90	2.56	4.27	3.00	3.00	3.15
Centro	3.26	2.58	5.08	2.98	3.00	3.38
<b>Promedio</b>	2.57	2.56	4.40	2.67	2.57	

Fuente: Datos experimentales tomados en sitio.

7.2.9 Cuadro 20. Color del agua de la laguna de Calderas en 4 sitios de muestreo.

Sitio de muestreo	Fecha de Muestreo				
	03/04/2006	19/05/2006	02/08/2006	18/10/2006	22/11/2006
Lado oriental	Verde	Verde oscuro	Verde	Verde musgo	Verde musgo
Lado sur	Verde	Verde esmeralda	Verde oscuro	Verde musgo	Verde musgo
Lado occidental	Verde esmeralda	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde musgo	Verde musgo
Centro	Verde esmeralda	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde musgo	Verde musgo

Fuente: Datos experimentales tomados en sitio.

7.2.10 Cuadro 21. Nitrógeno de Nitritos en muestras de agua de la laguna de Calderas.

Nitrógeno de Nitritos				
Sitio de Muestreo				
	1	2	3	4
Fecha	Oriente	Sur	Occidente	Centro
03/04/2006	0.004	0.002	0.001	0.001
19/05/2006	0.002	BLD	BLD	BLD
02/08/2006	BLD	0.01	BLD	BLD
18/10/2006	0.01	0.02	0.01	0.01
22/11/2006	0.01	0.01	0.01	0.02

Fuente: Datos experimentales  
 BLD: Bajo el límite de detección

7.2.11 Cuadro 22. Nitrógeno de Nitratos en muestras de agua de la laguna de Calderas.

Nitrógeno de Nitratos				
Sitio de Muestreo				
	1	2	3	4
Fecha	Oriente	Sur	Occidente	Centro
03/04/2006	0.3	0.4	0.3	0.4
19/05/2006	0.01	0.01	0.01	0.01
02/08/2006	0.02	0.02	0.01	0.02
18/10/2006	0.01	0.01	0.01	0.01
22/11/2006	0.03	0.04	0.02	0.03

7.2.12 Cuadro 23. Nitrógeno de Amonio en muestras de agua de la laguna de Calderas.

Nitrógeno de Amonio				
Sitio de Muestreo				
	1	2	3	4
Fecha	Oriente	Sur	Occidente	Centro
03/04/2006	0.07	0.03	0.03	0.02
19/05/2006	0.06	0.01	0.04	0.03
02/08/2006	0.04	0.04	0.05	0.05
18/10/2006	0.03	0.05	0.06	0.05
22/11/2006				

7.2.13 Cuadro 24. Nitrógeno Total en muestras de agua de la laguna de Calderas

Nitrógenono Total				
Sitio de Muestreo				
Fecha	1 Oriente	2 Sur	3 Occidente	4 Centro
03/04/2006	0.4	0.4	0.5	0.9
19/05/2006	7.5	9.6	6.7	14.2
02/08/2006	9.1	7.9	10.2	6.5
18/10/2006	0.36	0.41	0.47	0.44
22/11/2006	0.07	0.12	0.12	0.07

7.2.14 Cuadro 25. Fósforo de Ortofosfatos en muestras de agua de la laguna de Calderas.

Fósforo de ortofosfatos				
Sitio de Muestreo				
Fecha	1 Oriente	2 Sur	3 Occidente	4 Centro
03/04/2006	BLD	BLD	BLD	BLD
19/05/2006	0.01	BLD	0.01	0.01
02/08/2006	0.01	0.01	0.01	0.01
18/10/2006	0.04	0.04	0.04	0.04
22/11/2006	0.01	0.02	0.02	0.01

7.2.15 Cuadro 26. Fósforo total en muestras de agua de la laguna de Calderas

Fósforo total				
Sitio de Muestreo				
Fecha	1 Oriente	2 Sur	3 Occidente	4 Centro
03/04/2006	0.08	0.08	0.07	0.08
19/05/2006	0.1	0.08	0.09	0.12
02/08/2006	0.12	0.1	0.12	0.11
18/10/2006	0.21	0.18	0.22	0.2
22/11/2006	0.21	0.22	0.17	0.2

7.2.16 Cuadro 27. Demanda Química de Oxígeno en muestras de agua de la laguna de Calderas.

Demanda Química de Oxígeno (DQO)				
Sitio de Muestreo				
Fecha	1 Oriente	2 Sur	3 Occidente	4 Centro
03/04/2006	6	8	10	10
19/05/2006	11	18	19	31
02/08/2006	11	5	10	9
18/10/2006	36	35	37	36
22/11/2006	29	27	55	58

7.2.17 Cuadro 28. Demanda Bioquímica en muestras de agua de la laguna de calderas

Demanda Bioquímica				
Sitio de Muestreo				
Fecha	1 Oriente	2 Sur	3 Occidente	4 Centro
03/04/2006	1.06	0.9	0.85	0.96
19/05/2006	3.39	4.13	4.22	4.13
02/08/2006	3.75	3.45	3.75	4.35
18/10/2006	8.42	8.1	8.51	8.39
22/11/2006	3.9	5.57	5.21	4.83

