

# CONTENIDO

<b>Prefacio</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimientos</b> .....	<b>vi</b>
<b>Capítulo 1. Presentación del estudio</b> .....	<b>3</b>
1.1 Antecedentes .....	3
1.2 Objetivos del estudio .....	4
1.3 Alcances del estudio .....	4
1.4 Metodología para el análisis de la vulnerabilidad .....	4
1.5 Estructura del informe .....	5
<b>Capítulo 2. El Proceso eruptivo del volcán Reventador</b> .....	<b>9</b>
2.1 Generalidades .....	9
Localización .....	9
Geología .....	9
2.2 Crónica histórica .....	10
2.3 Última erupción .....	10
2.4 Acciones tomadas .....	13
<b>Capítulo 3. Provincia de Pichincha</b> .....	<b>17</b>
3.1 Distrito Metropolitano de Quito .....	17
3.1.1 Efectos provocados por la erupción del volcán Reventador .....	19
a) Efectos en la salud .....	19
b) Efectos en las plantas de tratamiento de agua potable .....	19
c) Efectos en la producción de agua potable .....	24
d) Efectos en el sistema de alcantarillado .....	26
3.1.2 Medidas de mitigación .....	27
3.1.3 Acciones ejecutadas por el Distrito Metropolitano de Quito .....	27

3.2 Cantón Cayambe .....	28
3.2.1 Abastecimiento de agua potable .....	28
a) Captación Tajamar .....	29
b) Captaciones Cariacu, Buga, Paquiestancia .....	29
c) Captación Pinahurco .....	29
3.2.2 Acciones de mitigación adoptadas por el municipio de Cayambe .....	29
3.2.3 Comunidades rurales .....	30
Acciones de mitigación emprendidas por el municipio de Cayambe en las comunidades rurales .....	31
3.2.4 Alcantarillado .....	31
<b>Capítulo 4. Provincia del Napo .....</b>	<b>35</b>
4.1 Abastecimiento de agua y alcantarillado .....	35
a) Parroquia Oyacachi .....	37
b) Parroquia Papallacta .....	38
c) Parroquia Cuyuja .....	38
d) Baeza .....	39
e) Parroquia San Francisco de Borja .....	39
f) Parroquia Cosanga .....	40
g) Sardinas .....	41
h) El Chaco y Chontaloma .....	41
i) Gonzalo Díaz de Pineda .....	42
j) Las Palmas .....	43
k) Linares .....	43
<b>Capítulo 5. Provincia de Sucumbíos .....</b>	<b>47</b>
5.1 Abastecimiento de agua y alcantarillado .....	48
a) Atenas .....	48
b) Cascabel .....	48
c) Lumbaqui .....	49
d) Cáscales .....	49
<b>Capítulo 6. Lecciones aprendidas .....</b>	<b>55</b>
Referencias .....	59
ANEXO A. Cronología de las erupciones .....	65
ANEXO B. Características del polvo volcánico .....	73
ANEXO C. Análisis de la calidad del aire .....	77
ANEXO D. Energía eléctrica .....	81
ANEXO E. Análisis y control de la calidad del agua .....	85
ANEXO F. Análisis fisicoquímico del agua potable .....	93
ANEXO G. Normas de calidad .....	99

## PREFACIO

El presente documento ha sido elaborado a partir del informe final de una consultoría encomendada por la Representación de la Organización Panamericana de la Salud (OPS/OMS) en el Ecuador, con el objetivo de medir el impacto que tuvo la erupción del volcán Reventador en los servicios e infraestructura de agua potable y saneamiento, durante la fase eruptiva del mes de noviembre de 2002.

Debido a la calidad y detalle de la información recopilada, se ha querido compartir este análisis, en el que se identifican algunas situaciones recurrentes de vulnerabilidad que deterioraron la calidad de los servicios durante la erupción, así como las intervenciones típicas que se llevaron a cabo para atender las necesidades del sector de agua y saneamiento generadas por la emergencia.

En el presente documento, además de presentar los objetivos iniciales y la metodología utilizada para recopilar y analizar la información, se detallan las distintas fases del proceso eruptivo del volcán Reventador, su ubicación y zonas de impacto. Posteriormente, se hace un análisis de lo ocurrido en las provincias afectadas por la erupción, que resultaron ser Pichincha, Napo y Sucumbios, para las cuales se detalla el impacto en la infraestructura y calidad de los servicios de agua y saneamiento, así como las acciones emprendidas para la protección y rehabilitación de los mismos durante e inmediatamente después de la emergencia. El documento finaliza con la presentación de una serie de lecciones aprendidas que buscan servir de recomendaciones para que sean consideradas en el desarrollo de los servicios de agua y saneamiento que se encuentren ubicados en zonas expuestas a amenazas volcánicas.

Se espera que el presente documento contribuya con el conocimiento y los esfuerzos orientados a aumentar la seguridad de la infraestructura de agua y saneamiento frente a los riesgos ambientales, de manera de incorporar aspectos de prevención en la nueva infraestructura y en las intervenciones de rehabilitación y reconstrucción cuando esta se ve afectada.

## AGRADECIMIENTOS

El presente documento está basado en el reporte final de la consultoría realizada por el Ing. Ramón Macías para la Representación en el Ecuador de la OPS/OMS, sobre la evaluación del impacto de la erupción del volcán Reventador en el año 2002 en la infraestructura de agua potable y saneamiento.

Además del trabajo realizado por el Ing. Macías, cabe destacar la colaboración especial prestada por los municipios de Quito y Cayambe, así como el apoyo de la agencia italiana de cooperación (Cooperazione Internazionale, COOPI) en la entrega de la información usada como base en el presente documento.

Adicionalmente, queremos agradecer a José Luis Burga y Luis Andrade, ambos del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS/OPS), quienes trabajaron en la edición y diseño del documento original, lo que ha permitido difundir la experiencia detallada a lo largo del volumen.



CAPÍTULO 1

# PRESENTACIÓN DEL ESTUDIO

## 1.1 ANTECEDENTES

Ante la erupción del volcán Reventador en noviembre de 2002, La Organización Panamericana de la Salud, Oficina Regional para las Américas de la Organización Mundial de la Salud (OPS/OMS), preocupada por la ocurrencia de futuros eventos volcánicos y sus efectos sobre la población, en lo que se refiere especialmente al abastecimiento de agua potable y alcantarillado, solicitó la elaboración de este documento, como un instrumento de evaluación de los efectos de dicho evento natural.

El territorio ecuatoriano en su totalidad se encuentra constantemente expuesto a diversos fenómenos y amenazas naturales, lo que representa un constante peligro para sus habitantes. Por lo tanto, merecen especial interés los sectores que brindan servicios básicos como la provisión de agua para consumo humano, que reviste una importancia vital para mantener el nivel de vida de la población.

Si consideramos que los efectos negativos de un fenómeno natural en los sistemas de agua potable de zonas urbanas y rurales pueden traducirse en pérdidas humanas y económicas, por la destrucción física de sus componentes y la suspensión del servicio, es imprescindible adoptar medidas de mitigación del riesgo que imponen los desastres naturales en todos los planes de desarrollo e infraestructura. Es preciso que se incluya la variable del análisis de riesgos y la prevención en la planificación general de los servicios y que se considere que este tipo de eventos efectivamente pueden ocurrir, para que no se tome desprotegidos a los operadores, tanto en las áreas técnicas como administrativas.

Las experiencias recientes originadas por fenómenos naturales —como El Niño, temblores, terremotos, deslaves, deslizamientos de suelos, erupciones volcánicas y otros— y de origen humano han demostrado que los sistemas de saneamiento ambiental e infraestructura del Ecuador son muy vulnerables, pese a haber sido construidos de acuerdo con las normas de diseño y construcción.

Pensando en el desarrollo sostenible, la prevención debe verse como un conjunto de acciones permanentes, multidisciplinarias y altamente participativas.

La erupción del volcán Reventador en noviembre de 2002 obligó a los diferentes organismos encargados de salvaguardar los bienes públicos y privados a elaborar planes para afrontar nuevas emergencias o situaciones de crisis originadas por erupciones volcánicas, planes que también se basan en la experiencia de emergencias anteriores (Guagua Pichincha, Tungurahua y el mismo Reventador), ocasiones en las que se tomaron las acciones necesarias para minimizar los impactos negativos de estos fenómenos naturales sobre la población y las obras básicas.

## 1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

- Contribuir a mejorar el nivel de vida de las poblaciones afectadas por la erupción del volcán Reventador, mediante la generación de información y documentación sobre los efectos provocados por una erupción volcánica en los sistemas de agua y alcantarillado, tanto en zonas urbanas como rurales.
- Sistematizar, mediante la recopilación de la información existente y basándose en la experiencia sufrida, la información técnica y administrativa sobre el impacto de dicha erupción en los servicios de agua y alcantarillado, sobre la evaluación de los daños directos e indirectos y sobre las medidas implementadas por los distintos servicios urbanos y rurales para asegurar la disponibilidad de agua potable y la calidad de los servicios.
- Mejorar la información existente sobre los efectos de una erupción volcánica en los sistemas de agua potable y alcantarillado, mediante la elaboración de un documento en el que se recopilen y sistematicen las lecciones aprendidas sobre las acciones de mitigación, los preparativos y las respuestas a esta emergencia en todos los sectores afectados.

## 1.3 ALCANCES DEL ESTUDIO

Este trabajo se destinó especialmente a las siguientes tareas:

1. Recopilación y sistematización de la información existente sobre los efectos provocados por la erupción del volcán Reventador en los sistemas de agua potable y alcantarillado en áreas urbanas y rurales.
2. Identificación, caracterización y descripción del fenómeno eruptivo.
3. Determinación de la vulnerabilidad de los sistemas analizados, mediante el análisis particular de cada unidad.
4. Descripción de las medidas de mitigación utilizadas en los sistemas estudiados.
5. Elaboración de recomendaciones a partir de las lecciones aprendidas.
6. Preparación de este documento.

## 1.4. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD

En términos generales, este estudio se orientó a partir de las *Guías para el análisis de vulnerabilidad, mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario*, publicadas por la OPS/OMS<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> OPS/OMS. Mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario. Guía para el análisis de vulnerabilidad. Serie Mitigación de Desastres. Washington, D. C., 1998.

## 1.5. ESTRUCTURA DEL INFORME

El estudio contiene, en el capítulo 1, una presentación del caso de estudio, los antecedentes y los objetivos del estudio, los alcances del estudio, la metodología y estructura del informe. En el capítulo 2 se describen la evolución y la última erupción volcánica del Reventador, las acciones tomadas por las provincias afectadas y los daños que afectaron a los sistemas de agua potable y alcantarillado. El capítulo 3 presenta la situación específica de la provincia de Pichincha, los daños en los sistemas de agua potable y alcantarillado dentro del Distrito Metropolitano de Quito y en los sistemas de captación del cantón Cayambe. La situación experimentada por la provincia del Napo se trata en el capítulo 4. Esta zona fue una de las que más daños sufrió, tanto en la población como en los sistemas de agua potable y alcantarillado. El capítulo 5 evalúa el impacto del Reventador en la provincia de Sucumbios, otra de las más afectadas por este fenómeno natural. Finalmente, en el capítulo 6, se resumen las conclusiones y recomendaciones emanadas del estudio.

Siete anexos complementan la documentación principal. El primero trata la cronología de las erupciones del Reventador; el segundo, las características del polvo volcánico; el tercero, el análisis del aire; el cuarto, los daños en los sistemas de energía eléctrica; el quinto, el análisis y control de calidad del agua; el sexto, el análisis fisicoquímico del agua potable; y el séptimo, las normas de calidad que pueden servir de punto de referencia para ser comparadas con los resultados obtenidos a lo largo del estudio.



## CAPÍTULO 2

## EL PROCESO ERUPTIVO DEL VOLCÁN REVENTADOR

### 2.1. GENERALIDADES

#### Localización

Altura : 3.562 msnm  
Coordenadas : 0° 4' 05'' S y 77° 40' 22'' W  
Provincias : Sucumbios y Napo  
Ubicación : Cordillera Subandina  
Sector : A 53 km al noroeste de Baeza,  
entre las provincias de Napo  
y Sucumbios

El volcán Reventador se levanta en las estribaciones orientales de la Cordillera Real, a 90 km al noroeste de Quito. Se trata de un volcán compuesto, cuya estructura más antigua ha formado un amplio anfiteatro abierto hacia el este, en cuyo interior se levanta el cono simétrico del Reventador, hasta 3.500 metros de altura<sup>1</sup>.

#### Geología

El volcán Reventador se encuentra en la región oriental ecuatoriana, en la cordillera subandina. Esta cordillera es producto de fallas de cabalgamiento<sup>2</sup> que permitieron el paso del magma hacia la superficie y formaron algunos volcanes como el Sumaco, el Yanayacu y el Pan de Azúcar. El volcán Reventador es una caldera en forma de herradura orientada hacia el este; esta, a su vez, constituye las ruinas de un cono volcánico anterior. El actual cono yace sobre el centro de esta caldera y presenta un pequeño cráter de 200 metros de diámetro. La caldera, por el contrario, se extiende en un diámetro de 3-4 kilómetros.

<sup>1</sup> Dirección Nacional de Defensa Civil, 4 de noviembre de 2002.

<sup>2</sup> Estas son fallas de traslación, de tipo inverso, originadas por compresión, en las cuales el plano de la falla está poco inclinado, por lo que se dice que el labio saliente "cabalga al otro".

Foto: Techint



Flujo piroclástico de la erupción del volcán Reventador.

La base del antiguo volcán es de 13 km mientras que la base del cono es de 2 km. En una de las erupciones del Reventador en 1944 se produjo un gran lahar generado aparentemente por intensas lluvias; a juzgar por las imágenes, quizá también existió una pequeña laguna que contribuyó al flujo de lodo.

El actual cono es simétrico y de él se pueden apreciar varias coladas de lava recientes así como otras anteriores. Los flujos de lodo, lava y piroclastos han formado una planicie hacia el este del volcán, que desemboca en el río Quijos<sup>3</sup>.

Este volcán está constituido por andesitas basálticas en el nuevo cono y andesitas en los restos de la caldera anterior. Habría que confirmar los materiales que produjeron el colapso del cono y que originaron la caldera; muy bien podrían ser dacíticos.

## 2.2. CRÓNICA HISTÓRICA

La crónica histórica sobre sus erupciones es bastante inexacta debido a su aislada ubicación e inaccesibilidad hasta bastante entrado el presente siglo. No obstante, desde el siglo XIX la existencia del volcán fue conocida por los caucheros de la zona y se estima que desde el año 1843 hasta 1898, probablemente erupcionó en 6 ó 7 ocasiones, no conociéndose con precisión la duración de estos eventos.

Entre 1912 y 1944 se reportaron frecuentes caídas de ceniza en el Valle Interandino, provenientes de este sector, por lo que se supone que la actividad del volcán fue la causa de este fenómeno<sup>4</sup>.

Entre 1972 y 1976 la actividad volcánica se restringió exclusivamente al interior del anfiteatro y consistió en emisiones de modestas coladas de lava en bloques y lahares<sup>5</sup> producidos por la remoción de la abundante ceniza acumulada en los flancos del volcán por el agua, producto de las intensas lluvias características de la región. Algunos flujos piroclásticos<sup>6</sup> se dispersaron sobre el fondo del anfiteatro, cerca de la base del cono<sup>7</sup>.

El volcán Reventador es muy activo. Su última erupción se produjo en enero de 1976 y fue documentada extensamente. En esa ocasión se presenciaron flujos piroclásticos por primera vez en el siglo. Al ser activo, está siendo monitoreado y hay algunos mapas de peligros asociados con este volcán, así como estudios mineralógicos del mismo; en su cima se pueden apreciar fumarolas<sup>8</sup>.

En el anexo A se reproduce una cronología de erupciones del Reventador, desde 1590 hasta 1976, elaborada por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional del Ecuador.

## 2.3. ÚLTIMA ERUPCIÓN

A los 26 años de su última erupción, el volcán Reventador inició un nuevo periodo eruptivo. En la madrugada del 3 de noviembre de 2002, aproximadamente a las 2.00 a.m., empezó a registrarse una importante actividad sísmica y entre las 7.30 a.m. y las 8.00 a.m. se produjo un explosión que generó un hongo de ceniza y gases de color oscuro, que posteriormente fue seguida de sucesivas explosiones acompañadas de ceniza y gases.

<sup>3</sup> Dirección Nacional de Defensa Civil, 4 de noviembre de 2002.

<sup>4</sup> Dirección Nacional de Defensa Civil, doc. cit. (el documento cita a Martínez, H. 1912, Bonifaz et al. 1933 y Samaniego, 1958).

<sup>5</sup> Los lahares son mezclas de materiales volcánicos, movilizados por el agua proveniente de la fusión del casquete glaciar, de un lago craterico o de fuertes lluvias. Estos flujos se mueven ladera abajo, movidos por la fuerza de la gravedad, a grandes velocidades (hasta 85 km/h), siguiendo los drenajes existentes; sin embargo, pueden sobrepasar pequeñas barreras topográficas con relativa facilidad.

<sup>6</sup> Mezcla caliente (300-800 °C) de gases, ceniza y fragmentos de roca, que descienden por los flancos del volcán, desplazándose a grandes velocidades (75-150 km/h).

<sup>7</sup> Dirección Nacional de Defensa Civil, doc. cit. (el documento cita a Hall 1977).

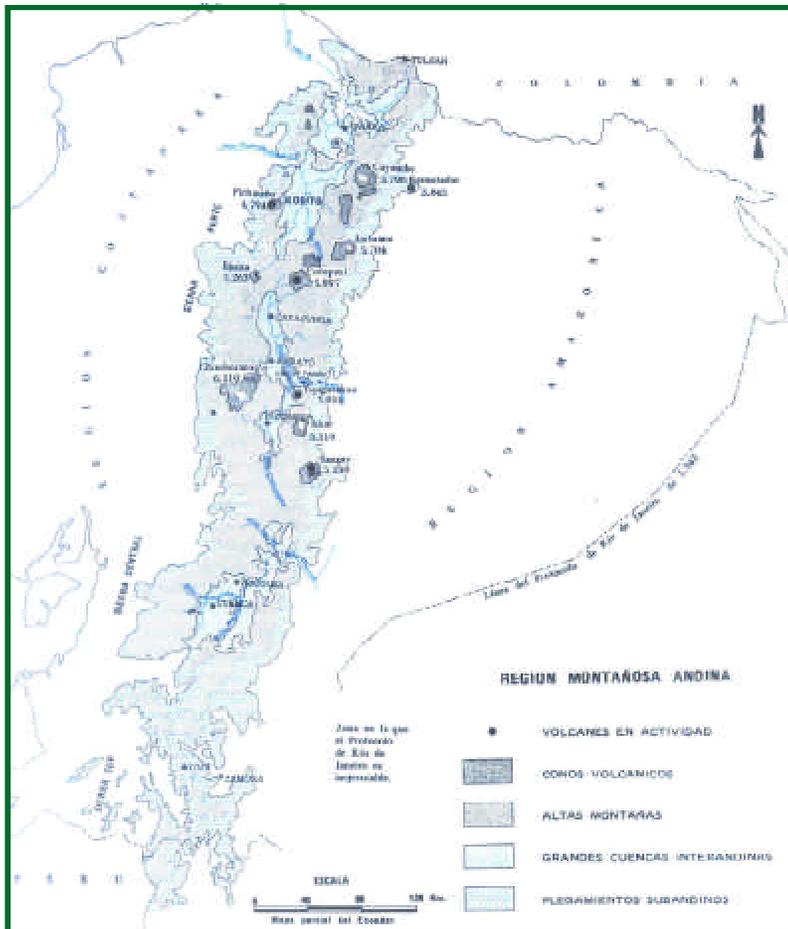
<sup>8</sup> Dirección Nacional de Defensa Civil, 4 de noviembre de 2002.