7.2.18 Cuadro 29. Sólidos totales en muestras de agua de la laguna de Calderas

Sólidos totales				
Sitio de Muestreo				
Fecha	1 Oriente	2 Sur	3 Occidente	4 Centro
03/04/2006	207	201	206	196
19/05/2006	180	208	180	186
02/08/2006	210	211	214	209
18/10/2006	187	197	206	197
22/11/2006	169	178	190	192

7.2.19 Cuadro 30. Sólidos suspendidos en muestras de agua de la laguna de Calderas

Sólidos suspendidos				
Sitio de Muestreo				
Fecha	1 Oriente	2 Sur	3 Occidente	4 Centro
03/04/2006	4	4	3	2
19/05/2006	3	2	2	2
02/08/2006	2	2	2	1
18/10/2006	2	2	3	4
22/11/2006	2	2	2	2

7.2.20 Cuadro 31. Sólidos disueltos en muestras de agua de la laguna de Calderas

Sólidos disueltos				
Sitio de Muestreo				
Fecha	1 Oriente	2 Sur	3 Occidente	4 Centro
03/04/2006	188	200	186	208
19/05/2006	214	205	180	180
02/08/2006	205	202	205	212
18/10/2006	188	183	197	190
22/11/2006	204	203	216	206

7.2.21 Cuadro 32. Sólidos sedimentables en muestras de agua de la laguna de Calderas

Sólidos sedimentables				
Sitio de Muestreo				
	1	2	3	4
Fecha	Oriente	Sur	Occidente	Centro
03/04/2006	Menor a 0.1	Menor a 0.1	Menor a 0.1	Menor a 0.1
19/05/2006	Menor a 0.1	Menor a 0.1	Menor a 0.1	Menor a 0.1
02/08/2006	Menor a 0.1	Menor a 0.1	Menor a 0.1	Menor a 0.1
18/10/2006	Menor a 0.1	Menor a 0.1	Menor a 0.1	Menor a 0.1
22/11/2006	Menor a 0.1	Menor a 0.1	Menor a 0.1	Menor a 0.1

7.2.22 Cuadro 33. Sulfatos en muestras de agua de la laguna de Calderas

Sulfatos				
Sitio de Muestreo				
	1	2	3	4
Fecha	Oriente	Sur	Occidente	Centro
03/04/2006	7.48	5.42	4.09	3.76
19/05/2006	3.1	3.43	3.43	2.76
02/08/2006	7.93	8.11	8.11	9.21
18/10/2006	9.21	8.35	7.74	7.62
22/11/2006				

7.3 Resultados Microbiológicos del agua de la laguna de Calderas

A continuación se presentan los resultados bacteriológicos, de parásitos y fitoplancton de los análisis de las muestras obtenidos en los cuatro punto de muestreo en la Laguna de Calderas

7.3.1 Cuadro 34. Coliformes totales. Resultados obtenidos del análisis bacteriológicos para Coliformes totales de los cuatro puntos de muestreo de la Laguna de Calderas en el municipio de San Vicente de Pacaya. El punto uno corresponde a la parte oriental del lago, el punto 2 a la parte sur del lago, el punto 3 a la parte occidental y el punto 4 al centro del lago.

Fecha de Muestreo	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
03/03/06	10.300	8400	8.600	2200
22/05/06	9.000	6900	8.400	8300
02/08/06	7000	5000	11.500	3000
23/10/06	50	5000	4.600	8000
16/11/06				

Recuento de coliformes totales en UFC/100mL  
 UFC: Unidades Formadoras de Colonia  
 Fuente: Datos experimentales

7.3.2 Cuadro 35. Coliformes fecales. Resultados obtenidos del análisis bacteriológicos para Coliformes fecales de los cuatro puntos de muestreo de la Laguna de Calderas en el municipio de San Vicente de Pacaya

Fecha de Muestreo	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
03/03/06	60	3400	400	90
22/05/06	60	3400	4.000	2.200
02/08/06	37	2300	300	100
23/10/06	17	2300	2.000	100
16/11/06				

Recuento de coliformes totales en UFC/100mL

UFC: Unidades Formadoras de Colonia

Fuente: Datos experimentales

7.3.3 Cuadro 36. Análisis para E coli. Resultados obtenidos del análisis bacteriológicos para E. coli de los cuatro puntos de muestreo de la Laguna de Calderas en el municipio de San Vicente de Pacaya

Fecha de Muestreo	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
03/03/06	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
22/05/06	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
02/08/06	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva
23/10/06	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
16/11/06	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo

Fuente: Datos experimentales

7.3.4 Cuadro 37. Recuento Heterotrófico en Placa. Resultados obtenidos del análisis bacteriológicos del Recuento Heterotrófico en Placa de los cuatro puntos de muestreo de la Laguna de Calderas en el municipio de San Vicente de Pacaya

Fecha de Muestreo	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
03/03/06	750	670	8.500	240
22/05/06	650	580	1.700	280
02/08/06	190	3900	4.000	200
23/10/06	2.600	200	1.000	160
16/11/06				

Recuento de coliformes totales en UFC/100mL

UFC: Unidades Formadoras de Colonia

Fuente: Datos experimentales

7.3.5 Cuadro 38. Presencia de Colifagos. Resultados obtenidos del análisis bacteriológicos para colifagos de los cuatro puntos de muestreo de la Laguna de Calderas en el municipio de San Vicente de Pacaya

Fecha de Muestreo	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
03/03/06	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
22/05/06	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
02/08/06	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva
23/10/06	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo

Fuente: Datos experimentales

7.3.6 Cuadro 39. Resultados obtenidos para parásitos de los cuatro puntos de muestreo de la Laguna de Calderas en el municipio de San Vicente de Pacaya

Fecha de Muestreo	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
03/03/06	----	----	----	----
22/05/06	NSOP	NSOP	NSOP	NSOP
02/08/06	----	----	----	----
23/10/06	NSOP	NSOP	NSOP	NSOP

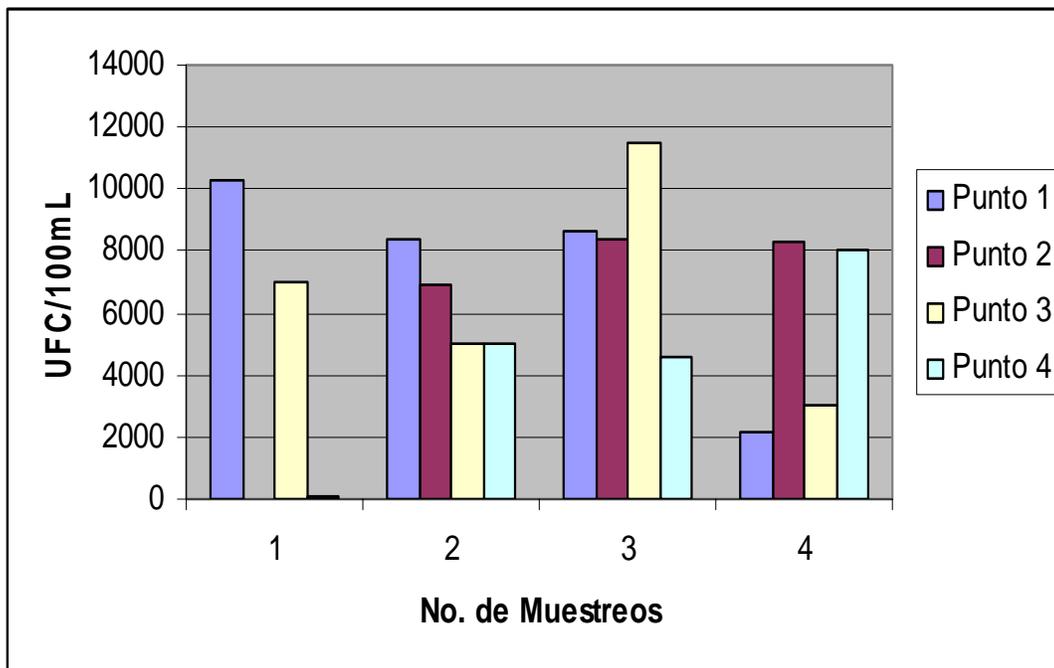
Fuente: Datos experimentales  
 NSOP: No se observaron parasitos  
 ----: No hubo muestra

7.3.7 Cuadro 40. Resultados de fitoplancton obtenidos de los cuatro puntos de muestreo de la laguna de Calderas en el municipio de San Vicente de Pacaya

<b>Fecha</b>	<b>Punto de Muestreo</b>	<b>Especies Encontradas</b>
03/03/2006	1	<i>Oocystis, Gomphosphaeria, Cyclotella, Synedra, Staurastrum, Merismopedia, Crucigenia, Eudorina, Microcystis, Lyngbia, Closterium, Clorococcum, Clorella, Cosmarium, Dictyosphaerium</i>
03/03/2006	2	<i>Oocystis, Gomphosphaeria, Cosmarium, Microcystis, Lyngbia, Eudorina, Merismopedia, Crucigenia, Clorella, Cyclotella, Staurastrum, Closterium, Tolytropix, Synedra</i>
03/03/2006	3	<i>Microcystis, Synedra, Gomphosphaeria, Lyngbia, Eudorina, Staurastrum, Merismopedia, Gleocystis, Dictyosphaerium, Coelastrum, Clorococcum, Clorella, Cyclotella, Cladophora</i>
03/03/2006	4	<i>Microcystis, Synedra, Gomphosphaeria, Lyngbia, Eudorina, Staurastrum, Merismopedia, Gleocystis, Coelastrum, Dictyosphaerium, Clorella Oocystis.</i>
22/05/2006	1	<i>Cosmarium, Oocystis, Gomphosphaeria, Cyclotella, Synedra, Staurastrum, Merismopedia, Crucigenia, Eudorina, Lyngbia, Microcystis</i>
22/05/2006	2	<i>Oocystis, Gomphosphaeria, Cosmarium, Microcystis, Lyngbia, Eudorina, Merismopedia, Crucigenia, Botryococcus, Dictyosphaerium, Clorococcum</i>
22/05/2006	3	<i>Oocystis, Microcystis, Synedra, Gomphosphaeria, Lyngbia, Eudorina, Staurastrum, Merismopedia, Gleocystis, Dictyosphaerium, Clorococcum, Clorella,</i>
22/05/2006	4	<i>Lyngbia, Cosmarium, Peridinium, Cyclotella, Staurastrum, Microcystis, Synedra, Gomphosphaeria, Hydradictyo, Dictyosphaerium, Closterium</i>
02/08/2006	1	<i>Microcystis, Synedra, Gomphosphaeria, Lyngbia, Eudorina, Staurastrum, Merismopedia, Gleocystis, Dictyosphaerium, Coelastrum, Clorococcum, Clorella, Cyclotella, Cladophora</i>
02/08/2006	2	<i>Microcystis, Synedra, Gomphosphaeria, Lyngbia, Eudorina, Staurastrum, Merismopedia, Gleocystis, Dictyosphaerium, Coelastrum, Clorococcum, Clorella, Cyclotella, Cladophora</i>
02/08/2006	3	<i>Oocystis, Gomphosphaeria, Cosmarium, Microcystis, Lyngbia, Eudorina, Merismopedia, Crucigenia, Botryococcus, Dictyosphaerium, Clorococcum</i>
	4	<i>Gomphosphaeria, Cosmarium, Microcystis, Lyngbia,</i>