Aproximadamente a las 9.00 a.m. ocurrió una explosión mayor, que provocó flujos piroclásticos. Estos flujos llegaron hasta la carretera Baeza-Lumbaqui y cerraron el paso a la altura de la cascada de San Rafael. Toda esta actividad generó columnas de ceniza que alcanzaron alturas de 14 km sobre la cumbre del volcán y debido a que el viento sopla de oriente a occidente, la ceniza fue arrastrada hacia el callejón interandino y provocó caídas de ceniza en Baeza, Cayambe, Yaruquí, El Quinche, Tumbaco, Pifo, Sangolquí y Quito. También provocó caída de ceniza en las poblaciones de El Chaco, Baeza, Cayambe, Yaruquí, El Quinche, Tumbaco, Pifo, Sangolquí, Quito, El Reventador, Machachi, Alóag, Mulaló, Ibarra, Otavalo, Cotacachi, Santo Domingo de Los Colorados y Latacunga, entre otras.

En Baeza se reportó abundante caída de ceniza, al igual que en el sector del Reventador y El Chaco. No hubo reportes de víctimas y se evacuó todo el sector aledaño al volcán.

Los resultados del análisis fisicoquímico del polvo volcánico se muestran en el anexo B.

Fuente: Elementos de Geografía del Ecuador, 1989



Mapa 1. Volcanes del Ecuador.

**Cuadro 1. Secuencia semanal de la erupción volcánica del Reventador**

Fecha	Hora	Incidencia
03/11/02	07.00	Una explosión genera un hongo de ceniza y gases de color oscuro.
	09.00	Una explosión mayor provoca flujos piroclásticos que cierran el paso en la carretera Baeza-Lumbaqui.
	19.15	Se produce una explosión.
04/11/ 02	1.00	Se produce una explosión.
05/11/02	15.00	Una explosión genera una columna constante de gas.
06/11/02	—	Se reporta una columna constante de gas con poca ceniza en el sector El Chaco.
07/11/02	—	Una explosión provoca ceniza, vapor de agua y flujos piroclásticos. El espesor de la capa de ceniza que ha caído en Quito alcanza 5mm.

Fuente: Informe Ejecutivo 3. Proceso Eruptivo del Volcán Reventador, emitido por la Dirección Nacional de Defensa Civil, el 7 de noviembre de 2002.

En la provincia del Napo fueron afectadas las comunidades de Cascabel, Las Palmas, Tres Cruces, Guatoringo, Salado, Gonzalo Díaz de Pineda y Piedra Fina, con una población aproximada de 2,000 personas.

**Cuadro 2. Daños generales por la erupción volcánica**

Sección	Daños
Población	La erupción del volcán Reventador no causó desgracias personales. La población cuya integridad pudo haber sido afectada fue evacuada por personal de Defensa Civil y la Cruz Roja de la provincia de Sucumbios y Napo.
Sector agrícola y ganadero	De acuerdo con la evaluación, se estimó que fueron afectadas 40.000 hectáreas de pastizales y 700 cabezas de ganado en el sector de la provincia del Napo.
Sector energético	En las poblaciones del Chaco y Reventador se suspendió la energía eléctrica a causa de los cortocircuitos causados por la caída de cenizas.
Vialidad	Se vio afectada la vía Lago Agrio–Quito a la altura del km 105 en el cantón Chaco, provincia del Napo. Se destruyeron los puentes sobre los ríos Montana y Márquez.
Evacuados	En el recinto La Libertad, parroquia El Reventador, cantón Gonzalo Pizarro, fueron evacuadas 27 familias (hombres: 25, mujeres: 19, niños menores de 5 años: 10, niños mayores de 5 años: 24) conformadas por 78 personas. En el sector de Lumbaqui, cantón Gonzalo Pizarro, fueron evacuados 400 trabajadores de la compañía Ducto Techint.

## 2.4. ACCIONES TOMADAS

La Dirección Nacional de Defensa Civil dispuso que a partir de las 7.00 del 3 de noviembre se activaran las Juntas Provinciales de Seguridad Ciudadana y Defensa Civil de Sucumbios, Napo y Orellana, y se adoptaron varias medidas para cautelar la vida y la salud de la población, con mascarillas y atención de primeros auxilios.

La Junta Provincial del Napo y el Centro de Operaciones Emergentes de Sucumbios atendió, en la medida de sus posibilidades, a la población en lo que corresponde a generadores de luz, carpas, mascarillas y vituallas.

El Departamento de Comunicación Social de la Dirección Nacional de Defensa Civil difundió boletines de prensa a los diferentes medios de comunicación, sobre las acciones tomadas a raíz de la erupción del volcán El Reventador, recomendaciones sobre el consumo de agua potable y normas de protección personal por la caída de ceniza. Asimismo, la mencionada institución aportó generadores de energía eléctrica, agua, mascarillas y radios para las comunicaciones.

Se llevaron a cabo coordinaciones con el Centro de Operaciones de Emergencia del Distrito Metropolitano de Quito, a fin de desplegar acciones a través de la Junta Provincial de Defensa Civil de Pichincha.

Por otro lado, la noche del 3 de noviembre de 2002 el Gobierno Central declaró el estado de emergencia en las provincias de Pichincha, Napo y Sucumbios.



## CAPÍTULO 3

## PROVINCIA DE PICHINCHA

Las actividades en la provincia de Pichincha fueron suspendidas y llegaron incluso a la restricción vehicular obligatoria. Se estima que el nivel de ceniza caída fue de 3 mm en el Distrito Metropolitano de Quito y de hasta 2 cm en las estribaciones occidentales de la Cordillera Oriental. Por la acumulación de ceniza, se produjo colapsamiento de techos en construcciones mixtas. Cerca de 2 millones de personas fueron afectadas por la caída de cenizas en esta provincia.

### Áreas afectadas

Distrito Metropolitano de Quito, cantones Cayambe, Pedro Moncayo, Rumiñahui y Mejía: muy afectados; Pedro Vicente Maldonado, San Miguel de Los Bancos, Puerto Quito y Santo Domingo de los Colorados: afectados en menor grado (mapa 2) <sup>1</sup>.

### 3.1. DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

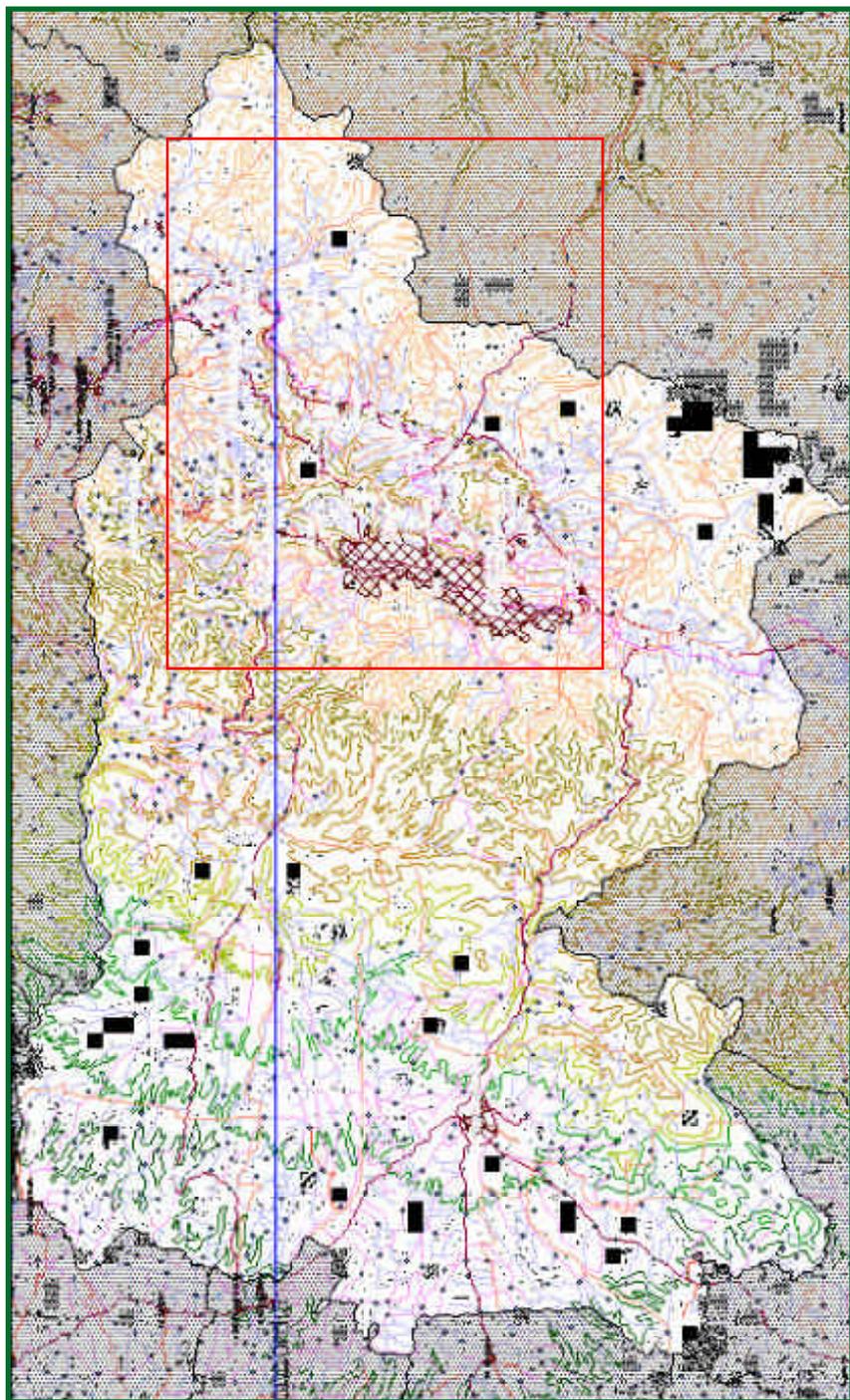
El Distrito Metropolitano de Quito, por intermedio del Centro de Operaciones Emergentes, coordinó todas las medidas y acciones para afrontar la emergencia surgida por la caída de cenizas en su área de influencia, y delegó a cada uno de sus miembros las respectivas responsabilidades.

Los organismos que componen el Centro de Operaciones Emergentes Metropolitano son los siguientes:

- Municipio Metropolitano de Quito, representado por el alcalde, quien preside el organismo.
- Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable-Quito
- Dirección Metropolitana Ambiental
- Unidad de Prevención de Desastres
- Dirección Metropolitana de Seguridad Ciudadana
- Dirección Metropolitana de Salud
- Empresa Metropolitana de Aseo
- Empresa Metropolitana de Obras Públicas
- Empresa Metropolitana de Transporte
- Empresa Eléctrica Quito

<sup>1</sup> Dirección Nacional de Defensa Civil, 7 de noviembre de 2002.

Fuente: ECOCIENCIA, 2002



Mapa 2. Provincia de Pichincha. En el recuadro puede observarse el área de mayor impacto de la erupción del Reventador.

- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
- Emergencias 911
- Cruz Roja
- Defensa Civil
- Escuela Politécnica Nacional, Instituto Geofísico
- Policía
- Ejército
- Administraciones Zonales
- ANDINATEL (telefonía)
- Ministerio de Agricultura y Ganadería
- Ministerio de Salud Pública

### 3.1.1. Efectos provocados por la erupción del volcán Reventador

#### a) Efectos en la salud

La Dirección Metropolitana de Salud realizó varias actividades de emergencia, entre las que se encuentran la atención a la ciudadanía durante la emergencia, y estos fueron los resultados.

**Cuadro 3. Efectos sobre la salud provocados por la erupción volcánica**

Efectos en la salud	N.º de pacientes
Pacientes atendidos por afecciones respiratorias o por exacerbación, la mayoría niños.	344
Pacientes con irritación ocular	28
Pacientes atendidos por traumas producidos durante las tareas de limpieza de la ceniza	68
Problemas digestivos	21
Problemas dermatológicos	6
Total de afectados por la caída de ceniza <sup>a</sup>	457
Fallecidos <sup>b</sup>	5

<sup>a</sup> Anexo C. Análisis de material particulado en el aire y características de la lluvia semanas antes y después de la erupción.

<sup>b</sup> Las personas fallecieron al caer desde las cubiertas de las casas mientras realizaban trabajos de limpieza.

#### b) Efectos en las plantas de tratamiento de agua potable

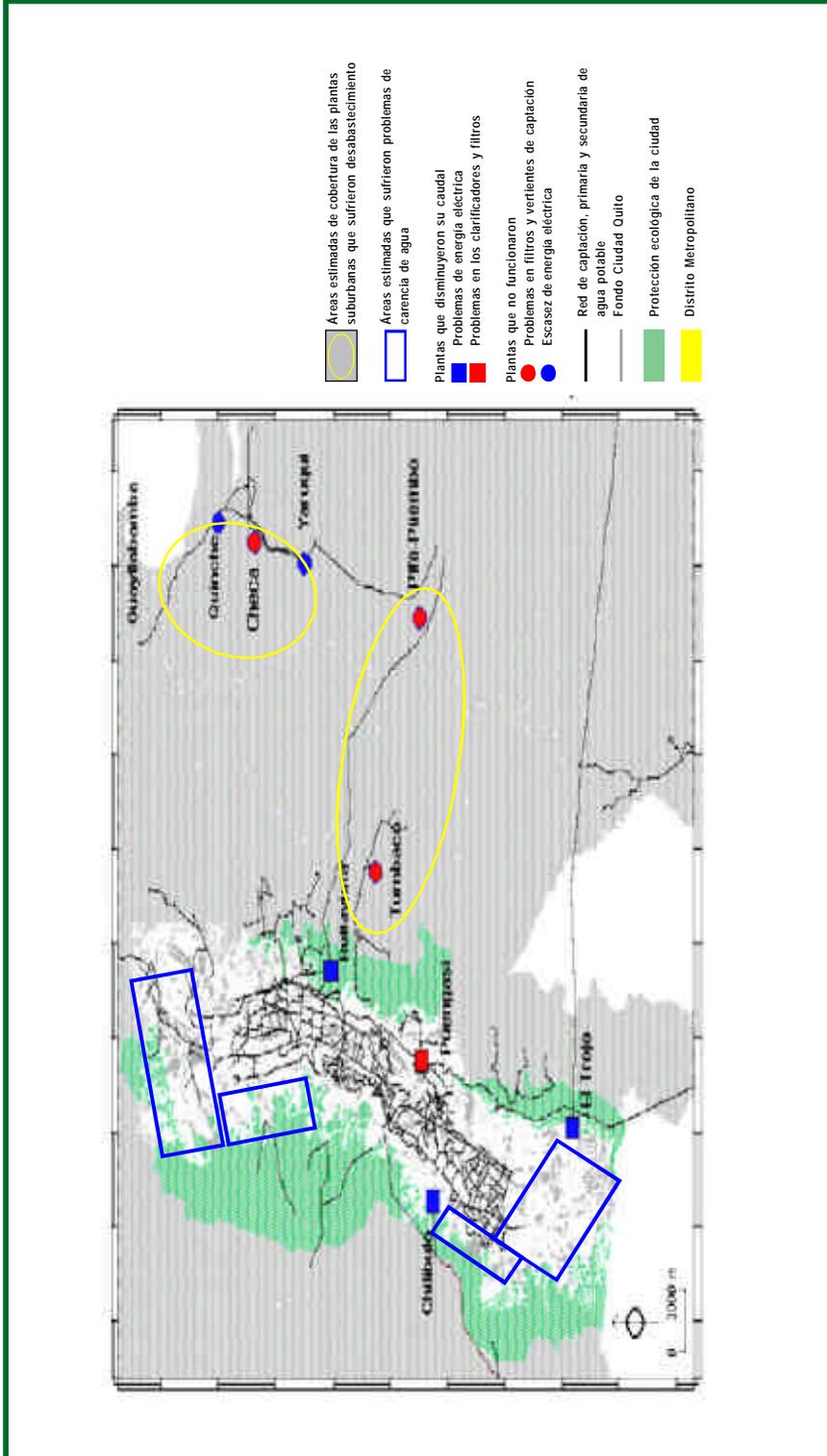
Dentro del Centro de Operaciones Emergentes Metropolitano, el organismo que se encargó de evaluar los daños ocurridos, la calidad y la producción normal de agua potable fue la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable-Quito.

La Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable-Quito tiene a su cargo el control de 22 plantas potabilizadoras de agua, 13 en la zona urbana y, 9 en los sectores rurales (mapa 3).

**Cuadro 4. Plantas potabilizadoras de agua del Distrito Metropolitano de Quito**

Zona urbana	Zona rural
Bellavista	Conocoto
Puengasi	El Quinche
El Placer	Checa
Toctiuco	Yaruqui
Torohuco	Tababel
Noroccidente	Tumbaco
Rumipamba	Guayllabamba
Cochabamba	Cayuma
Iñaquito Alto	Pifo
Chilibulo	
Troje	
Libertad	
Chillogallo	
Pichincha Sur	

Fuente: Unidad de Prevención de Desastres-Dirección Metropolitana de Seguridad Ciudadana, 2002



Mapa 3. Mapa de las plantas y áreas de abastecimiento de agua potable durante la semana de emergencia. Quito, noviembre de 2002.

Los problemas reportados y encontrados se relacionaron con el desabastecimiento de agua. El problema de mayor desabastecimiento se registró en el valle de los Chillos. Las causas que ocasionaron este hecho fueron dos: una directa, la presencia de ceniza en los filtros y la contaminación con ceniza en las líneas de captación de agua cruda, y una indirecta, la suspensión de la energía eléctrica.

En el Distrito Metropolitano de Quito el efecto fue menor. La disminución de los caudales en las plantas de tratamiento de agua potable de Bellavista, Chilibulo y Troje se debió en parte a la carencia de energía eléctrica, lo que no sucedió en Puengasí, donde el caudal decreció por la acumulación de ceniza en los clarificadores.

Otro punto importante es la calidad del agua. Si bien análisis realizados por la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable-Quito indican que no hubo problemas graves, se notaron cambios en la turbiedad y el pH del agua cruda, sin que esto haya influido en su correcta potabilización. La cantidad de ceniza registrada el 4 de noviembre indica un incremento del pH en la producción de las plantas, pero sin que ello incidiera en la salud de la población.

La planta que durante más tiempo tuvo problemas, según la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable-Quito, fue la de Tumbaco, que pasó inactiva casi siete días. A continuación están las de Checa, El Quinche y Yaruquí. Todo ello afectó el abastecimiento de agua de los valles, por la carencia de energía eléctrica y los daños producidos en los filtros por la ceniza. A este problema se suma la alta cantidad de sedimentos en el abastecimiento de agua cruda, que produjo problemas de caudales en las plantas suburbanas en general. A pesar de ello, las plantas rurales que tuvieron problemas por cualquiera de las razones analizadas corresponden al 2,57% de la producción diaria en las 22 plantas de tratamiento; es decir, durante el periodo de emergencia, se cubrió normalmente 97,43% de la demanda total.

Los porcentajes de cobertura (97,43%) indicados en los informes de la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable-Quito (2002) son analizados en el cuadro 7, pero es necesario puntualizar que durante el evento de la caída de cenizas, las plantas de tratamiento de agua potable (urbanas y rurales) incrementaron su producción en 2,1% con relación a la producción de octubre de 2002 y de 2,7% con relación a la producción media de enero a octubre, para un periodo de 10 días (cuadros 5 y 6).

Este porcentaje se refería al conjunto de las 22 plantas de todo el cantón de Quito (urbanas y rurales) y no a la ciudad de Quito. También es importante indicar que existen tuberías que se encuentran interconectadas dentro de la ciudad de Quito, con el objeto de prevenir casos de emergencias, y de esta manera se logró dentro del sector urbano cubrir las demandas originadas; en la zona rural el consumo se cubrió en parte por medio de tanqueros.

Si bien los valles no son un área densamente poblada, su desabastecimiento involucró zonas considerables en tamaño. Las zonas más densas son principalmente centros poblados que tienen mayor importancia que un barrio, pues son cabeceras parroquiales donde se centraliza la dinámica socioeconómica de un sector (mapa 3).

En cambio, en cuanto a la duración del desabastecimiento de agua, los centros poblados del valle pasaron del promedio de 60%. Por otra parte, se notó claramente la vulnerabilidad de estas plantas y su fuerte dependencia de la red de energía eléctrica (anexo D), especialmente de las más grandes. El problema de energía eléctrica no fue tan grave como para dejar inoperativas a las plantas, pero de haber tenido mayor gravedad, se habrían suscitado más problemas de desabastecimiento en Quito.

Cuadro 5. Cuadro de producción de agua potable, realizado por las plantas de tratamiento de agua potable urbanas del Distrito Metropolitano de Quito. Noviembre de 2002

Planta	Producción de agua del 3 al 12 de noviembre de 2002 en m <sup>3</sup>												Total agua tratada		
	Domingo 3	Lunes 4	Martes 5	Miércoles 6	Jueves 7	Viernes 8	Sábado 9	Domingo 10	Lunes 11	Martes 12	Volumen m <sup>3</sup>	Caudal l/s	%		
Urbanas															
Bellavista	155.012	168.435	198.206	187.894	183.280	191.194	185.203	173.661	171.460	182.590	1.796.865	2.079,7	34		
Puengasi	175.718	187.417	186.819	196.029	197.657	189.397	187.398	185.257	184.713	187.688	1.878.093	2.173,72	35,54		
El Placer	56.419,2	53.568	55.209,6	52.272	59.616	56.937,6	55.209,6	54.086,4	54.172,8	59.086,4	556.578	644,19	10,53		
Toctiuco	3.412,8	4.907,52	5.080,32	4.950,72	5.037,12	4.942,08	5.408,64	5.106,24	5.045,76	4.190,4	48.082	55,65	0,91		
Torhuco	285,12	285,12	285,12	285,12	285,12	285,12	285,12	285,12	285,12	285,12	2.851	3,3	0,05		
Noroccidente	15.751	15.903	16.093	12.100	11.709	11.708	11.715	13.063	13.642	13.980	135.664	157,02	2,57		
Rumipamba	3.024	3.024	3.024	3.024	3.024	3.024	3.024	3.024	3.024	3.024	30.240	35	0,57		
Cochapamba	1.468,8	604,8	604,8	1.468,8	1.468,8	1.468,8	1.468,8	1.468,8	1.468,8	1.468,8	12.960	15	0,25		
Inequito Alto	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	2.160	2,5	0,04		
Chilibulo	15.898	16.157	16.762	15.725	16.243	15.984	16.157	15.898	15.811	15.811	160.446	185,7	3,04		
Troje	24.170	27.743	35.998	26.121	26.194	31.200	26.897	27.874	27.443	24.868	278.508	322,35	5,27		
Libertad Chillogallo	562	579	588	605	596	587	597	605	605	596	5.920	6,85	0,11		
Pichincha Sur	7.614	7.884	8.208	8.121	8.208	8.208	8.208	8.121	8.035	7.949	80.556	93,24	1,52		
Subtotal	459.550,92	486.723	527.093,84	508.811,64	513.534,04	515.151,6	501.787,2	488.665,56	485.921,5	501.753	4.988.923	5.774,22	94,4		
Porcentajes	94,07	95,36	94,84	95,31	94,66	94,32	93,89	93,84	93,69	93,92	94,39	94,39			

Fuente: Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable-Quito

Cuadro 6. Tabla de producción de agua potable, realizada por las plantas de tratamiento de agua potable rurales del Distrito Metropolitano de Quito. Noviembre de 2002

Planta	Producción de agua del 3 al 12 de noviembre de 2002 en m <sup>3</sup>												Total agua tratada		
	Domingo 3	Lunes 4	Martes 5	Miércoles 6	Jueves 7	Viernes 8	Sábado 9	Domingo 10	Lunes 11	Martes 12	Volumen	Caudal	%		
											m <sup>3</sup>	Ls			
Rurales															
Conocoto	15.898	16.157	16.762	15.725	16.243	15.984	16.157	15.898	15.811	15.811	160.446	185,7	3,04		
El Quimche	3.110,4	1.036,8	3.196,8	0	2.851,2	3.888	5.184	5.529,6	5.184	5.616	35.596,8	41,2	0,67		
Checa	1.296	0	0	518,4	1.036,8	1.728	1.296	864	1.987,2	1.987,2	10.713,6	12,4	0,2		
Yaruquí	4.838,5	2.505,6	3.628,8	4.233,6	4.320	4.838,4	5.011,2	4.147,2	4.147,2	3.888	41.558,5	48,1	0,79		
Tababel	0	1.210	1.210	1.210	1.210	1.210	1.210	1.210	1.210	950	10.630	12,3	0,2		
Tumbaco	605	691	1.296	1.382	1.210	173	778	1.382	864	950	9.331	10,8	0,18		
Guayllabamba	1.036,8	691,2	432	0	0	1.036,8	777,6	1.209,6	1.209,6	950,4	7.344	8,5	0,14		
Cayuma	2.160	1.382	2.160	1.982	2.074	2.160	2.246	1.814	2.333	2.333	20.644	23,89	0,39		
Subtotal	28.944,7	23.673,6	28.685,6	25.051	28.945	31.018,2	32.659,8	32.054,4	32.746	32.485,6	296.263,9	342,89	5,61		
Porcentajes	5,93	4,64	5,16	4,69	5,34	5,68	6,11	6,16	6,31	6,08	5,61	5,61			
Gran total	488.495,62	510.397	555.779,44	533.862,64	542.479,04	546.099,8	534.447	520.719,96	518.667,5	534.238	5.285.186	6.117	110		

Fuente: - Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable-Quito

### c) Efectos en la producción de agua potable

Los principales efectos en la producción de agua potable del periodo de emergencia se resumen a continuación:

La producción en las plantas de tratamiento urbanas y rurales se incrementó en 2,1%, con relación a la producción de octubre de 2002 y en 2,7% con relación a la producción media de enero a octubre, para un periodo de 10 días.

La producción en las plantas rurales mostró interrupciones, debido especialmente a la falta de energía eléctrica (anexo D).

Las altas cargas de sedimento en el agua cruda obligaron a paralizar las plantas de tratamiento para ejecutar labores de limpieza del material acumulado.

Las siete plantas de tratamiento de agua potable del Distrito Metropolitano de Quito ubicadas en la zona rural que tuvieron problemas por falta de energía eléctrica y altas cargas de sedimento corresponde a 2,57% de la producción diaria, en las 22 plantas de tratamiento; es decir, durante el periodo de emergencia, se cubrió normalmente 97,43% de la demanda total (cuadro 7).

El caudal medio total diario tratado en las plantas desde el 4 hasta el 14 de noviembre de 2002 superó el caudal medio diario de octubre, que fue de 5.779 L/s, con un incremento medio de 5,5%. En los cuadros 5 y 6 se puede apreciar la producción de agua potable tanto para plantas de tratamiento urbanas como rurales, respectivamente.

**Cuadro 7. Elementos del sistema de agua potable del Distrito Metropolitano de Quito por tipo, tiempo y área de afectación**

Elementos del sistema de agua potable	Tipo de afectación	Tiempo de afectación	Áreas afectadas
Bellavista	Problemas de bombeo por falta de energía eléctrica	Un día (4 de noviembre)	Noroccidente de Quito, extremo norte de Quito
El Troje	Problemas en la producción de agua potable por carencia de energía eléctrica	Un día (4 de noviembre)	Extremo sur de Quito
Puengasi	Problemas en los clarificadores por acumulación de ceniza: disminución de caudal	Medio día (5 de noviembre)	Problemas temporales al sur de Quito y sur oriente de Quito
Chillibulo	Problemas de energía eléctrica	50% funcionamiento un día (4 de noviembre)	Sur oriente de Quito
Checa	Caída de ceniza en los filtros	5 días (desde el 3 hasta el 7 de noviembre)	Problemas de abastecimiento en poblados de Checa y poblaciones aledañas
El Quinche	Inoperatividad por carencia de energía eléctrica	5 días (desde el 3 hasta el 7 de noviembre)	Poblaciones de El Quinche
Tumbaco	Acumulación de ceniza en filtros	3 días con operación al 50% (días 5, 6 y 7) 4 días sin operación (3, 4, 8 y 9 de noviembre)	Poblaciones de Tumbaco y parte de Cumbaya
Pifo	Acumulación de ceniza en filtros	4 días (desde el 3 hasta el 6 de noviembre)	Poblaciones de Pifo, Puembo
Yaruquí	Inoperatividad por carencia de energía eléctrica	5 días (desde el 3 hasta el 7 de noviembre)	Poblaciones de Yaruquí
Cercanías de los valles de agua cruda	Concentración de sedimentos por caída de ceniza	3 días (desde el 4 hasta el 6 de noviembre)	Disminución del caudal en algunas plantas de tratamiento de valles como Tumbaco, Checa, Tababel, El Quinche, Yaruquí, Cayuma, Guayllabamba

Fuente: Unidad de Prevención de Desastres – Dirección Metropolitana de Seguridad Ciudadana, noviembre de 2002

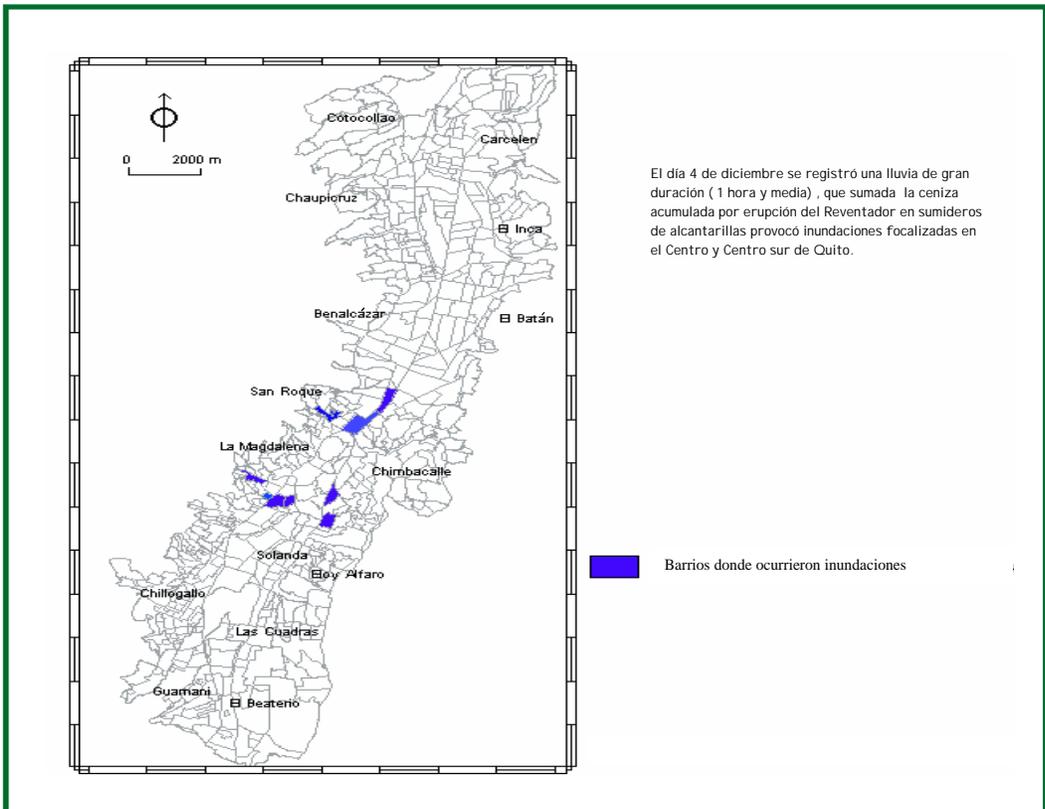
d) Efectos en el sistema de alcantarillado

La Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable, la responsable del sistema de alcantarillado, presenta las siguientes observaciones sobre los efectos de la erupción en este terreno:

La semana de la emergencia no se registró ningún problema, pero las consecuencias de la acumulación de ceniza en áreas “invisibles” como colectores y arterias del sistema de alcantarillado produjeron efectos de inundación, tras las lluvias presentadas posteriormente por la época invernal. La precipitación diaria tuvo su pico máximo el 4 de diciembre, con una lluvia torrencial de alta intensidad y duración. En este día 4 se registraron inundaciones en los sectores que se observan en el mapa 4.

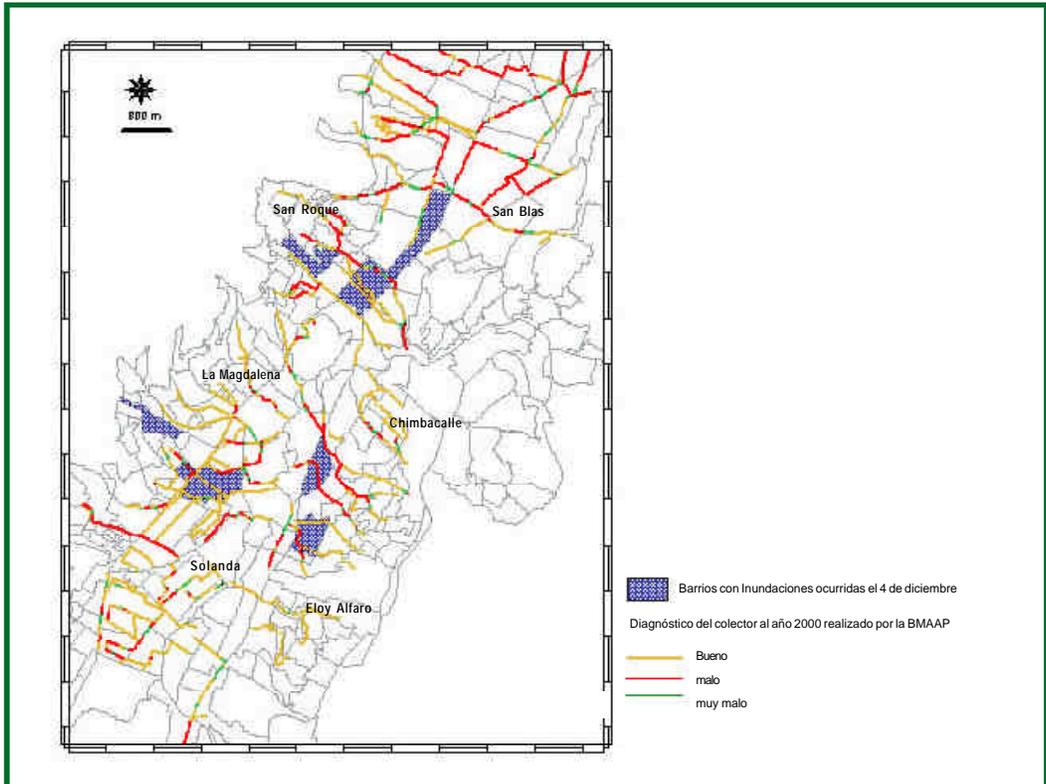
En el mapa 5 se relacionan los barrios que sufrieron inundaciones y el estado de los colectores críticos determinados a partir de estudios del Plan Maestro de Alcantarillado del año 2002 de la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable-Quito. En los tramos de colectores “malos” y “muy malos” no solo influyó su estado y el caudal real máximo de su capacidad sino también la formación sólida y compacta en que se transforma la ceniza en contacto con zonas húmedas, lo que produce problemas en el flujo de caudales y su taponamiento. Por ello la ceniza fue un catalizador en el fenómeno de inundaciones en tramos críticos del sistema de alcantarillado.

Fuente: Unidad de Prevención de Desastres-Dirección Metropolitana de Seguridad Ciudadana, 2002



Mapa 4. Barrios donde ocurrieron inundaciones como consecuencia de caída de ceniza. Quito, noviembre de 2002.

Fuente: Unidad de Prevención de Desastres-Dirección Metropolitana de Seguridad Ciudadana, 2002



**Mapa 5. Barrios donde ocurrieron inundaciones y su relación con el estado de colectores.**

### 3.1.2. Medidas de mitigación

El Centro de Operaciones Emergentes, como organismo central, realizó y delegó responsabilidades a las diferentes instituciones que lo conformaban, y adoptó varias medidas de prevención y recomendaciones generales con el objeto de mitigar los problemas causados por el proceso eruptivo.

### 3.1.3. Acciones ejecutadas por el Distrito Metropolitano de Quito

El personal técnico y operativo del Departamento de Producción procedió a la protección de las unidades de filtración en las plantas de tratamiento, para lo cual se utilizaron plásticos sobre estructuras ligeras.

Con la finalidad de controlar adecuadamente la calidad del agua cruda y tratada (anexos E y F), se incrementó la frecuencia del monitoreo durante las 24 horas del día en las principales plantas de tratamiento (Puengasí, Bellavista, Placer y El Troje), y se determinaron dos grupos de análisis:

- Análisis de control básico, que incluye pH, color, alcalinidad y turbiedad con un intervalo de dos horas.
- Análisis fisicoquímicos y bacteriológicos completos, que incluyen el monitoreo diario de 28 parámetros de calidad del agua.

- Análisis de metales pesados en el laboratorio de control de calidad.
- Análisis de concentración de gas sulfhídrico en el agua tratada y cruda.

Limpieza de ceniza en las áreas libres y losas de cubierta de las plantas de tratamiento.

Debido a la alta concentración de sedimentos en el agua cruda, las unidades de floculación y sedimentación de las plantas de tratamiento (Tumbaco, Tababel, Checa, El Quinche, Yaruquí, Cayuma, Guayllabamba), se colmataron con gran cantidad de lodo, que fue evacuado con la colaboración del personal de la Dirección Metropolitana Ambiental, el Ejército, los moradores de las poblaciones rurales y los contratistas.

Con la finalidad de preservar el buen estado de los lechos filtrantes, se aumentó la frecuencia en el lavado de los filtros de las plantas de tratamiento.

Para la protección de los equipos eléctricos y mecánicos, se procedió a cubrirlos con plásticos.

Se realizó la entrega de implementos y equipos de seguridad al personal técnico operativo, que fueron proporcionados por el Departamento de Seguridad Industrial del Distrito Metropolitano de Quito.