02/08/2006		<i>Eudorina, Mierismopedia, Crucigenia, Botryococcus, Dictyosphaerium, Spirulina, Staurastrum.</i>
23/10/2006	1	<i>Oocystis, Gomphosphaeria, Cyclotella, Synedra, Staurastrum, Merismopedia, Crucigenia, Eudorina, Microcystis, Lyngbia, Closterium, Clorococcum, Clorella, Cosmarium, Dictyosphaerium</i>
23/10/2006	2	<i>Oocystis, Gomphosphaeria, Cosmarium, Microcystis, Lyngbia, Eudorina, Mierismopedia, Crucigenia, Clorella, Cyclotella, Staurastrum, Closterium, Tolytropix, Synedra</i>
23/10/2006	3	<i>Microcystis, Synedra, Gomphosphaeria, Lyngbia, Eudorina, Staurastrum, Merismopedia, Gleocystis, Dictyosphaerium, Coelastrum, Clorococcum, Clorella, Cyclotella, Cladophora</i>
23/10/2006	4	<i>Microcystis, Synedra, Gomphosphaeria, Lyngbia, Eudorina, Staurastrum, Merismopedia, Gleocystis, Coelastrum, Dictyosphaerium, Clorella Oocystis.</i>

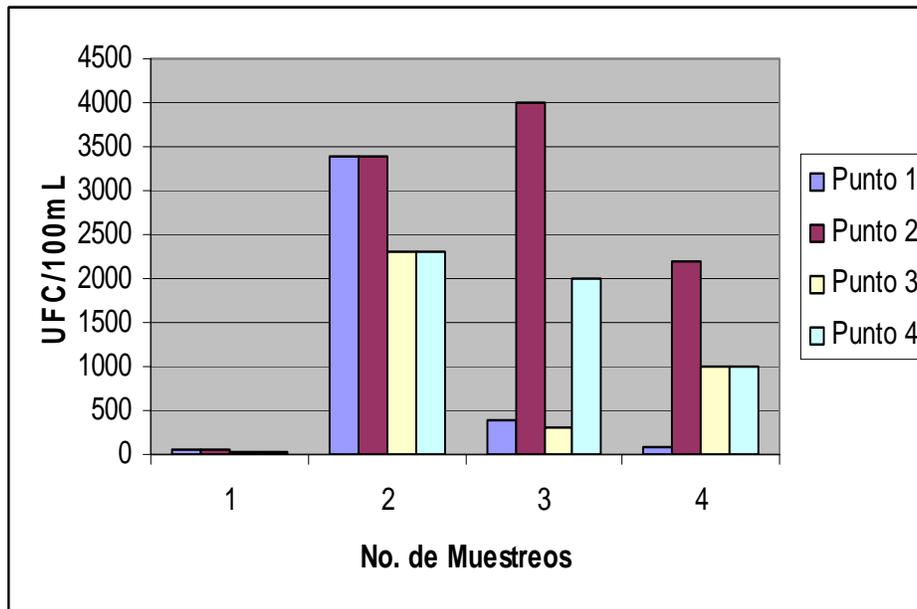
7.3.8 Figura 3. Estimado de Coliformes totales.



Fuente: Datos experimentales.

En la Figura 3 se muestran los resultados obtenidos del análisis bacteriológico del grupo coliformes totales en el cual se puede observar que hubo un mayor aumento de coliformes totales en el punto 1 en el primer y segundo muestreo, mientras que en el tercer muestreo fue el punto tres el que obtuvo el mayor aumento.

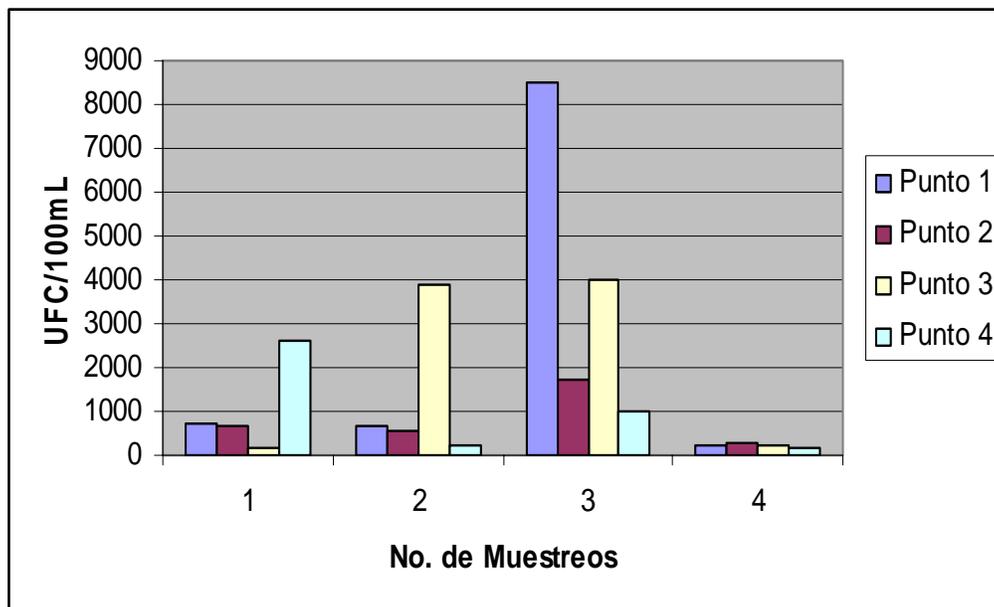
7.3.9 Figura 4. Estimado de Coliformes fecales



Fuente: Datos experimentales.

En la figura 4 se muestran los resultados obtenidos del análisis bacteriológico del grupo coliformes fecales del proyecto titulado "La deposición húmeda y seca y su impacto a la acides en la región del volcán de Pacaya" en el año 2006, en el cual podemos observar que hubo un mayor aumento de coliformes fecales en el segundo muestreo y fueron los punto 1 y 2 los más altos y en el tercer y cuarto muestreo fue el punto 2 el más alto.

7.3.10 Gráfica 5. Estimado de Recuento Heterotrófico en Placa



Fuente: Datos experimentales.

En la figura 5 se muestran los resultados obtenidos del análisis bacteriológico del Recuento heterotrófico en placa del proyecto titulado "La deposición húmeda y seca y su impacto a la acides en la región del volcán de Pacaya" en el año 2006, en el cual podemos observar que hubo un mayor aumento de bacterias durante el tercer muestreo en el punto 1.

#### 7.3.11. Discusión de resultados de parámetros microbiológicos:

En la presente investigación fueron evaluados los parámetros microbiológicos, fitoplancton y parásitos del agua de la laguna de Calderas, ubicada en el municipio de San Vicente de Pacaya, departamento de Escuintla.

Se colectaron un total de 16 muestras de agua procedentes de cuatro puntos de muestreos de la laguna durante el año 2006.

En el cuadro 34 a 38 y gráfica 5 se presentan los resultados microbiológicos, en los cuales se puede observar que la concentración del grupo coliformes estuvo presente en todos los muestreos y en todos los puntos.

En punto 4 fue el que presentó una menor concentración del grupo coliformes, debido a que se localiza en el centro del lago por lo que está más aislado y se hace más difícil que se contamine por las personas y animales.

Los puntos que presentaron un mayor aumento de coliformes fue el punto 2 y 3, debido a que dichos lugares están localizados en las cercanías de los baños públicos y además hay ganado suelto que ingresa a la laguna a beber agua.

La *E. coli*, estuvo presente en todos los muestreos efectuados.

El recuento heterotrófico en placa estuvo más elevado en el tercer muestreo, en el punto 3 debido a que como se describió arriba hay presencia de ganado, a esto se le suma que en las cercanías hay baños públicos y llegan las personas a lavar ropa.

Los colifagos se encontraron presentes en la laguna, el cual es otro indicador de contaminación fecal.

En las muestras de agua para parásitos no se observaron parásitos.

El tipo de fitoplancton más abundante fue el *botryococcus* el cual se encuentra en aguas poco mineralizadas y de alcalinidad baja, además se encontró *Lyngbia* el cual es *cianofilico*, ya que este se encuentra en aguas tropicales y altamente fertilizados.