En cuanto a los análisis de la calidad del aire, la concentración de material particulado fue elevada en periodos que no presentan lluvias en comparación con los periodos lluviosos. La semana previa a la erupción del volcán Reventador, el promedio de pH de la lluvia en seis puntos de la ciudad fue de 6,2 unidades; en tanto que la semana de la erupción, el promedio fue de 4,9 unidades, lo cual indica que la erupción volcánica generó un proceso de lluvia ácida en el Distrito Metropolitano de Quito (anexo D).

## 3.2. CANTÓN CAYAMBE

Con la erupción del volcán Reventador y la caída de ceniza en el cantón Cayambe, las medidas de mitigación inmediata fueron tomadas por la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado-Cayambe. Estas acciones estuvieron encaminadas básicamente a la evaluación y protección de las fuentes de captación de agua cruda que alimentan los tanques de abastecimiento de agua potable de la ciudad, con el fin de implementar las correcciones correspondientes.

### 3.2.1. Abastecimiento de agua potable

La población de Cayambe se abastece de agua de varias captaciones, que tienen la particularidad de ser de afloramiento superficial y aprovechadas en su origen; es decir, estas fuentes de captación tienen un área pequeña de donde brota el agua y desde este lugar se la conduce mediante tuberías a los tanques de bombeo, hechos de hormigón armado.

Desde las estaciones elevadoras se conduce el agua hasta los tanques de distribución que se localizan en la ciudad de Cayambe.

Foto: Ramón Macías



Segundo tanque de almacenamiento de agua o reserva Álvarez Chiriboga, ciudad de Cayambe, cantón Cayambe, provincia de Pichincha.

### a) Captación Tajamar

Es una vertiente que capta las aguas mediante cajones de hormigón armado, cerrados y confiables. Actualmente abastece a Cayambe con 64% del caudal total de agua. La incidencia de la ceniza proveniente del Reventador fue mínima en esta captación y no afectó la fuente. Luego de una limpieza general, el sistema trabajó normalmente, y se incrementó el período de bombeo en una hora.

Foto: COOPI



Fuente de afloramiento superficial de Tajamar, cantón Cayambe, provincia de Pichincha.

Foto: COOPI



Estación de bombeo y tanque recolector de agua en la fuente de Tajamar.

### b) Captaciones Cariacu, Buga, Paquiestancia

Estas tres son vertientes que se captan mediante cajones cerrados y confiables. Las tres abastecen con 21% de agua a Cayambe. En su parte exterior, los cajones se encontraron cubiertos de ceniza. Se procedió inmediatamente a realizar una limpieza general y la fuente quedó habilitada.

### c) Captación Pinahurco

Es una captación abierta y, por consiguiente, fue la más afectada. Abastece a Cayambe con 15% del caudal total. Con la finalidad de mitigar la incidencia de la ceniza caída, se realizó la limpieza de los desarenadores en la fuente y en los tanques de almacenamiento los días martes 5 y jueves 7 de noviembre. Se logró mejorar las condiciones del agua y el nivel del pH bajó.

Es importante destacar que en Cayambe no existe planta de tratamiento de agua y solo se realiza desinfección en los tanques de distribución. Tampoco se cuenta con un laboratorio para análisis de agua.

#### 3.2.2. Acciones de mitigación adoptadas por el municipio de Cayambe

- Limpieza general exterior de las captaciones de las vertientes de Tajamar, Cariacu, Buga y Paquiestancia.
- Limpieza y lavado de los tanques desarenadores y los tanques de abastecimiento de agua del sector de Los Pinos y Cruz Loma.
- Lavado y desfogue de los tanques de almacenamiento de Álvarez Chiriboga.
- Suspensión del ingreso de agua a la captación superficial de Pinahurco y a los tanques de almacenamiento de Álvarez Chiriboga.
- Toma de muestras de agua en Tajamar, Cariacu, Buga y Paquiestancia, así como en la red de distribución de la ciudad. En todos los casos, el análisis de estas muestras, realizado en el laboratorio de Nestlé, dio como resultado que las mismas se encontraban dentro de las normas aceptadas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización sobre el agua de consumo humano.

**Cuadro 8. Análisis fisicoquímicos del agua realizados por el laboratorio de Nestlé**

Fuente	Fecha de muestra	Fecha de reporte	Análisis fisicoquímico	Resultado	Norma
Cariacu	04/11/02	05/11/02	pH	6,90	6,5 – 9
			Conductividad $\mu\text{s/cm}$	146,0	
			SDT ppm	118	1.000
			Cadmio mL/L	0,00005	0,01
			Plomo mL/L	0	0

Fuente	Fecha de muestra	Fecha de reporte	Análisis fisicoquímico	Resultado	Norma
Tajamar	04/11/02	05/11/02	pH	7,20	6,5 – 9
			Conductividad $\mu\text{s/cm}$	228	
			SDT ppm	184	1.000
			Cadmio mL/L	0,00005	0,01
			Plomo mL/L	0	0

Fuente	Fecha de muestra	Fecha de reporte	Análisis fisicoquímico	Resultado	Norma
Ciudad Cayambe	04/11/02	05/11/02	pH	7,10	6,5 – 9
			Conductividad $\mu\text{s/cm}$	200	
			SDT ppm	161	1.000
			Cadmio mL/L	0,00005	0,01
			Plomo mL/L	0	0

### 3.2.3. Comunidades rurales

El problema que presentaron las comunidades rurales dentro del cantón Cayambe fueron:

Contaminación de las fuentes de agua por la caída de cenizas, lo que provocó un alto índice de turbiedad, color y pH ácido. Esto aconteció en 27 comunidades. En el anexo H se muestra la captación de la comunidad de Pambamarca.

Foto: Patricio Álvarez, Municipio de Cayambe



Fuente de agua de tipo abierta, donde se pueden observar el color y la turbiedad del agua, producidos por la caída de ceniza. Comunidad de Pambamarca.

Foto: COOPI



Bodega de almacenamiento de agua envasada que se entregó a las comunidades. Ciudad Cayambe, cantón Cayambe, provincia de Pichincha.

Foto: COOPI



Entrega de agua embotellada a la comunidad de Pambamarca, cantón Cayambe, provincia de Pichincha. Noviembre de 2002.

### Acciones de mitigación emprendidas por el municipio de Cayambe en las comunidades rurales

Frente a la contaminación de fuentes de agua en las zonas rurales, el municipio se apresuró en firmar un convenio para comprar agua embotellada que pudiera ser distribuida a las comunidades que tenían problemas.

El costo de la entrega de agua a las comunidades afectadas por el municipio fue de 4.998,83 dólares americanos. Se entregaron 12.078 unidades de dos litros cada una, lo que hizo un total de 24 m<sup>3</sup> y 156 litros.

#### 3.2.4. Alcantarillado

El sistema de alcantarillado en Cayambe no sufrió daño alguno en su estructura ni en el funcionamiento hidráulico a consecuencia de la caída de cenizas, de acuerdo con los informes de la Empresa Metropolitana de Agua Potable y Alcantarillado-Cayambe.

El sistema de alcantarillado no se vio afectado por la rápida repuesta de la comunidad para realizar la limpieza y recolectar las cenizas.

Según el Departamento de Relaciones Públicas del Municipio de Cayambe, el espesor de la ceniza caída sobre la ciudad alcanzó un promedio de entre 3 y 4 cm.

Foto: Patricio Álvarez, Municipio de Cayambe



Barrido y recojo de cenizas por parte de la población y empleados municipales en el parque central, ciudad de Cayambe, cantón Cayambe, Provincia de Pichincha.

Foto: Patricio Álvarez, Municipio de Cayambe



En esta imagen se puede observar la gruesa capa de ceniza acumulada en la vía de acceso a la comunidad de Cangagua de Larcachaca, ciudad de Cayambe.



## CAPÍTULO 4

## PROVINCIA DEL NAPO

Las provincias del Napo y Sucumbios son los espacios territoriales que comparten el volcán Reventador y, por tanto, las poblaciones que se localizan en ellas fueron las que sufrieron el mayor impacto de la erupción (mapa 6). Hay que señalar que el fenómeno eruptivo causó importantes daños en esas poblaciones, pero debido a la densidad poblacional en ellas y a la carencia de obras de infraestructura de abastecimientos de agua potable y alcantarillado, los impactos visibles e inmediatos de la erupción no constituyeron fuertes daños.

En esta provincia se produjo la caída de ceniza y en la zona de El Chaco fueron evacuadas 30 familias, según Defensa Civil. Los cantones más afectados fueron los de El Chaco y Quijos. En el sector agrícola la ceniza abarcó aproximadamente 50.000 hectáreas.

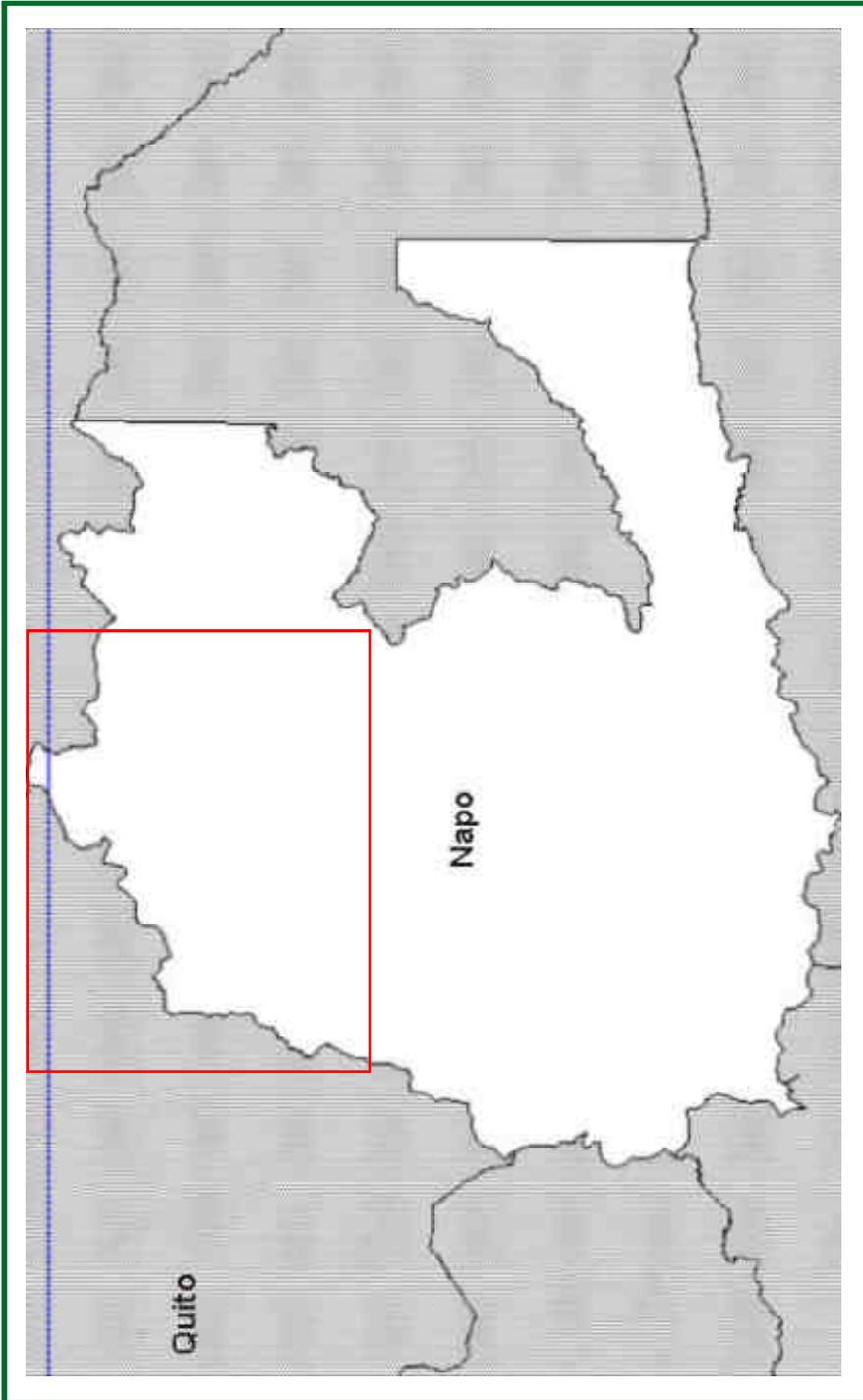
### 4.1. ABASTECIMIENTO DE AGUA Y ALCANTARILLADO<sup>1</sup>

En forma general, los sistemas de abastecimiento de agua potable fueron afectados especialmente por la caída de cenizas, sobre todo donde existen captaciones a cielo abierto y de fuentes superficiales como ríos, esteros y lagunas. Fue característico el taponamiento por exceso de sedimentos en las tomas de agua de las captaciones.

---

<sup>1</sup> La información que se detalla a continuación fue obtenida del Informe de Trabajos Ejecutados en los Sistemas de Agua de los Cantones Quijos, El Chaco, Gonzalo Pizarro y Cáscales, elaborado por Cooperazione Internazionale (COOPI).

Fuente: Ecociencia, 2003



Mapa 6. Provincia del Napo. En el recuadro puede observarse el área donde la erupción del Reventador tuvo su mayor impacto.

### a) Parroquia Oyacachi

Se ubica aproximadamente a 45 km del volcán Reventador y fue una de las poblaciones más afectadas, debido al colapso no solo del sector agrícola y ganadero sino también de los servicios de abastecimiento de agua potable.

El sistema de abastecimiento de agua potable está compuesto de una captación superficial en el río Oyacachi, que consiste en un represamiento del agua en el cauce. En el costado occidental de la población de Oyacachi se observan el río y el muro de escollera, con material obtenido del mismo cauce.

De esta captación se conduce el agua con una tubería de 63 mm de diámetro y de material de PVC hasta un tanque de sedimentación y luego hasta un tanque filtro.

Como consecuencia de la erupción, se realizó la limpieza general y el cambio del material filtrante para ser utilizado nuevamente. Los tanques en este sistema estaban descubiertos, lo que ocasionó daños producidos por la carga de ceniza en los filtros. Concluido el problema, se procedió a cubrir los componentes de los tanques con estructuras metálicas.

Foto: COOPI, 2003



Foto: COOPI, 2003



Tanque de filtración del sistema de agua potable de Oyacachi, provincia del Napo. Antes de y durante la colocación de las cubiertas o protecciones.

Es importante indicar que por su ubicación geográfica, esta población presenta una alta precipitación durante todo el año, lo que en algunos casos ayudó significativamente al arrastre y limpieza de los cauces. En otros casos, como las captaciones de agua superficial en los ríos, se incrementan los problemas, ya que la corriente arrastra las cenizas disueltas en las aguas. El agua que se suministra a la población es entubada y no se tiene reporte de análisis del recurso hídrico.

El sistema de alcantarillado sufrió daños en una parte de sus componentes, especialmente en la laguna de oxidación. Los daños detectados fueron el taponamiento de las tuberías del efluente (tuberías de descarga de la laguna de oxidación) provocado por la caída de cenizas y, como consecuencia de la carga adicional de cenizas, se produjo una reacción que causó fuertes olores. Las causas que provocaron este proceso de emanación de gases aún no han podido ser determinadas, pero existen dos hipótesis: (1) se produjo una reacción debido a los componentes de la ceniza y (2) simplemente falló el proceso de oxidación de la materia orgánica en la laguna.

El sistema de la red de tubería en el alcantarillado de Oyacachi no sufrió ningún daño, pero tampoco se ha realizado ninguna evaluación hidráulica para conocer el comportamiento ni el grado de sedimentación existente en la tubería.

### b) Parroquia Papallacta

El sistema de abastecimiento de agua de esta comunidad se basa en una captación superficial de afloramiento de agua subterránea que luego es conducida por gravedad a un tanque de captación y distribución, el mismo que tiene material pétreo filtrante y una capa de 25 cm de carbón activado.

No se pudo obtener reporte de datos sobre la calidad del agua, debido a la carencia de estos, ya que no existe planta de tratamiento ni se realizan análisis de agua. Sin embargo, se añade cloro como desinfectante. Como consecuencia de la caída de cenizas en el área, no se vio afectado el sistema, debido a que esta es una captación cerrada; además, el agua llega a un tanque cerrado.

Foto: COOPI, 2003



Caseta de captación de agua subterránea en la parroquia Papallacta, cantón Baeza, provincia del Napo.

### c) Parroquia Cuyuja

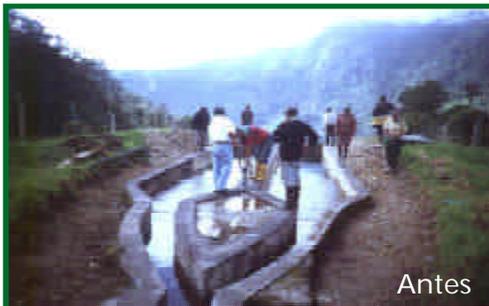
En esta parroquia el sistema de abastecimiento de agua potable está compuesto por una captación de tipo superficial. El agua se toma del río Papallacta y luego pasa a un tanque de sedimentación y posteriormente a un tanque desarenador. Después sigue a una caseta de cloración para ser almacenada en un tanque de distribución y de allí a la población.

Este sistema, al igual que el resto de sistemas abiertos soportó problemas debido a la caída de ceniza y a la presencia de ceniza en el agua, tanto en su captación como en su estructura. El agua captada en Cuyuja antes, durante la erupción y actualmente es de alta turbiedad y contiene partículas en suspensión y arrastre de materiales, los que son retenidos y parte de ellos controlados y capturados con estructuras como desarenadores y sedimentadores.

Con la caída de ceniza, la turbiedad y la contaminación del agua captada aumentaron. No se pudo obtener reportes sobre la calidad del agua durante el proceso de la erupción volcánica, ya que no se contaba con laboratorios de análisis.

La ONG COOPI ayudó con la entrega de estructuras para proteger de la ceniza a las captaciones y a los diferentes elementos del sistema.

Foto: COOPI, 2003



Antes

Foto: COOPI, 2003



Después

Trabajadores colocan cubiertas metálicas sobre las estructuras de captación, antes de llegar al tanque sedimentador de Cuyuja, cantón Baeza, provincia del Napo.

Durante la erupción del Reventador, se paralizó la producción de agua potable en el sistema. Sin embargo, el abastecimiento de agua para consumo humano fue cubierto por medio de camiones cisterna proporcionados por el municipio local y la ayuda de organismos internacionales de ayuda humanitaria.

#### d) Baeza

La cabecera cantonal de Baeza posee un sistema de agua potable que capta agua de origen superficial proveniente de los diferentes afluentes que se localizan en las poblaciones aledañas a Baeza y se ubican a 4 km de la planta de tratamiento.

El sistema cuenta en su captación con un tanque desarenador, en el que se eliminan los materiales más pesados, para luego ser conducidos por tubería a la planta de tratamiento que tiene un sedimentador, dos filtros, una caseta de cloración y dos tanques de reserva y distribución.

El problema detectado en este sistema, que fue provocado por la erupción volcánica, fue la presencia y aumento de la turbiedad del agua cruda, por lo que se paralizó la producción de agua potable parcialmente, debido a la contaminación y a la capacidad de filtración.

Como medida de mitigación, se ha procedido a cubrir las estructuras de la planta con cubiertas metálicas.