## 8. Conclusiones

- 8.1 La aldea El Patrocinio es el sitio que se encuentra mas afectado por la deposición húmeda y seca, ya que presenta 5 mediciones con valor menor al valor de referencia (pH 5.5) para consideraciones de deposición ácida.
- 8.2 El municipio de San Vicente Pacaya, la aldea Concepción El Cedro, la Estación Inde El Cedro, el Parque Nacional Volcán de Pacaya, la aldea San José de Calderas, la aldea Mesillas Altas presentaron 3 mediciones de deposición húmeda y seca con valores de pH menores a 5.5 durante los meses de mayo y junio.
- 8.3 El mes de junio presentó 15 mediciones de pH menor a 5.5, por lo que es el mes en el que se presentó la mayor deposición ácida en la región del volcán de Pacaya.
- 8.4 Durante el mes de mayo 7 mediciones de deposición ácida presentaron valores de pH menores a 5.5, durante el mes de agosto se presentaron 3 y durante el mes de septiembre una.
- 8.5 Los sitios de muestreo que no presentan deposición ácida son aldea Los Ríos y Santa Elena Barillas.
- 8.6 La laguna de Calderas no se encuentra afectada por la deposición húmeda y seca proveniente del volcán de Pacaya, ya que presenta valores similares a otros cuerpos de agua del país.
- 8.7 La zona anóxica en la laguna de Calderas se presenta aproximadamente a los 7 metros de profundidad.
- 8.8 Todos los sitios de muestreo ubicados en la laguna de Calderas presentan contaminación por agentes microbiológicos, lo que indica que la calidad del agua no es apta para el consumo humano.
- 8.9 Los sitios que presentaron los menores valores de pH en la deposición ácida fueron San José de las Calderas y el Parque Nacional de Pacaya durante el mes de mayo, con valores inferiores a 4.0.

## 9. Recomendaciones

9.1 Es recomendable que se realicen mediciones periódicas de la deposición ácida en las poblaciones ubicadas alrededor del volcán de Pacaya, y que se alerte a los pobladores sobre la necesidad de protegerse de la lluvia en las épocas de mayor impacto de la actividad volcánica sobre la deposición ácida.

9.2 En vista que los resultados del presente proyecto indican que hay influencia de la actividad volcánica sobre la deposición ácida, en la región del volcán de Pacaya, es recomendable realizar evaluaciones en las poblaciones ubicadas en las cercanías de otros volcanes activos en Guatemala, para la evaluación del riesgo por exposición en el que se encuentran los pobladores.

## 10. Bibliografía

- 10.1 Aiuppa A, Bonfanti P, Alessandro W. 2003. Rainwater Chemistry at Mt. Etna (Italy): Natural and Anthropogenic Sources of Major Ions. *Journal of Atmospheric Chemistry*. 46: 89-102.
- 10.2 Alfaro, M. & Rodríguez, J. 1993. La acidez de la precipitación total en la zona del volcán Poas (período 1992). *Contaminación Ambiental Medellín (Antioquia)*, 14 (25): 16-23. Ene-jun 1993.
- 10.3 APHA, AWWA, WPCF. 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20 ed. American Public Health Association, Washington, DC. 1193.
- 10.4 Delmelle, P., Bernard, A. 2000. *Journal of volcanology and geothermal research*. 97(2000) 55-75.
- 10.5 Baez, A., et al. 1997. Cloudwater and Precipitation Chemistry at Popocatepetl Volcano: A High Elevation Site. *Journal of Environmental Quality* 26 253-8 Ja/F.
- 10.6 Cimino, G. Toscano, G. 1999. Dissolution of trace metals from lava ash: influence on the composition of rainwater in the Mount Etna volcanic area. *Environmental Pollution*. 99 (1998) 389-393.
- 10.7 Durando, M. & Aragón, S. 1982. Atmospheric lead in downtown Guatemala City. *Environmental Science Technology*. 1982, 16, 20-23.
- 10.8 Echarri, L. 1998. *Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente*. Ed. Teide. España. 200 pp.
- 10.9 Espejo, R. *Bacteriófagos*. Programa regional de desarrollo científico y tecnológico. Secretaría general de la organización de los Estados Unidos. Washington. DC, 1973. 65p.

- 10.10 Florian H. Aislamiento de bacteriófagos específicos para *Escherichia coli* diarreinogénicas. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, (tesis de graduación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia) 2003. 85 p.
- 10.11 Gallardo, A, García L. 1999. Lluvia ácida. Gobierno del Distrito Federal, Secretaría del Medio Ambiente; Dirección General de Prevención y control de la Contaminación; Red Automática de Monitoreo Atmosférico –R.A.M.A.-
- 10.12 Grosjean, D. 1983. Distribution of atmospheric nitrogenous pollutants at a Los Angeles area smog receptor site. *Environmental Research & Technology, Inc.* Vol. 17: 13-19, No. 1 1983.
- 10.13 Harowitz, S. 2003. Elaboración de Mapa de Riesgos. *Security Management Online. Security Management Magazine.* Published by the American Society for Industrial Security. USA. November.
- 10.14 INSIVUMEH. 2004. Volcán De Pacaya. Departamento de Investigación y Servicios Geofísicos. INSIVUMEH. Guatemala.
- 10.15 López, L. 2002. Manejo integral de los desechos sólidos en el parque nacional volcán de Pacaya. Tesis de grado. Universidad del Valle de Guatemala, Facultad de Ciencias y Humanidades, Departamento de Ingeniería Civil. Guatemala.
- 10.16 Manahan, S. 1994. *Environmental Chemistry. Sixth Edition.* Lewis Publisher. USA. 811 pp.
- 10.17 Magill C, Blong R. 2005. Volcanic risk ranking for Auckland, New Zealand. I: Methodology and hazard investigation. *Bull Volcanol* 67: 331-339.
- 10.18 Martinez, M. et al. Chemical evolution and volcanic activity of the active crater lake of Poás volcano, Costa Rica, 1993-1997. *Journal of volcanology and geothermal research.* 97(2000) 127-141.
- 10.19 Mercado, R. et al. 1998. Riesgos por caída de cenizas volcánicas y patrones direccionales de los vientos superiores en Guatemala, Informe Preliminar. Michigan Technological University/USGS, Sección de Meteorología, INSIVUMEH, Sección de Vulcanología INSIVUMEH
- 10.20 Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. 2001. Mapa fisiográfico-Geomorfológico de la República de Guatemala, a escala 1:250,000 Memoria Técnica. Plan de acción forestal para Guatemala PAFG. Instituto Nacional de Bosques INAB. Unidad de Políticas e Información Estratégica (UPIE-MAGA) Programa de Emergencias y Desastres Naturales (MAGA-BID). 109 p.

- 10.21 Oliva B. 2005. Lluvia ácida en la región del volcán de Pacaya. Universidad del Valle de Guatemala, Tesis de Maestría en Estudios Ambientales.
- 10.22 Oliva, P. 2003. Lluvia ácida y presencia de electrolitos en el agua de precipitación para la ciudad de Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. Informe final.
- 10.23 Rubinson, K, Rubinson J. 2000. Análisis Instrumental. Prentice Hall. España. P. 847.
- 10.24 Sandoval, L. 1996. Efecto de las emisiones volcánicas sobre la vegetación del Parque Nacional Poas. Tesis de grado. Universidad Nacional, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Escuela de Ciencias Biológicas. Heredia, Costa Rica.
- 10.25 Seip, H. 1999. Acidification in China: Assessment based on studies at forested sites from Chongqing to Guangzhou. Royal Swedish Academy of Sciences 1999. Ambio Vol 28 No. 6, Sept 1999. pp 522-528.
- 10.26 The Merck Index. 1983. Tenth Edition. Merck Co. Inc. USA.
- 10.27 Villar, L. 1998. La flora silvestre de Guatemala. Editorial Universitaria. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- 10.28 Vossberg, J. Aislamiento de Bacteriófagos específicos para Klebsiella oxytoca multirresistente. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, (tesis de graduación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia) 2003. 80p.

## 11. Anexos

11.1 Fotografías de las formas vegetales que presentan necrosidades atribuibles a la deposición ácida provocada por el volcán de Pacaya.

Figura 4. Ericaceae. Fotografía por Balmore Valladares.



Figura 5. Senecio. Fotografía por Balmore Valladares.



Figura 6. Ilex toluicana. Fotografía por Balmore Valladares.