En forma general, el sistema no fue afectado en gran forma, ya que la presencia de las lluvias ayudó al arrastre de cenizas que se encontraban en la atmósfera del área. Se realizó también una limpieza en los filtros. No existen reportes sobre la calidad del agua, razón por la cual no se puede comprobar que la contaminación producida por la ceniza en el agua contenga metales pesados.

#### e) Parroquia San Francisco de Borja

Esta parroquia posee un sistema de agua potable que capta su agua en un arroyo (corriente superficial abierta) como consecuencia de la erupción volcánica. En ella la presencia de ceniza causó problemas de contaminación (turbiedad y alteraciones físicas del agua) y ocasionó problemas en las estructuras de los componentes del sistema.

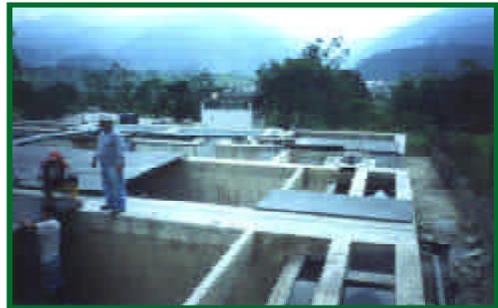
El caudal que se capta es de 14 litros por segundo. Este caudal ingresa a un desarenador y luego a dos tanques sedimentadores. Posteriormente, pasa a un sistema de filtros para luego proceder a la desinfección mediante cloración y ser distribuido a la población.

Foto: COOPI, 2003



Vista general de las tuberías de captación de agua cruda y los tanques de sedimentación de la población de Baeza, Cantón Baeza, provincia del Napo.

Foto: COOPI, 2003



Trabajos de ubicación de la cubierta metálica en los tanques de sedimentación en la población de Baeza, Cantón Baeza, Provincia del Napo.

Debido a la presencia de cenizas en la región, el sistema, desde la captación de agua cruda hasta la filtración, se vio alterado debido a la inexistencia de estructura de protección para dicha planta. En la emergencia, la planta se encontraba en fase de reparación y de ampliación, por lo que su afectación en cuanto a producción fue limitada.

El municipio de Quijos y la prefectura ayudaron con la entrega de agua por medio de camiones cisterna. Como medida de mitigación, se colocaron placas metálicas sobre las estructuras de la planta de tratamiento, como cubiertas para protegerlas de futuros eventos. No existen reportes sobre la calidad del agua, ni laboratorios en Borja.

Foto: COOPI, 2003



Foto: COOPI, 2003



Trabajos de preparación y colocación de cubiertas metálicas sobre el sedimentador, las canaletas y filtros en la población de la parroquia de Borja, provincia del Napo.

#### f) Parroquia Cosanga

Como producto de la caída de ceniza, aumentó la contaminación en este sistema, ya que la fuente de agua que sirve como captación es de tipo superficial y de canal abierto, y cruza por zonas agrícolas y ganaderas, que afectaron la calidad del agua en forma severa.

La captación ingresa directamente por las estructuras, para luego pasar a un proceso de sedimentación y posteriormente al tanque de reserva y distribución. En él se aplica una dosis de cloro para la desinfección final. No se tienen reportes sobre la calidad del agua.

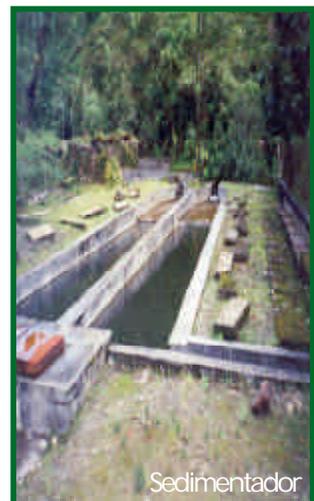
Foto: COOPI, 2003



Foto: COOPI, 2003



Foto: COOPI, 2003



Sistema de abastecimiento de agua, para Cosanga, provincia del Napo.

### g) Sardinas

La población de Sardinas cuenta con un sistema de agua potable con las siguientes características: su captación es de tipo superficial y el agua es conducida por tubería a la planta de tratamiento, que cuenta con una aereador (para la eliminación de olores) y un desarenador en el que se dosifica cloro de acuerdo con el criterio del operador. Luego el agua pasa a dos tanques de reserva y distribución para la población. Además, existe una estructura (caseta de cloración) para colocar el dosificador de cloro que no está en funcionamiento.

Se instalaron cubiertas metálicas sobre los tanques de reserva del sistema de agua potable.

Foto: COOPI, 2003



Componentes de la planta de tratamiento de agua potable, aereador, caseta de cloro y tanques de reserva en la planta de tratamiento de la población de Sardinas.

Foto: COOPI, 2003

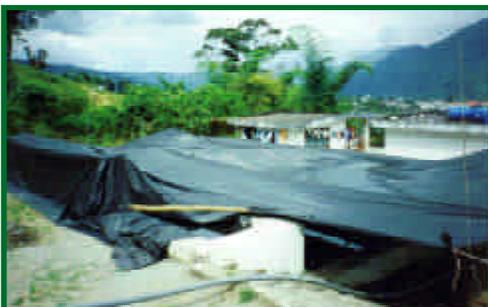


Construcción de las cubiertas metálicas, para los tanques de reserva del sistema de agua potable para la población de Sardinas, Provincia del Napo.

### h) El Chaco y Chontaloma

El abastecimiento de agua potable en la cabecera cantonal de El Chaco se vio afectado por las cenizas, por ser esta una captación de agua superficial de un río y por la cercanía al volcán Reventador. El sistema de agua potable se paralizó por temor a la contaminación de las aguas por la presencia de ceniza. Como protección durante la emergencia, se procedió a cubrir las estructuras que se encontraban expuestas a las cenizas. Asimismo, se procedió a realizar una limpieza en los tanques sedimentadores. De la misma manera, se tomaron medidas posteriores al evento, como la colocación de cubiertas de estructuras metálicas.

Foto: COOPI, 2003



Estructura de captación y la protección con material plástico que se usó durante el evento de la caída de cenizas en el sistema de agua potable de El Chaco.

Foto: COOPI, 2003



Cubierta metálica colocada sobre los sedimentadores en la planta de tratamiento de agua potable de la población de El Chaco.

En el sistema de Chontaloma, que abastece a los barrios altos de El Chaco, solo existen dos tanques sedimentadores y de allí se distribuye el agua a la población en forma directa.

No existen reportes sobre la calidad del agua cruda y tampoco del agua tratada. Sin embargo, se pudo observar la presencia de sólidos en suspensión, color y turbiedad. La zona donde se encuentran las vertientes de agua cruza por áreas dedicadas a la agricultura y la ganadería.

### i) Gonzalo Díaz de Pineda

El sistema de abastecimiento de agua para esta población es de tipo superficial, en un lugar de difícil acceso. La fuente nace en un bosque primario.

Durante el proceso eruptivo los daños causados por la ceniza se produjeron como consecuencia de la influencia de los vientos, que arrastraron gran cantidad de ceniza. La ceniza afectó inicialmente el sistema de distribución de agua porque las estructuras estaban descubiertas. Pasado el evento inicial, se procedió a cubrir con plástico las estructuras para proteger la calidad del agua y evitar la presencia de ceniza en las instalaciones. Las estructuras afectadas fueron la captación, los sedimentadores y los filtros, que tuvieron que ser limpiados. El agua se almacena en un tanque de captación, para pasar de allí a un tanque de sedimentación, al sistema de filtración y finalmente a los tanques de distribución.

Foto: COOPI, 2003



Estructura de captación y desarenador.

Foto: COOPI, 2003



Vista del sedimentador, el filtro y las cubiertas de plástico colocadas sobre las estructuras.

### j) Las Palmas

La comunidad de Las Palmas posee un sistema de agua potable que capta el agua de un afloramiento superficial. El caudal es conducido por una tubería a una estructura de hormigón armado que cumple las funciones de desarenador. De este cajón, pasa a un sedimentador y luego a un proceso de filtración para que, finalmente, pueda procederse a la desinfección por cloro.

Por ser de estructuras abiertas, durante la caída de cenizas el sistema fue afectado por el incremento de turbiedad, color y sedimentos, lo que ocasionó la paralización parcial del sistema operativo. No existen resultados de calidad del agua ni laboratorios de análisis.



Foto: COOPI, 2003

Estructura de los tanques desarenadores y filtro con protección de cubiertas metálicas de la planta de tratamiento de agua de Las Palmas, cantón El Chaco.

### k) Linares

Esta población posee un sistema de abastecimiento de agua que se considera de calidad aceptable, según análisis obtenidos al inicio del diseño, y se determinó que no requería más que desinfección final. Debido a este criterio, el sistema está compuesto por una captación, una línea de conducción, una caseta de cloración y una tubería de distribución.

La captación de agua, que es de afloramiento subterráneo, no fue afectada con la caída de cenizas, ya que su estructura está cubierta por una caseta. No existen resultados de calidad del agua ni laboratorio de análisis.



## CAPÍTULO 5

## PROVINCIA DE SUCUMBÍOS

La provincia de Sucumbíos es uno de los espacios territoriales que comparten el volcán Reventador. Ya solamente eso da una imagen del fuerte impacto de la última erupción sobre la población y los sistemas de agua y alcantarillado (mapa 7). El cantón más afectado fue Gonzalo Pizarro.

**Cuadro 9. Tipos de incidencias registrados en la provincia de Sucumbíos**

	<b>Incidencia</b>
<b>Evacuados</b>	En el recinto La Libertad, parroquia El Reventador, cantón Gonzalo Pizarro, se evacuó a 27 familias (78 personas) a la escuela Loja. En el sector de Lumbaqui se evacuó a 400 trabajadores de la Compañía Ducto Techint.
<b>Infraestructura</b>	Casa incendiada: una. Maquinarias destruidas: 4. Puentes destruidos: uno sobre el río Montana y uno sobre el río Marker. Carreteras destruidas: un kilómetro de la vía El Chaco-Lumbaqui. Alcantarilla metálica en la quebrada El Reventador y el río El Engaño.
<b>Sector agrícola</b>	20.000 hectáreas afectadas.

## 5.1. ABASTECIMIENTO DE AGUA Y ALCANTARILLADO<sup>1</sup>

### a) Atenas

Esta comunidad cuenta aproximadamente con 250 habitantes. El sistema de abastecimiento de agua de esta comunidad rural se realiza al captar agua desde un riachuelo (captación abierta superficial), la que se conduce hasta una estructura de captación y luego pasa a un desarenador. Posteriormente, se distribuye el agua directamente a la población.

Durante el proceso eruptivo, el sistema suspendió su operación por el incremento de la ceniza como elemento contaminante. Como medida de prevención, los administradores de la planta cubrieron las estructuras con plástico. Este sistema tiene agua de mala calidad con alto contenido de sólidos en suspensión, color y turbiedad. El agua cruda también cruza por terrenos destinados al uso agrícola y ganadero. La demanda de agua potable fue cubierta por medio de camiones cisterna.

Una vez terminada la emergencia, se procedió a la construcción de estructuras metálicas, para proteger los elementos del sistema de agua.

Foto: COOPI, 2003



Vista general de las estructuras de la planta de tratamiento, con la cubierta de plástico, en el sistema de agua potable de la población de Atenas.

Foto: COOPI, 2003



Estructura de captación protegida con cubiertas metálicas durante la emergencia, en el sistema de agua potable de la población de Atenas.

### b) Cascabel

Esta población se ubica muy cerca del volcán Reventador, por lo cual los habitantes fueron evacuados de la zona. El sistema de abastecimiento de agua colapsó como consecuencia de los movimientos sísmicos provocados por la erupción del volcán. El sistema afectado fue la captación. Esta se realizaba por medio de varias fuentes de aguas subterráneas, las que desaparecieron totalmente.

Los otros componentes del sistema se vieron afectados por la presencia de los sedimentos de ceniza, los que debieron ser limpiados una vez concluida la emergencia.

<sup>1</sup> La información que se detalla a continuación fue obtenida del Informe de Trabajos Ejecutados en los Sistemas de Agua de los Cantones Quijos, El Chaco, Gonzalo Pizarro y Cáscales, elaborado por Cooperazione Internazionale (COOPI).

### c) Lumbaqui

Esta es la cabecera cantonal del cantón Lumbaqui. El abastecimiento de agua capta el líquido de una fuente superficial, localizada a 2 kilómetros de la planta de tratamiento de agua.

Durante el proceso eruptivo, este sistema se vio afectado desde su origen, por ser un sistema que capta agua de una vertiente superficial abierta y porque sus estructuras también son de tipo abierto. Estas estructuras fueron colmatadas en los tanques de sedimentos, las canaletas de clarificadores y los filtros, por lo que se paralizó el proceso de abastecimiento parcialmente.

Para proteger y prevenir daños futuros en las instalaciones, se construyó un sistema de cubiertas metálicas, cuyo costo ha sido cubierto por la ONG COOPI.

Foto: COOPI, 2003



Estructuras y tanques de flocculación en el sitio Cascabel, cantón Lumbaqui, provincia de Sucumbios.

Foto: COOPI, 2003



Canaletas y unidades de filtración en la población de Lumbaqui, cantón Lumbaqui, provincia de Sucumbios.

Foto: COOPI, 2003



Vista general de las cubiertas metálicas colocadas en todas las unidades de la planta de tratamiento de la población de Lumbaqui, cantón Lumbaqui.

El sistema de alcantarillado aparentemente no sufrió ningún daño, a pesar de las lluvias que cayeron durante la erupción del Reventador, lo que ocasionó el arrastre de las cenizas hasta las tuberías del alcantarillado, sin que se produjeran taponamientos.

### d) Cáscales

Esta cabecera cantonal posee un sistema de abastecimiento de agua potable que se vio afectado por la caída de cenizas sobre la fuente de agua, que es de tipo abierto y de afloramiento superficial. El sistema de tratamiento consiste en una torre de aereación, un tanque de sedimentación, una unidad de desinfección con cloro y un tanque de distribución.

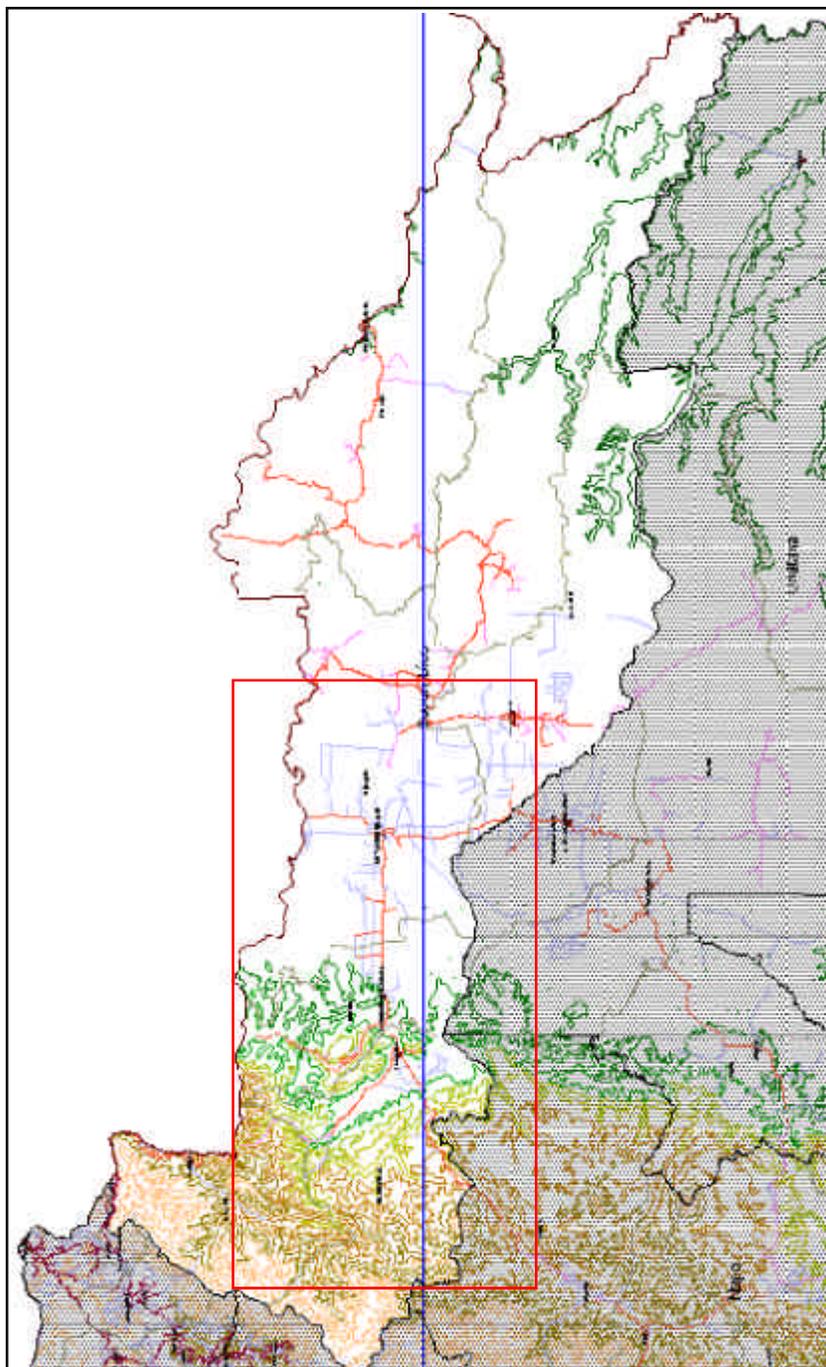
Foto: COOPI, 2003



Vista panorámica de las instalaciones del sistema de la planta de tratamiento de agua potable de la población de Cháscales, provincia de Sucumbios.

Las cenizas que cayeron durante el proceso eruptivo causaron problemas en el sedimentador por su alta carga de sedimentos. Por ello se tuvo que paralizar el bombeo que se realizaba al tanque de distribución. El sistema de bombeo también se vio afectado en forma indirecta, por la suspensión del fluido eléctrico. Como medida de prevención, durante el evento las instalaciones se cubrieron con plástico, y posteriormente se construyeron estructuras metálicas para protegerlas.

Fuente: Ecodiencia, 2003



Mapa 7. Provincia de Sucumbíos. En el recuadro se puede observar el área de mayor impacto de la erupción del Reventador.



## CAPÍTULO 6

## LECCIONES APRENDIDAS

A partir de la información obtenida en la recopilación de datos sobre los efectos de la erupción del volcán Reventador en los sistemas de agua potable y alcantarillado en la zona urbana y rural del Distrito Metropolitano de Quito y el cantón Cayambe de la provincia de Pichincha, la provincia de Napo y Sucumbios, se sugiere lo siguiente:

La caída de cenizas contaminó las fuentes de captación de agua cruda, como ríos, depósitos, quebradas, pozos, lagos y otros. La presencia de la ceniza en el agua causó el aumento de la turbiedad, del color, y sedimentos en las obras de captación, lo que obligó a disminuir los caudales de captación y producción en las estaciones de bombeo en unos casos, y en otros, la paralización del bombeo de agua cruda.

El término *contaminación de la ceniza en el agua* se utiliza por ser un cuerpo extraño que se incorpora a las fuentes de captación en unos casos y al proceso de tratamiento en otros. Es importante indicar que el aluminio fue el único elemento en que se pudo observar una variación de los parámetros de análisis químicos (como la presencia de metales pesados) que sobrepasaron la norma del Ministerio de Salud Pública; este resultado se detectó en Quito.