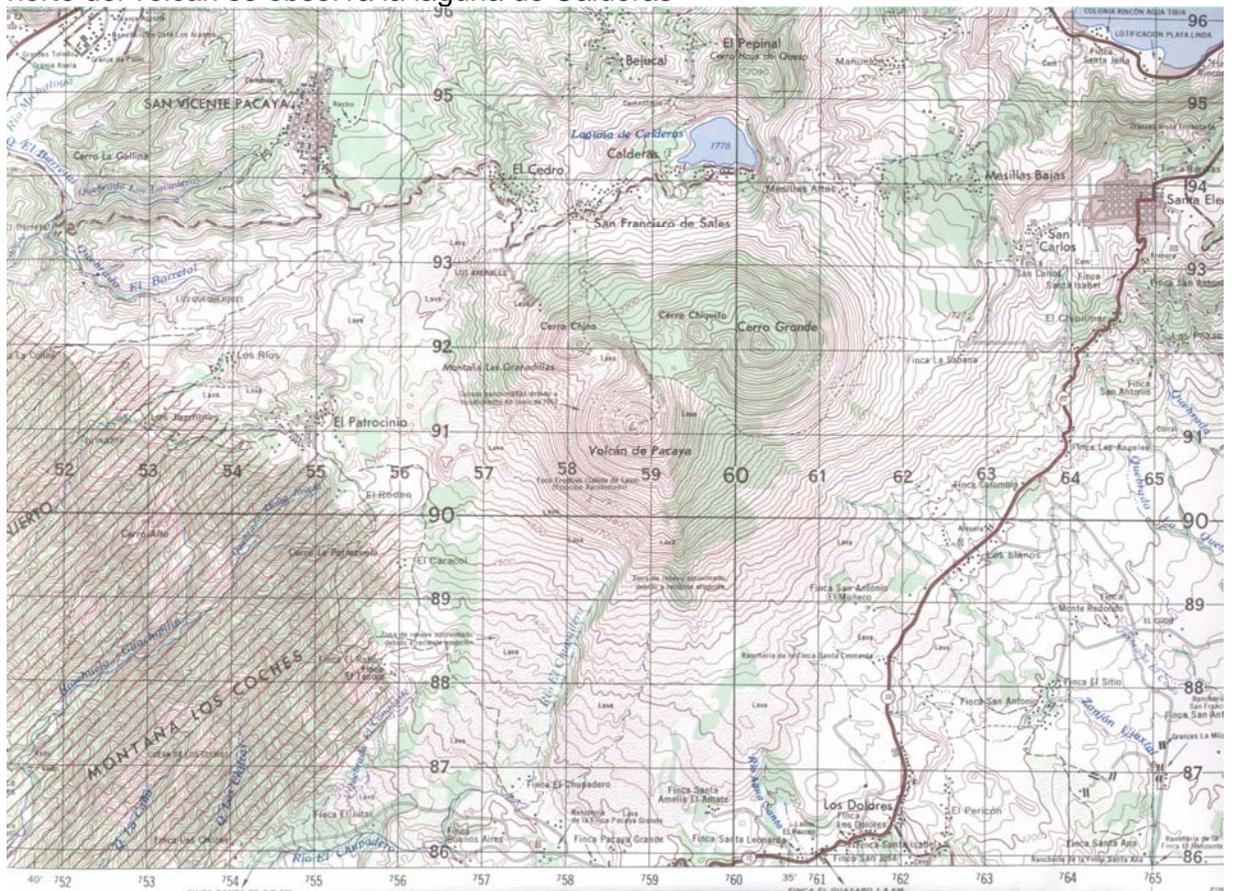


Figura 7. Malpigiaceae. Fotografía por Balmore Valladares.



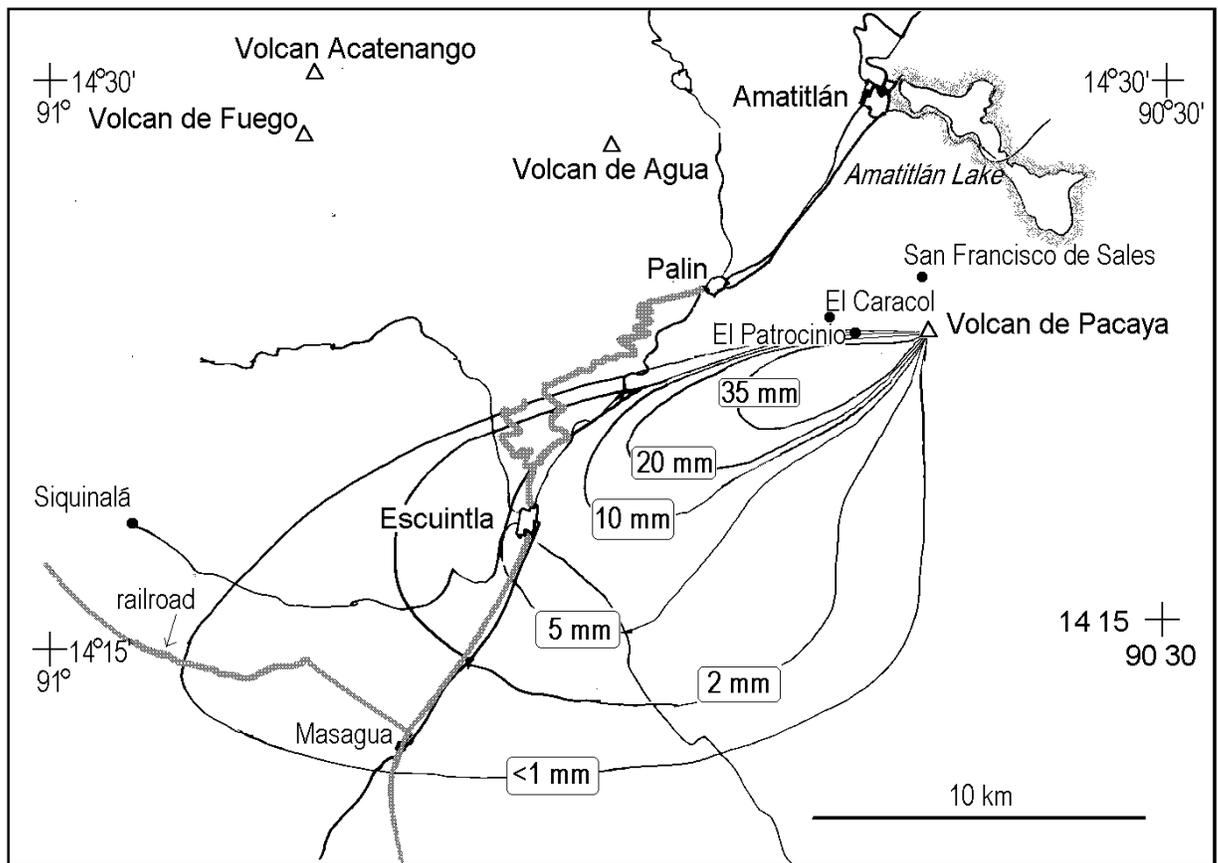
## 11.2 MAPAS

Figura 10. Mapa del área de estudio de la región del volcán de Pacaya. Al norte del volcán se observa la laguna de Calderas



Fuente: Mapa escala 1:250,000 de la República de Guatemala.

Figura 11. Mapa de transporte de largo alcance de materiales aereos (TLACA). Muestra la deposición de partículas por tamaño que se ven afectadas por corrientes de viento.



Fuente: INSIVUMEH. 2004. Volcán De Pacaya. Departamento de Investigación y Servicios Geofísicos.