La ceniza también causó problemas de sedimentación en las tuberías de captación e impulsión, debido a la alta carga de sedimentos. Las altas concentraciones de material sedimentable en el agua cruda causaron problemas en las plantas de tratamiento de agua potable, en las unidades de mezcladores, sedimentadores y filtros, en las plantas de tratamiento rurales y urbanas de las provincias analizadas. Se debería adquirir bombas móviles, succionadoras de lodo, para la limpieza y evacuación de sedimentos. También se debería considerar el rediseño de las captaciones de agua cruda (en los casos en que sea necesario), con la finalidad de amortiguar la presencia de arenas y cenizas, así como la colocación de cubiertas de filtros con estructuras fijas en las plantas de tratamiento.

Los problemas de calidad del agua por presencia de cenizas son controlables cuando se toman las medidas adecuadas de protección, ya que los parámetros de agua cruda y agua tratada así lo demuestran, según los análisis realizados por la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable-Quito, Escuela Politécnica Nacional (anexo F).

De acuerdo con los reportes de calidad del agua de los informes elaborados por la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable-Quito, las plantas de tratamiento y los sistemas de agua potable de las provincias analizadas dieron como resultado que, tanto en las poblaciones urbanas (excepto cuatro plantas de Quito) como en las rurales, carecen de laboratorios y personal técnico para realizar el control de calidad de las aguas crudas y tratadas. Para asegurar la calidad del agua potable en las plantas de tratamiento, se recomienda adquirir laboratorios portátiles para el control de los parámetros del agua (pH, turbiedad, color y conductividad del agua, entre otros), y contratar técnicos especializados que realicen un monitoreo diario en las plantas de tratamiento; la asignación de cuadrillas de mantenimiento (peones, albañiles, técnicos en electricidad, técnicos en mecánica) para los sistemas de plantas menores o de menor producción; la asignación de personal técnico especializado en bioquímica para los laboratorios de las plantas de tratamiento.

En forma general, el área de los sistemas de agua potable fue mínimamente afectada en relación con la producción de agua, pero no así en cuanto al número de sistemas, zonas y unidades de tratamiento de agua. Para asegurar la no interrupción del suministro, se deberían construir tanques de reserva de agua para que en el caso de que se deba paralizar la producción de las plantas de tratamiento, las ciudades cuenten con las reservas necesarias para consumo humano y animal, atención de incendios y desastres naturales, entre otros.

El proceso eruptivo causó daños irreparables en una fuente de agua subterránea, ubicada en el sitio Cascabel de la provincia de Sucumbíos. Esta fuente desapareció. Se trata del único caso reportado de daños en fuentes de abastecimiento.

En lo referente a los sistemas de alcantarillado, se puede afirmar que no se presentaron problemas mayores, y esto se debió a la respuesta, colaboración, preparación y organización de los organismos involucrados. Asimismo, las condiciones ambientales (ausencia de lluvia) fueron favorables para que no hubiese arrastre de los materiales ni taponamientos.

El mayor problema causado por la caída de cenizas fue la suspensión de energía eléctrica, lo que determinó la suspensión de bombeos, producción de agua cruda y tratada. El suministro de energía eléctrica fue uno de los problemas que se presentaron en las plantas de tratamiento rurales y urbanas, por lo que se recomendaría adquirir unidades de generación eléctrica, portátiles y estacionarias, especialmente en las plantas de tratamiento de mayor producción; y elaborar un plan conjunto con las empresas eléctricas para que, en forma periódica, se realicen los mantenimientos necesarios para asegurar la provisión de energía eléctrica sin interrupción.

El fenómeno también permitió determinar las debilidades administrativas, de comunicaciones y de logística para afrontar eventos similares. En el área administrativa, se recomienda elaborar un reglamento para el uso de los vehículos, en caso de emergencia, tanto para el personal operativo como para el personal de seguridad. También es necesario disponer de un fondo especial para gastos inmediatos; adquirir elementos y materiales de seguridad industrial para el personal operativo y para las unidades que conforman las plantas de tratamiento y construir cubiertas metálicas, plásticas o de otro material para proteger las estructuras o unidades de las plantas de agua potable.

En las plantas de tratamiento tanto urbanas como rurales del Distrito Metropolitano de Quito, uno de los principales problemas presentados fue la falta de comunicación adecuada y oportuna entre las

diferentes unidades y plantas para afrontar rápidamente la emergencia. Se recomienda la adquisición de equipos de comunicación (radios portátiles, fijos, móviles y teléfonos celulares) con los cuales se pueda tener una conexión constante con las instituciones encargadas de monitorear las condiciones ambientales. Además, es necesario fortalecer la comunicación entre los diferentes componentes de las plantas de tratamiento (captación, tanques, bombeo, planta de tratamiento propiamente dicha).

En el área de la salud, se recomienda al Ministerio de Salud Pública y a las direcciones provinciales de salud, centros de salud, municipios y otros llevar una adecuada coordinación para tener una base de datos confiable tanto desde el punto de vista cualitativo como cuantitativo sobre los efectos que causa en la población una emergencia volcánica de la magnitud ocurrida.

## REFERENCIAS

Cooperazione Internazionale (COOPI). 2003. Informe de trabajos ejecutados en los sistemas de agua de los cantones Quijos, El Chaco, Gonzalo Pizarro y Cáscales. Documento interno, no publicado. Quito, Ecuador.

Dirección Metropolitana Ambiental. 2003. Actividades y resultados realizados durante la emergencia decretada por la erupción del volcán Reventador. Documento interno. Quito.

Dirección Metropolitana Ambiental. Informe sobre la presencia de gases de azufre en el Distrito Metropolitano de Quito. 19 de noviembre de 2003. Documento interno. Quito.

Dirección Metropolitana de Salud. Informe de la Dirección Metropolitana de Salud sobre los afectados por la caída de ceniza durante los 8 días de la emergencia. 11 de noviembre de 2002. Documento no publicado. Quito.

Dirección Metropolitana de Seguridad Ciudadana. 2003. Unidad de Prevención de Desastres. Memorias sobre la erupción del volcán El Reventador (Jairo Estacio, Robert D' Ercole). Documento no publicado.

Dirección Nacional de Defensa Civil del Ecuador. Informe ejecutivo del proceso eruptivo del Volcán El Reventador. 4 de noviembre de 2002. Documento no publicado.

Dirección Nacional de Defensa Civil del Ecuador. Informe ejecutivo 3, proceso eruptivo del Volcán El Reventador. 7 de noviembre de 2002. Documento no publicado.

Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable-Quito. Informe emergente del Reventador y resumen ejecutivo. 19 de noviembre de 2002. Documento no publicado. Quito.

Escuela Politécnica Nacional, Departamento de Química Aplicada, Unidad de Auditorías Energético-Ambientales. Determinación de emisiones de gas sulfhídrico y dióxido de azufre en aire ambiente. Sector El Condado y Campus José Rubén Orellana. Informe técnico. Noviembre de 2002. Quito.

Escuela Politécnica Nacional, Departamento de Química Aplicada, Unidad de Auditorías Energético-Ambientales. Determinación de material particulado en aire ambiente. 7 de noviembre de 2002. Documento no publicado. Quito.

Escuela Politécnica Nacional, Ingeniería Agroindustrial. Características de las caídas de polvo volcánico. Campus José Rubén Orellana. Informe técnico. Noviembre de 2002. Quito.

Escuela Politécnica Nacional, Departamento de Metalurgia Extractiva. Informe técnico. Reporte de análisis de aguas. 28 de noviembre de 2002. Quito.

Escuela Politécnica Nacional, Departamento de Metalurgia Extractiva. Informe técnico, análisis de la ceniza del Reventador. 8 de noviembre de 2002. Quito.

Institute de Recherche pour le Developpement-Unidad de Prevención de Desastres-Dirección Metropolitana de Seguridad Ciudadana. Elaborado por Estacio, J. y Robert D' Ercole. Memorias sobre la erupción del Volcán Reventador. Consecuencias y experiencias vividas la semana de la emergencia del 3 al 11 de noviembre. 2003. Quito.

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Boletín de Aviso 25. Año I. Predicción y vigilancia de fenómenos meteorológicos adversos. 14 de noviembre de 2002. Documento no publicado. Quito.

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Boletín de Aviso 27. Año I. Predicción y vigilancia de fenómenos meteorológicos adversos. 1.º de noviembre de 2002. Documento no publicado. Quito.

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Boletín de Aviso 30. Año I. Predicción y vigilancia de fenómenos meteorológicos adversos. 18 de noviembre de 2002. Documento no publicado. Quito.

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Boletín de Aviso 32. Año I. Predicción y vigilancia de fenómenos meteorológicos adversos. Miércoles 20 de Noviembre de 2002. Documento no publicado. Quito.

Instituto Geofísico (Escuela Politécnica Nacional). Boletín 1. Informe del Volcán El Reventador. 13 de noviembre de 2002. Documento no publicado. Quito.

Instituto Geofísico (Escuela Politécnica Nacional). Boletín 1. Informe del Volcán El Reventador. 14 de noviembre de 2002. Documento no publicado. Quito.

Instituto Geofísico (Escuela Politécnica Nacional). Boletín 1. Informe del Volcán El Reventador. 15 de noviembre de 2002. Documento no publicado. Quito.

Instituto Geofísico (Escuela Politécnica Nacional). Boletín 1. Informe del Volcán El Reventador. 16 de noviembre de 2002. Documento no publicado. Quito.

Instituto Geofísico (Escuela Politécnica Nacional). Boletín 2. Informe del Volcán El Reventador. 19 de noviembre de 2002. Documento no publicado. Quito.

Instituto Geofísico (Escuela Politécnica Nacional). Boletín 1. Informe del Volcán El Reventador. 20 de noviembre de 2002. Documento no publicado. Quito.

Municipio de Cayambe. 2002. Emergencia por erupción del volcán Reventador. Documento no publicado. Cayambe.

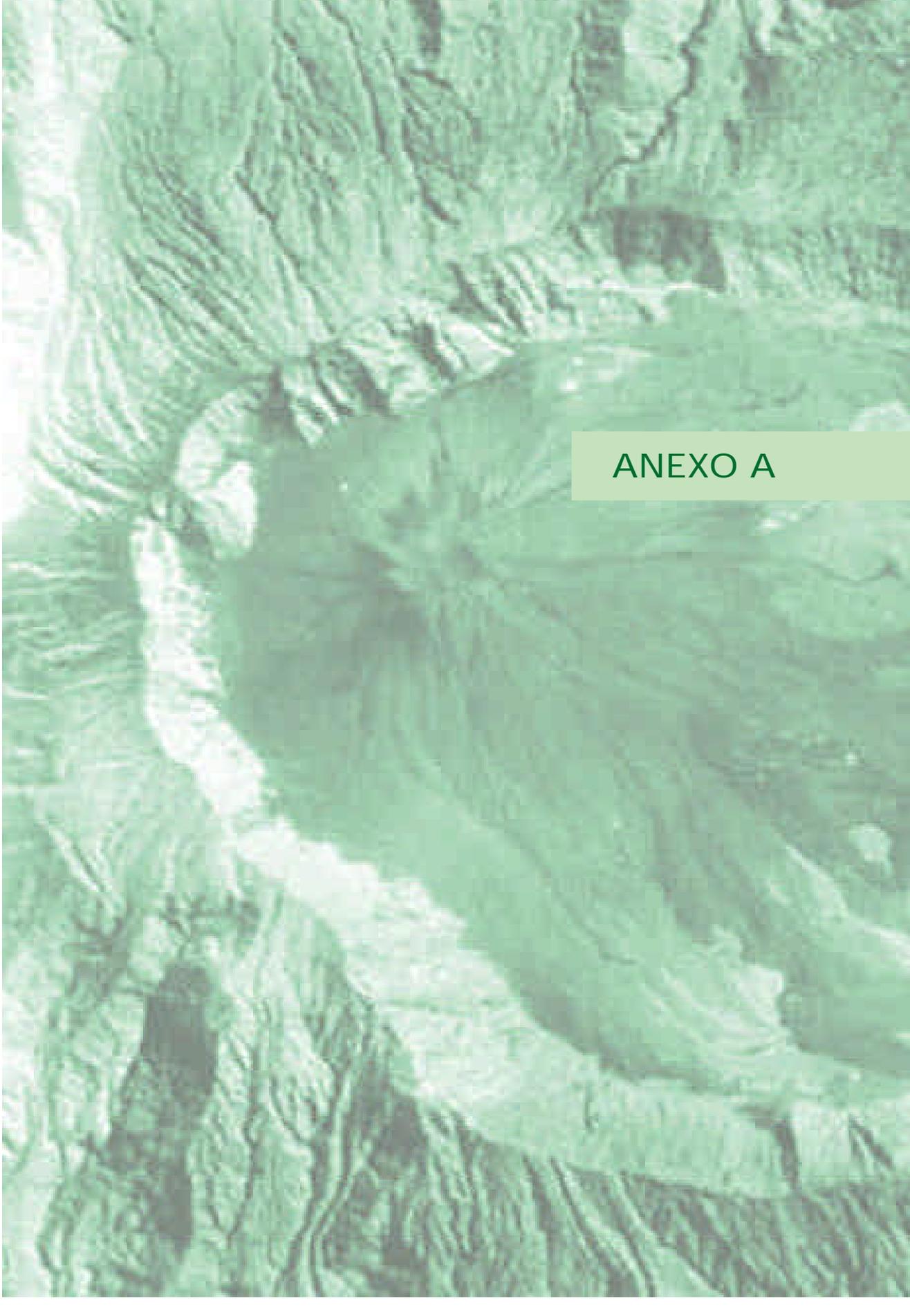
Sistema de Naciones Unidas. Informe consolidado de misión del sistema de Naciones Unidas frente a la emergencia del Volcán Reventador. Quito, 7 de noviembre de 2002.

Organización Panamericana de la Salud-Organización Mundial de la Salud. 2001. Elaborado por Galo Plaza N. y Hugo Yépez. Manual para la mitigación de desastres en sistemas rurales de agua potable. Serie Mitigación de Desastres. Segunda Edición. Costa Rica.

Organización Panamericana de la Salud-Organización Mundial de la Salud. 2000. Erupciones volcánicas y protección de la salud. Ediciones Fournier. Quito.

Organización Panamericana de la Salud-Organización Mundial de la Salud-AIDIS. 2001. Emergencias y desastres en sistemas de agua potable y saneamiento, guía para una respuesta eficaz. Washington, D. C.

Organización Panamericana de la Salud-Organización Mundial de la Salud-AIDIS. 2002. Mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario. Guía para el análisis de vulnerabilidad. Serie Mitigación de Desastres. Segunda edición. Washington, D. C.

An aerial photograph of a mountain range, likely the Andes, showing a central valley and surrounding peaks. The terrain is rugged and mountainous. A semi-transparent green box is overlaid on the right side of the image, containing the text 'ANEXO A'.

## ANEXO A

Cronología de las erupciones

Fecha	Erupción	Notas
1590	En 1590 se experimentó una abundante caída de ceniza en Quito, proveniente del noreste. Algunos autores la atribuyen al Reventador.	Existe también la posibilidad de que haya provenído del Antisana.
1591	Caída de ceniza en Quito, proveniente del noreste; posiblemente del Reventador.	Sin confirmación.
1797	Entre las lluvias de ceniza caídas en Quito, que se atribuyen al Reventador, está la ocurrida en 1797, que provino del noreste.	Sin confirmar que haya sido del Reventador.
1802 (1801)	En Chilligallo y Pintag se oyeron estruendos y retumbos, especialmente en los meses de abril y mayo, atribuidos por algunos	Las evidencias apuntan a que la erupción fue del Antisana.
1743/12/07	A las cinco y media de la tarde comenzó en Quito una lluvia de ceniza y tierra; poco tiempo después, se descargó con mucha fuerza la tormenta, hasta las tres de la mañana, cuando cesó por completo el fenómeno.	Este evento también fue atribuido al Antisana, al Sumaco e incluso al Guagua Pichincha, pero lo más probable es que haya sido el Reventador.
1844	Lluvia de ceniza proveniente el noreste. Posiblemente del Reventador.	Sin confirmación.
1856/12/12	Se escucharon ruidos subterráneos provenientes del noreste y nubes	No se ha determinado cuál fue el volcán de origen. de ceniza oscurecieron Quito por dos días. Es posible que se haya tratado del Reventador.
1871	Hay evidencias de que en Imbabura se escucharon bramidos procedentes del oriente. Si fueron ruidos subterráneos de origen volcánico, es muy posible que hayan provenído del Reventador.	No se ha determinado el volcán de origen.
1894/6/20	Aunque no se constató que la lluvia de ceniza haya provenído del Reventador, los indicios así lo sugieren, como pasamos a ver en la siguiente reproducción de un artículo periodístico:	No hay confirmación de que la erupción haya sido del Reventador, aunque todos los indicios así lo sugieren.

Cronología de las erupciones (continuación)

Fecha	Erupción	Notas
	<p>Desde las tres de la mañana de hoy, comenzó a caer en abundancia una tierra de elaboración volcánica, de color gris negruzco [...]. A la salida del sol el horizonte estaba oscuro y de color de la tierra que caía [...]. Pero felizmente a las 8¼ de la mañana cesó la caída de tierra, se disipó la cerrazón y brilló el sol en el fondo del cielo. Por telégrafo se ha anunciado que el Cotopaxi y el Tungurahua, ordinariamente priostes de tales fiestas, se han estado muy tranquilos, lo mismo que el anciano Imbabura y el Cotacachi: así que, el rumor de que la tierra o ceniza se presentaba por el lado del Sud Este, quedó desvirtuada. Un testigo aseguró haber visto una columna de humo en la Cordillera Oriental.</p>	
1898/4/08	<p>La referencia sobre este evento corresponde a Nicolás Martínez, quien se enteró del suceso por testimonio de un testigo ocular. Se conoce que hubo emanación de material incandescente. En efecto, M. Hall califica la erupción de violenta, con muchas explosiones y emanación de nubes ardientes y ceniza que cayó en amplios sectores de la sierra. Añade que el fenómeno volcánico estuvo acompañado de movimientos sísmicos.</p>	<p>Por la misma fecha se sintió un ligero temblor en Quito y se escucharon ruidos subterráneos, por lo que se conjeturó que fue actividad del Guagua Pichincha, pero al existir el testimonio de un testigo, se debe admitir que el volcán de origen fue el Reventador.</p>
1898-1906	<p>M. Hall, basándose en la autoridad de Nicolás Martínez, sostiene que el Reventador, a partir de la erupción de 1898, presentó una actividad casi continua hasta 1906.</p>	<p>Periodo de actividad muy frecuente.</p>
1926/1	<p>Lluvia de ceniza en parte de la Región Interandina. Nicolás Martínez consideró que provenía del Reventador, que hasta entonces era un volcán prácticamente desconocido y solo se tenían indicios de su existencia. Se estimó que la lluvia de ceniza se esparció en un área de 180 km de radio. Al parecer, ocurrieron violentas erupciones entre enero y mayo de 1926, constatadas por la presencia de altas columnas de humo.</p>	<p>En 1928 se organizó una expedición para "descubrir" el Reventador. Los exploradores llegaron hasta su cráter y lo encontraron tranquilo, pero con señales de que había tenido actividad reciente, lo cual puede corresponder a 1926.</p>

**Cronología de las erupciones (continuación)**

Fecha	Erupción	Notas
1944/2/22	<p>La prensa dio amplia difusión de esta erupción, cuyo resumen es el que sigue.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 22 de febrero: se inicia una lluvia de ceniza en Quito, que persistía el día 25.</li> <li>- 25 de febrero: por la mañana, la llovizna de polvillo volcánico fue más notable. Al principio, la ceniza era casi imperceptible y la notaron pocas personas (aún no se certificaba que provenía del Reventador).</li> <li>- 24 de febrero: en el sector de la quebrada Cunduraguachana se constató una extensa bruma amarilla, que permite establecer que los materiales volcánicos ya estaban en ignición.</li> <li>- 1.º de marzo: cae ceniza en Quito desde la mañana hasta las 15.00 ó 16.00 horas. El volumen se calculó en más de 3 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.</li> <li>- 2 de marzo: se detecta en Quito un olor a gas sulfuroso.</li> </ul> <p>Pilotos de las fuerzas aéreas ecuatorianas que volaron cerca del volcán refirieron que el Reventador se encontraba arrojando corrientes de lava hacia la selva oriental y cenizas y gas sulfúrico hacia la atmósfera, que llegaban hasta Pichincha, Imbabura y Carchi.</p> <p>Se dijo que posiblemente el Reventador había arrojado en esta ocasión lava más bien viscosa, pues en las partes planas los flujos no se extendían considerablemente; tenían en la parte superior un ancho que fue apreciado en 150 m y terminaban en la falda con un ancho de unos 80 m y un repentino final de posiblemente 4 ó 5 m de altura.</p> <p>Los hechos observados hicieron presumir que la erupción comprendió dos fases diferentes: en la primera se efectuó la expulsión de gran cantidad de gases y vapor de agua, lo cual posiblemente, junto con el agua acumulada previamente dentro del cráter, produjo las corrientes de lodo. En las fases siguientes, se verificó la eyección de la lava, sin duda acompañada de una violenta explosión que produjo las cenizas que cayeron en la ciudad el primero de marzo, junto con una mayor producción de anhídrido sulfúrico y sulfuroso.</p>	
1958	M. Hall cita lo siguiente respecto de este evento que atribuye al Reventador: "Erupción. Muchas explosiones".	No hay más referencias.
1960/5/4	<p>La explosión de este año debió de ser significativa, pues se constató abundante caída de ceniza en Quito. De los datos de prensa se puede hacer el siguiente resumen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 4 de mayo: a partir de las 13.00 horas, caída de abundante ceniza en Quito.</li> <li>- 10 de mayo: durante la noche caída de polvo volcánico en Quito.</li> <li>- 13 de mayo: caída de polvo volcánico en menor cantidad.</li> </ul>	

## Cronología de las erupciones (continuación)

Fecha	Erupción	Notas
	<p>-9 de noviembre: ligera lluvia de ceniza volcánica de color negro intenso proveniente del Reventador.</p> <p>- Durante la semana del 6 al 10 de noviembre hubo gran cantidad de humo volcánico en la atmósfera.</p> <p>La lluvia de ceniza se comenzó a notar por el norte de Quito. Se estimó que cayeron 32 toneladas por kilómetro cuadrado. En otro artículo de prensa se dice que en Quito cayeron 640 toneladas de ceniza.</p> <p>Todos los testimonios establecen que la emanación de ceniza fue abundante y cayó especialmente en el valle de Quijos, donde se produjeron serios daños en la agricultura y la ganadería.</p>	
1972	<p>Sobre este evento, M. Hall menciona lo que sigue: Erupción. Coladas de lava bajaron por el lado oriental del cono. El volumen de las coladas es de 10,4 millones de metros cúbicos.</p>	No se han encontrado más referencias.
1973/6	<p>A pesar de que esta erupción ya presenta características de mayor magnitud, tampoco se conoce la fecha exacta en que se inició.</p> <p>M. Hall anota: Un gran lahar se extendió sobre la planicie suoriental de la caldera. El volumen del lahar es de 2,5 millones de metros cúbicos.</p> <p>El flujo de lava se inició en julio de 1973 y los expertos estimaron que el derrame tuvo un volumen de más de seis millones de metros cúbicos.</p> <p>Los flujos volcánicos cubrieron parte de la caldera y de los flancos sur y este y llegaron hasta la carretera Quito–Nueva Loja: es decir, a casi la mitad de la distancia entre el cono volcánico y el oleoducto.</p> <p>Sin que en ningún momento se haya suspendido la emisión de material volcánico, en noviembre de 1973 se presentó un nuevo y voluminoso flujo de lava que recorrió unos 2 kilómetros con rumbo sureste. Luego fluyeron nuevas coladas de lava que generaron lahares de aproximadamente 5 kilómetros de recorrido y cubrieron las faldas de la montaña con enormes cantidades de piedras, arena y lodo. Los flujos de lodo viajaron a considerable velocidad y llevaron consigo grandes masas de material rocoso, entre los que se encontraron piedras de hasta 8 metros de diámetro. Los mismos materiales, al llegar a las regiones planas selváticas, causaron gran destrucción.</p> <p>Para fines de marzo de 1974, había terminado el avance de los lahares y flujos de lava y la actividad se había restringido a emisiones de columnas de vapor de agua. Sin embargo, se observaron también frecuentes avalanchas de rocas que salían de la parte superior del flujo, debido a la inestabilidad de la parte</p>	

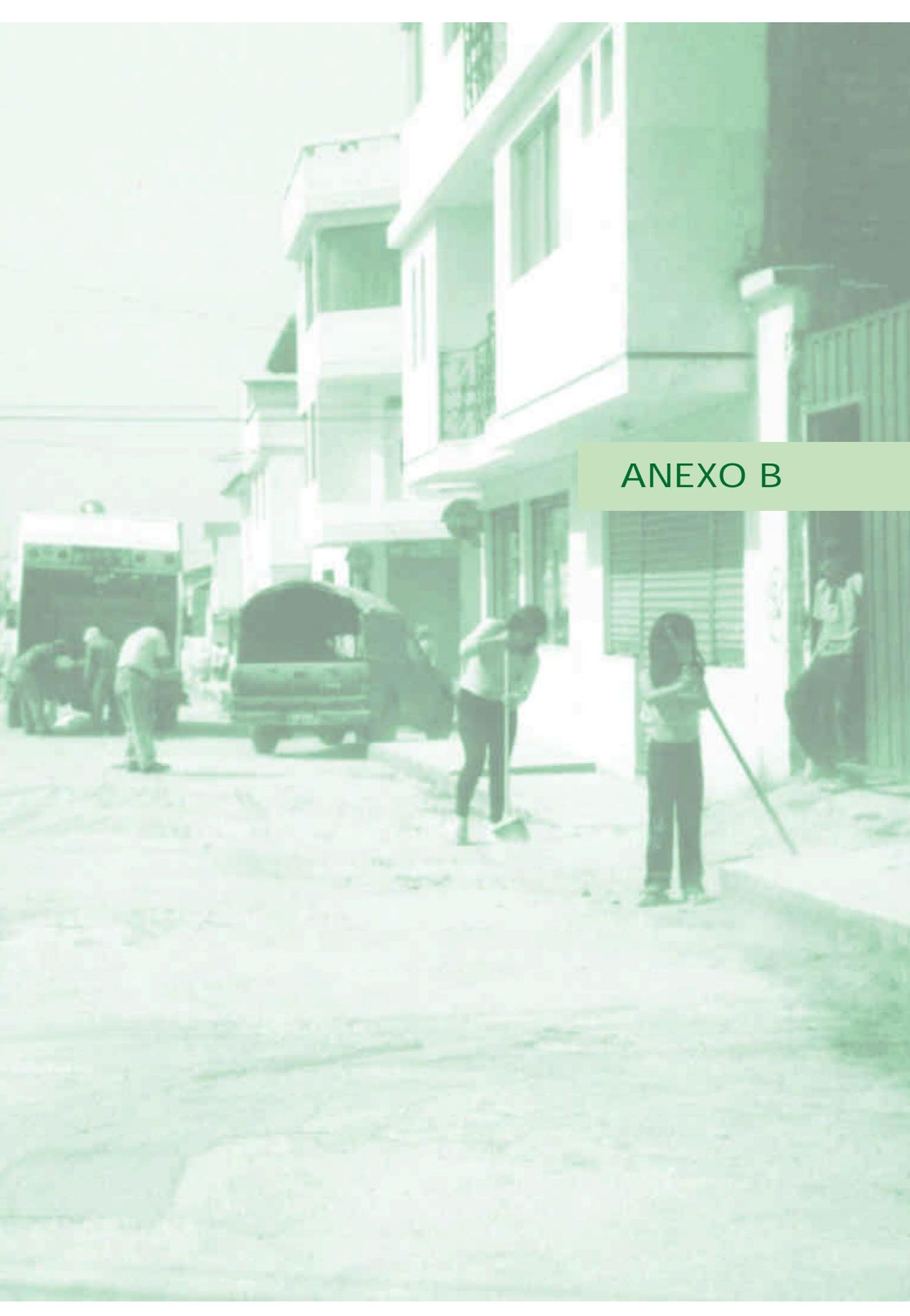
Cronología de las erupciones (continuación)

Fecha	Erupción
<p>aumentado en gran escala (se pudo constatar que las explosiones se repetían cada 20 ó 30 minutos).</p>	<p>rocosa exterior, lo cual se consideró riesgoso, pues aunque la actividad de los flujos había decreído notoriamente, la actividad explosiva del volcán había aumentado en gran escala (se pudo constatar que las explosiones se repetían cada 20 ó 30 minutos).</p> <p>Las explosiones estaban acompañadas de estampidos y a veces por temblores. Con cada explosión una gran nube de color gris verdusco emergía del cráter, mientras un sinnúmero de bloques incandescentes de variado tamaño eran proyectados en todas direcciones. Las descargas iban seguidas de avalanchas de bloques incandescentes que emergían del borde mismo del cráter ("que a veces alcanzaban el tamaño de una pequeña casa") y rodaban con gran estrépito por los flancos de la montaña.</p>
<p>1976/1/04</p>	<p>Los siguientes fragmentos de una reseña cronológica de M. Hall ofrecen un panorama de los eventos de este año:</p> <p>Se inició la erupción en la madrugada del 4 de enero, según lo que relataron unos campesinos, quienes fueron despertados por las detonaciones hasta una distancia de 40 km. Al amanecer, se observó una columna de humo y ceniza que ascendió a unos 3.000 metros sobre el volcán. Anteriormente, se había visitado el volcán en agosto y septiembre de 1975, y al mismo tiempo se observó un nivel normal de actividad fumarólica. En diciembre, en cambio, se notó un penacho apreciable de vapor saliendo del cráter.</p> <p>Lunes, 5 de enero: un vuelo de helicóptero llevó a los primeros observadores a las laderas inferiores orientales, aproximadamente a 3 kilómetros del cono. Ellos describieron la actividad de la siguiente manera:</p> <p>Una columna de ceniza, de color café y de diámetro muy estrecho, ascendió violentamente del cráter. Esa columna mantuvo su forma hasta posiblemente 500 metros antes de expandirse en una nube en forma de cúmulos, para luego ser llevada hacia el Oeste. También se observaron explosiones esporádicas de nubes grises oscuras. La erupción fue acompañada por bramidos constantes, muy semejantes al sonido del oleaje, acompañado por detonaciones. No se detectó la actividad denuées ardentes.</p> <p>Una colada de lava se abrió paso en el lado suroriental del filo del cráter y descendió por el mismo flanco, dividiéndose en dos flujos distintos. Durante la tarde el flujo más hacia el Sur se separó en otros dos flujos y los tres viajaron aproximadamente 1.700 metros (la velocidad promedio en las primeras horas fue aproximadamente de 40 metros por hora).</p> <p>Los sismógrafos del Observatorio Astronómico en Quito empezaron a detectar las ondas sísmicas, debido a la erupción, a las 1:15 a.m. del 4 de enero, de acuerdo con la hora de las primeras detonaciones, notadas por los campesinos. Estas ondas, que eran de una forma muy rara, continuaron esporádicamente hasta las 9 a. m. del 9 de enero.</p>

**Cronología de las erupciones (continuación)**

Fecha	Erupción
<p>1976/1/04 cráter, sin embargo, estando significativamente reducida en su volumen y fuerza a partir del lunes. Bombas volcánicas, hasta de tres metros de diámetro, siendo arrojadas a alturas de unos cien metros sobre el cráter. No se notó ninguna actividad de nuees ardentes ni lahares.</p>	<p>Viernes, 9 de enero: la segunda visita al volcán indicó lo siguiente: la columna de ceniza, de color café rojizo, ascendió unos 1.000 a 1.500 metros sobre el cráter, sin embargo, estando significativamente reducida en su volumen y fuerza a partir del lunes. Bombas volcánicas, hasta de tres metros de diámetro, fueron observadas, siendo arrojadas a alturas de unos cien metros sobre el cráter. No se notó ninguna actividad de nuees ardentes ni lahares.</p> <p>Las tres coladas de lava siguieron avanzando muy lentamente (aproximadamente 3-5 metros por hora) por las suaves pendientes del flanco oriental. Estas habían viajado unos 2.500 a 3.000 metros desde el comienzo de la erupción.</p> <p>Domingo, 18 de enero: según el Myr. Ing. Francisco Sampedro, quien observó el volcán desde una distancia de 10 kilómetros, ya se había acabado la columna de ceniza y siguió la erupción pero en la forma de penachos oscuros que ascendían cada 10-15 minutos a unos centenares de metros. Bombas incandescentes fueron arrojadas durante la noche.</p> <p>Sábado, 24 de enero: otro vuelo de helicóptero al pie del volcán suministró la siguiente información:</p> <p>El avance de las tres coladas de lava había viajado aproximadamente 3,2 kilómetros y tenía un volumen de unos 9,2 millones de metros cúbicos. En cambio las otras dos coladas se habían unido y viajado aproximadamente 2,6 kilómetros con un volumen combinado de unos 11 millones de metros cúbicos. Aunque el frente delantero de las coladas había parado, aparentemente más arriba, cerca de la base del cono, parecía que todavía la lava estuvo extendiéndose lateralmente. Continuó disminuyendo la actividad explosiva: durante los 45 minutos de nuestra permanencia se oyeron solamente 2 detonaciones.</p> <p>Martes, 27 de enero: una inspección aérea del volcán indicó que seguía la actividad explosiva. Una columna y nube de color blanco rosado ascendió a 500-1.000 metros sobre el cráter, y luego derivó hacia el Noroeste, seguida consecuentemente por la eyección explosiva de una nube gris oscura. Después de que la nube había subido unos 600 metros, se observó que dos nuees ardentes, de color café rojizo, se desprendieron desde la base de la columna oscura y descendieron violentamente por el flanco nororiental. Una serie de fotos consecutivas, tomadas de estas nuees ardentes, hizo posible una estimación de su velocidad hacia abajo. Así, su velocidad inicial fue aproximadamente de 135 kilómetros por hora, la que se redujo hasta 50 kilómetros por hora hacia la base del cono. Hay que mencionar que es la primera vez que se ha identificado el fenómeno de nuees ardentes en el país.</p> <p>Ninguna otra visita al volcán se realizó durante los siguientes meses. Sin embargo, desde la Carretera Interoceánica, muchas personas presenciaron la actividad impresionante de las nuees ardentes, especialmente por la noche, cuando se vio la nube roja e incandescente, volando hacia abajo a tremenda velocidad. Esta actividad continuó hasta abril de 1976.</p>

## ANEXO B



## CARACTERÍSTICAS DEL POLVO VOLCÁNICO

### Características físicas

#### Dureza

Varía entre 2 y 7 en la escala de Mohs. La escala de Mohs es una escala del 1 al 10 que clasifica los minerales desde los más suaves hasta los más duros. La tabla se muestra al lado.

Para el polvo, se puede tomar como valor medio de dureza 5,5, cifra correspondiente al vidrio volcánico.

#### Densidad

La densidad del polvo del Reventador varía entre 0,5 y 2 g/cm<sup>3</sup>, dependiendo de la compactación que experimente y del contenido de agua. Esto quiere decir que una capa de polvo de un centímetro de espesor puede ejercer un esfuerzo de 20 kg/m<sup>2</sup>.

### Características químicas

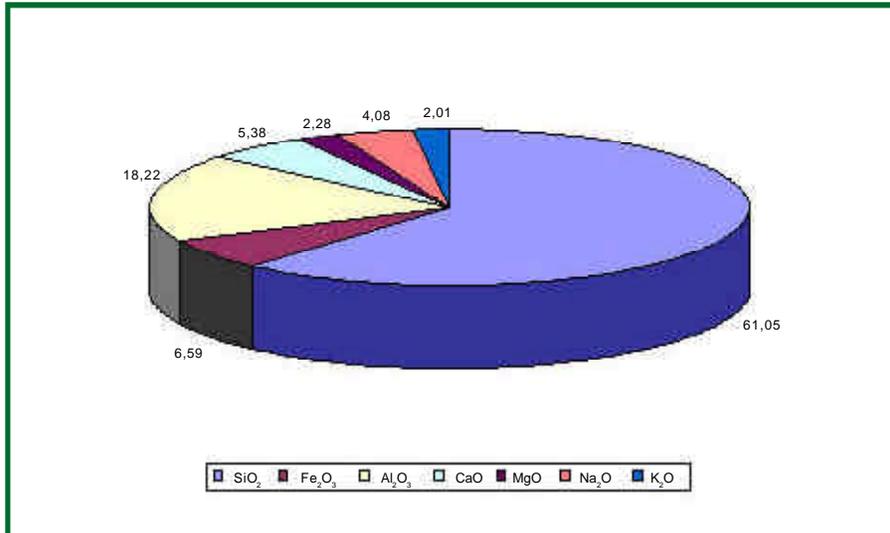
El polvo volcánico puede ser áspero, ácido, arenoso, viscoso y de mal olor. Aunque los gases normalmente se encuentran demasiado diluidos para constituir un peligro para una persona normal, la combinación de gases ácidos y polvo puede estar presente algunos kilómetros alrededor de la erupción y causar daños pulmonares a los infantes, ancianos y enfermos, o a quienes ya sufren enfermedades respiratorias graves.<sup>1</sup>

Cuadro B-1. Escala de Mohs

Dureza	Mineral
1	Talco
2	Yeso
3	Calcita
4	Fluorita
5	Apatita
6	Plagioclasa
7	Cuarzo
8	Topacio
9	Corindón
10	Diamante

<sup>1</sup> ESPN, 2002.

De la ceniza volcánica analizada por la Dirección Metropolitana Ambiental del Distrito Metropolitano de Quito, se desprende que 54,1%, corresponde a material particulado menor a  $45 \mu\text{m}$ , porcentaje en el cual estarían incluidas las partículas respirables.



**Figura B-1. Porcentaje de composición química de la ceniza**

El análisis químico de la ceniza del Reventador muestra una predominancia de sílice, que, relacionada con los contenidos de hierro y aluminio, podrían indicar que se trata de una oxidiana, cuarzo amorfo, no cristalino pero abrasivo y que, según las normas, podría causar problemas oculares y respiratorios.



ANEXO C

## ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AIRE

### Material particulado en el aire

La concentración de material particulado fue elevada en periodos que no presentan lluvias en comparación con los periodos lluviosos; sin embargo, en pocas horas de ausencia de lluvia, las concentraciones se elevaron a valores muy altos (cuadro C-1), de acuerdo con los datos obtenidos en el muestreo, en el cual, a pesar de existir lluvia, el valor supera ampliamente a la norma.

**Cuadro C-1. Mediciones de 2 muestras de material particulado, realizadas en la ciudad de Quito**

Parámetro	Norma para 24 horas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Material particulado ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
05-11-2002 (17.30 de muestreo a partir de las 14.30)	250	1.109
06-11-2002 (09.00 a 11.00)	250	5.250

Fuente: ESPN

Nota: La primera medición fue realizada en periodo lluvioso y la segunda un día después, sin lluvia.

La semana anterior a la erupción del volcán Reventador el promedio de pH que se obtuvo en 6 puntos de la ciudad fue 6,2 unidades (cuadro C-2), en tanto que la semana de la erupción, el promedio fue 4,9 unidades, lo cual indica que la erupción volcánica generó un proceso de lluvia ácida en el Distrito Metropolitano de Quito.

**Cuadro C-2. Valores de pH para medir la acidez del agua de lluvia en diferentes sectores de la ciudad de Quito, una semana antes y durante la erupción del volcán Reventador**

Puntos geográficos	Sector
1	Ecuatoriana (Sur)
2	Gatazo (Sur)
6	Orquídeas (Centro Sur)
8	Jipijapa (Norte)
11	Conocoto (Valle)
14	Carcelén (Norte)

*Fuente:* Dirección Metropolitana Ambiental, 2002.

En la semana del evento los análisis de agua de lluvia indicaron que el 7 de noviembre se presentaron los valores más ácidos y que esta tendencia se mantuvo el día 8 en el norte de la ciudad. Al sur de la ciudad no se cuenta con datos por la escasa lluvia presentada ese día.

El reporte del INAMHI de pH 3,6 del 7 de noviembre de 2002 confirma los valores obtenidos por la Dirección de Medio Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito.



## ANEXO D

## ENERGÍA ELÉCTRICA

**Cuadro D-1. Descripción de la problemática de dotación de energía eléctrica en la semana de emergencia provocada por la erupción del volcán Reventador**

Servicio de luz eléctrica	
<b>3 de nov.</b>	A partir de las 15.30 horas se quedan sin luz varios barrios del sur, de la zona de Pomasqui, San Rafael y El Quinche.
<b>4 de nov.</b>	Problemas con la ceniza depositada en las subestaciones de Santa Rosa, Eplicachima, Eugenio Espejo, El Quinche, Sangolquí, Tumbaco y Cumbayá. Además, en los aisladores y equipos. Con la lluvia, se formó una pasta que produjo un cortocircuito que afectó a succionadores, fusibles y aisladores. Alrededor de 41 barrios quedaron sin servicio por este problema. Las subestaciones San Rafael y El Quinche son las más afectadas, se produjo un daño en el transformador de la S/E La Vicentina.
<b>5 de nov.</b>	La situación va mejorando, mientras se detectan daños. El problema se ha superado en El Quinche, mas no en Tumbaco, por el tiempo adverso. Continúan los problemas en S/E Santa Rosa, Eplicachima y San Rafael.
<b>6 de nov.</b>	Se restablece el servicio eléctrico en la ciudad y paulatinamente se reparan 200 alimentadores. Se prepara una programación para la suspensión de luz en varios barrios, especialmente del sur y del noroccidente, para realizar limpieza y mantenimiento en conductores de 8.00 a 15.00 todos los días.
<b>7 de nov.</b>	Restablecido el servicio de la población de Guayllabamba como parte de la S/E El Quinche. A las 16.00 se quema un transformador de 112,5, cable A, en la calle Ventura Aguilera. A las 16.30 se quema un transformador de 65, cable A, en la calle América y Álamos. De 97 reparaciones solicitadas en el área urbana, se reparan 70. De 55 reparaciones solicitadas en el área rural, se reparan 45. Fueron daños producidos por la caída de ceniza. Programación de mantenimiento en barrios Baquer y Cofavi, Rumiñahui y El Rosario. Zonas rurales de La Bota, Calderón, Carapungo, Tumbaco, La Morita, Tola Chica, Tola Grande y Arenal.

<b>8 de nov.</b>	Ningún corte o problemas adicionales. Se reparan las líneas primarias, las subestaciones, y continúan los cortes según lo programado. La programación de cortes por mantenimiento se realiza en los barrios Kennedy, California y Damer. Zonas rurales de Miravalle, Tandar, rancho San Francisco, calle de Nayón, La Primavera, 23 de Abril, Umbisi y San Juan. Además de Betania, Alangasi y Ushimana. Se soluciona 95% de generación de luz.
<b>9 de nov.</b>	Programación de mantenimiento en los barrios San Bartolo, El Calzado, Quito Sur, Panamericana Sur, desde la Catarama hasta el Tablón; en el valle, los sectores de La Rivera, La Armenia, La Hospitalaria, Guangopolo y Amaguaña.
<b>10 de nov.</b>	Programación de mantenimiento en los sectores de La California y Coyaloma, en el Valle de los Chillos, Sangolqui, Club Los Chillos, Capelo, La Colina y Amaguaña.
<b>11 de nov.</b>	A excepción de un barrio, todo el Distrito Metropolitano de Quito tiene luz.

Fuente: Unidad de Prevención de Desastres de la Dirección Metropolitana de Seguridad Ciudadana. Noviembre de 2002.

#### Cuadro D-2. Elementos del sistema eléctrico y duración de los daños durante la semana de emergencia

Sistema al que pertenece	Subestación	Total de desconexiones*	Tiempo del problema	Total de desconexiones (primarias)
Urbano Voltaje del sistema 6,3 kV	N.º 3	2	6 de noviembre	2
	N.º 7	1	6 de noviembre	0
	N.º 10 V	1	6 de noviembre	0
	N.º 10 N	1	6 de noviembre	3
	N.º 11	0		3
	N.º 16	0		7
	Olimpico	1	6 de noviembre	5
	Carolina	0		2
	Vicentina	1	4 de noviembre	
Urbano Voltaje del sistema 22,8 kV	N.º 2	0		4
	N.º 18	0		31
	N.º 19	0		24
	Epicachima	1	4 y 5 de noviembre	27
	Eugenio Espejo	1	4 de noviembre	30
	Santa Rosa	1	4 y 5 de noviembre	20
	Pomasqui	0		1
Rural Voltaje del sistema 22,8 kV (Zona Sur)	Sangolqui	1	4 de noviembre	14 del sistema
	Machachi	0		3
	San Rafael	1	4 y 5 de noviembre	60
Rural Voltaje del sistema 22,8 kV (Zona Noreste)	Tumbaco	1	4 y 5 de noviembre	90
	Quinche	2	4 de noviembre	21
	Cumbayá	1	4 de noviembre	

Fuente: Empresa Eléctrica Quito (Reporte Técnico de las Consecuencias del Reventador), noviembre de 2002. Realización: Jairo Estacio (Dirección Metropolitana de Seguridad Ciudadana-IRD).



## ANEXO E

## ANÁLISIS Y CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA

La Escuela Superior Politécnica Nacional realizó 5 análisis de agua potable para determinar la calidad del agua de consumo humano que llegaba a los pobladores de Quito. Todas las muestras analizadas estaban dentro de los parámetros normales.

**Cuadro E-1. Análisis químico de una muestra de agua potable tomada en el sector del Condado, 11 de noviembre de 2002**

Muestra	Determinación	Contenido mg/L (ppm)
El Condado 11/11/2002 20.00	Aluminio	< 0,1
	Titanio	< 0,1
	Hierro	0,05
	Calcio	0,89
	Magnesio	0,3
	Sodio	5,79
	Potasio	2,97
	Níquel	< 0,01
	Cobalto	< 0,01
	Manganeso	< 0,01
	Cromo	< 0,01
	Cobre	0,01
	Plomo	< 0,01
	Cinc	0,03
	Molibdeno	< 0,1
	Arsénico	< 0,1 $\mu\text{g/L}$ (ppb)
	Selenio	< 0,1 $\mu\text{g/L}$ (ppb)
	Antimonio	< 0,1 $\mu\text{g/L}$ (ppb)
	Mercurio	< 0,1 $\mu\text{g/L}$ (ppb)

Fuente: Escuela Superior Politécnica Nacional

**Cuadro E-2. Análisis químico de una muestra de agua potable tomada en el sector del Condado, 12 de noviembre de 2002**

Muestra	Determinación	Contenido mg/L (ppm)
El Condado 12/11/2002 7.00	Aluminio	< 0,1
	Titanio	< 0,1
	Hierro	0,06
	Calcio	0,88
	Magnesio	0,29
	Sodio	5,86
	Potasio	2,90
	Niquel	< 0,01
	Cobalto	< 0,01
	Manganeso	< 0,01
	Cromo	< 0,01
	Cobre	0,02
	Plomo	< 0,01
	Cinc	0,07
	Molibdeno	< 0,1
	Arsénico	< 0,1 $\mu\text{g/L}$ (ppb)
	Selenio	< 0,1 $\mu\text{g/L}$ (ppb)
	Antimonio	< 0,1 $\mu\text{g/L}$ (ppb)
Mercurio	< 0,1 $\mu\text{g/L}$ (ppb)	

Fuente: Escuela Superior Politécnica Nacional

**Cuadro E-3. Análisis químico de una muestra de agua potable tomada en el sector de La Vicentina, 11 de noviembre de 2002**

Muestra	Determinación	Contenido mg/L (ppm)
La Vicentina 11/11/2002 20.00	Aluminio	< 0,1
	Titanio	< 0,1
	Hierro	0,01
	Calcio	0,09
	Magnesio	0,49
	Sodio	13,59
	Potasio	3,91
	Niquel	< 0,01
	Cobalto	< 0,01
	Manganeso	< 0,01
	Cromo	< 0,01
	Cobre	0,02
	Plomo	< 0,1
	Cinc	0,01
	Molibdeno	< 0,1
	Arsénico	< 0,1 $\mu\text{g/L}$ (ppb)
	Selenio	< 0,1 $\mu\text{g/L}$ (ppb)
	Antimonio	< 0,1 $\mu\text{g/L}$ (ppb)
Mercurio	< 0,1 $\mu\text{g/L}$ (ppb)	

Fuente: Escuela Superior Politécnica Nacional

**Cuadro E-4. Análisis químico de una muestra de agua potable tomada en el sector de Mañosca, 12 de noviembre de 2002**

Muestra	Determinación	Contenido mg/L (ppm)
Mañosca 12/11/2002 7.00	Aluminio	< 0,1
	Titanio	< 0,1
	Hierro	0,02
	Calcio	1,10
	Magnesio	0,49
	Sodio	13,99
	Potasio	3,91
	Níquel	< 0,01
	Cobalto	< 0,01
	Manganeso	< 0,01
	Cromo	< 0,01
	Cobre	0,01
	Plomo	< 0,1
	Cinc	0,02
	Molibdeno	< 0,1
	Arsénico	< 0,1 $\mu\text{g/L}$ (ppb)
	Selenio	< 0,1 $\mu\text{g/L}$ (ppb)
Antimonio	< 0,1 $\mu\text{g/L}$ (ppb)	
Mercurio	< 0,1 $\mu\text{g/L}$ (ppb)	

Fuente: Escuela Superior Politécnica Nacional

De las cuatro principales plantas de tratamiento de agua potable del Distrito Metropolitano de Quito, se observaron únicamente en las de Bellavista y Puengasí ligeros cambios en los valores de pH y turbiedad del agua cruda. En las plantas de El Placer y El Troje no se detectó ningún cambio apreciable relacionado con la erupción del Reventador (figuras E-1, E-2 y E-3).

En la planta de Bellavista y Puengasí la variación de turbiedad en el agua cruda fue en ascenso y llegaron a registrarse valores de hasta 60 UNT y el pH descendió en aproximadamente 0,25 unidades. Sin embargo, estas variaciones no afectaron el proceso normal de potabilización y la calidad del agua que se distribuyó en el Distrito Metropolitano de Quito cumplió con las especificaciones establecidas por las normas para agua potable.

La frecuencia de los controles durante la erupción y emanación de cenizas del volcán Reventador se aumentó tanto en lo que se refiere a los parámetros básicos (pH, color, turbiedad, alcalinidad) como en los controles de calidad completos. El monitoreo de la calidad de agua cruda y tratada se mantuvo durante las 24 horas del día, mientras duró la emergencia.

Fuente: Escuela Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2002

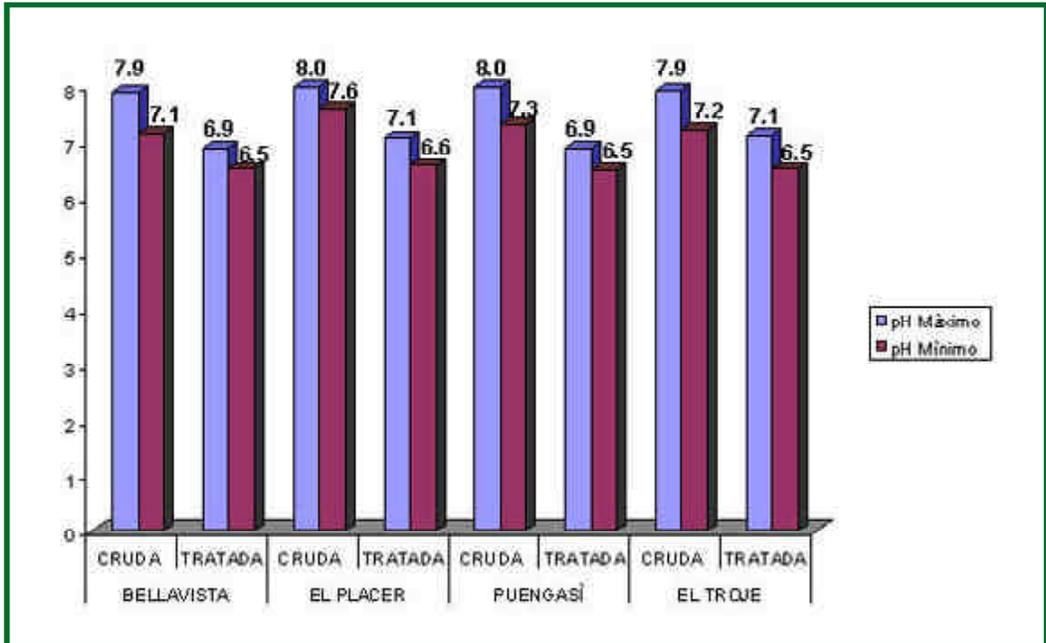


Figura E-1. Valores máximos y mínimos de pH muestreados en agua cruda y tratada en 4 plantas de tratamiento del Distrito Metropolitano de Quito durante la emergencia. Del 3 al 15 de noviembre de 2002.

Fuente: Escuela Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2002

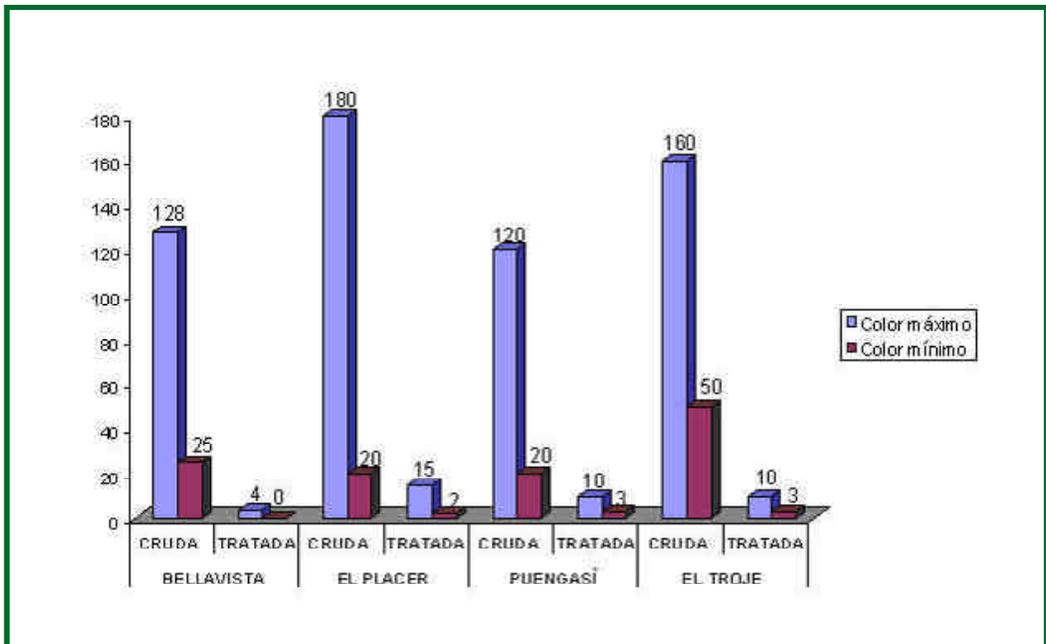


Figura E-2. Valores máximos y mínimos de color muestreados en agua cruda y tratada en 4 plantas de tratamiento del Distrito Metropolitano de Quito durante la emergencia, del 3 al 15 de noviembre de 2002.

Fuente: Escuela Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2002

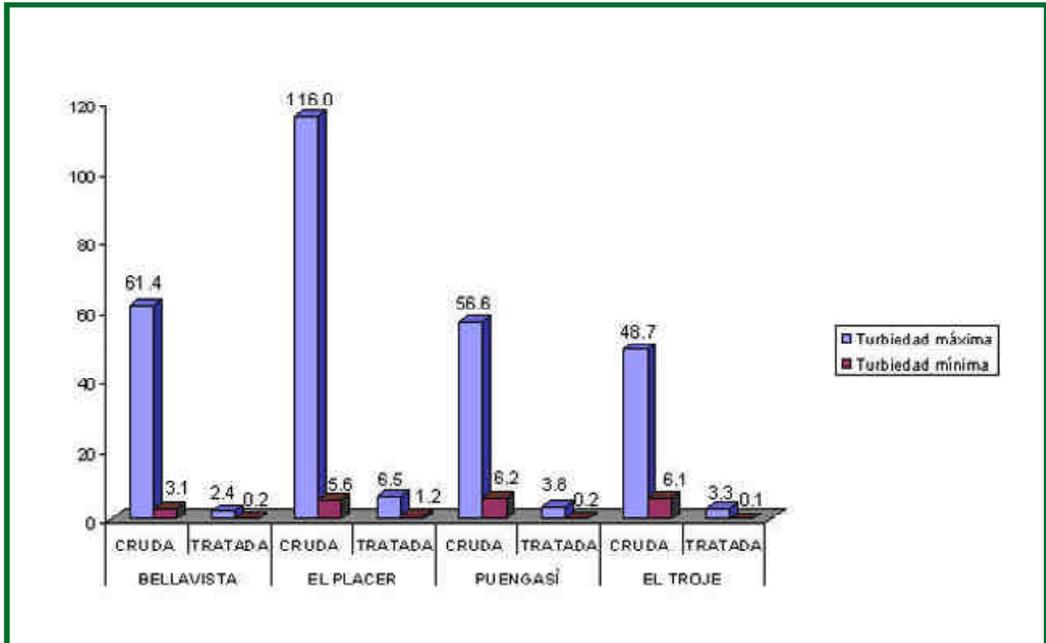


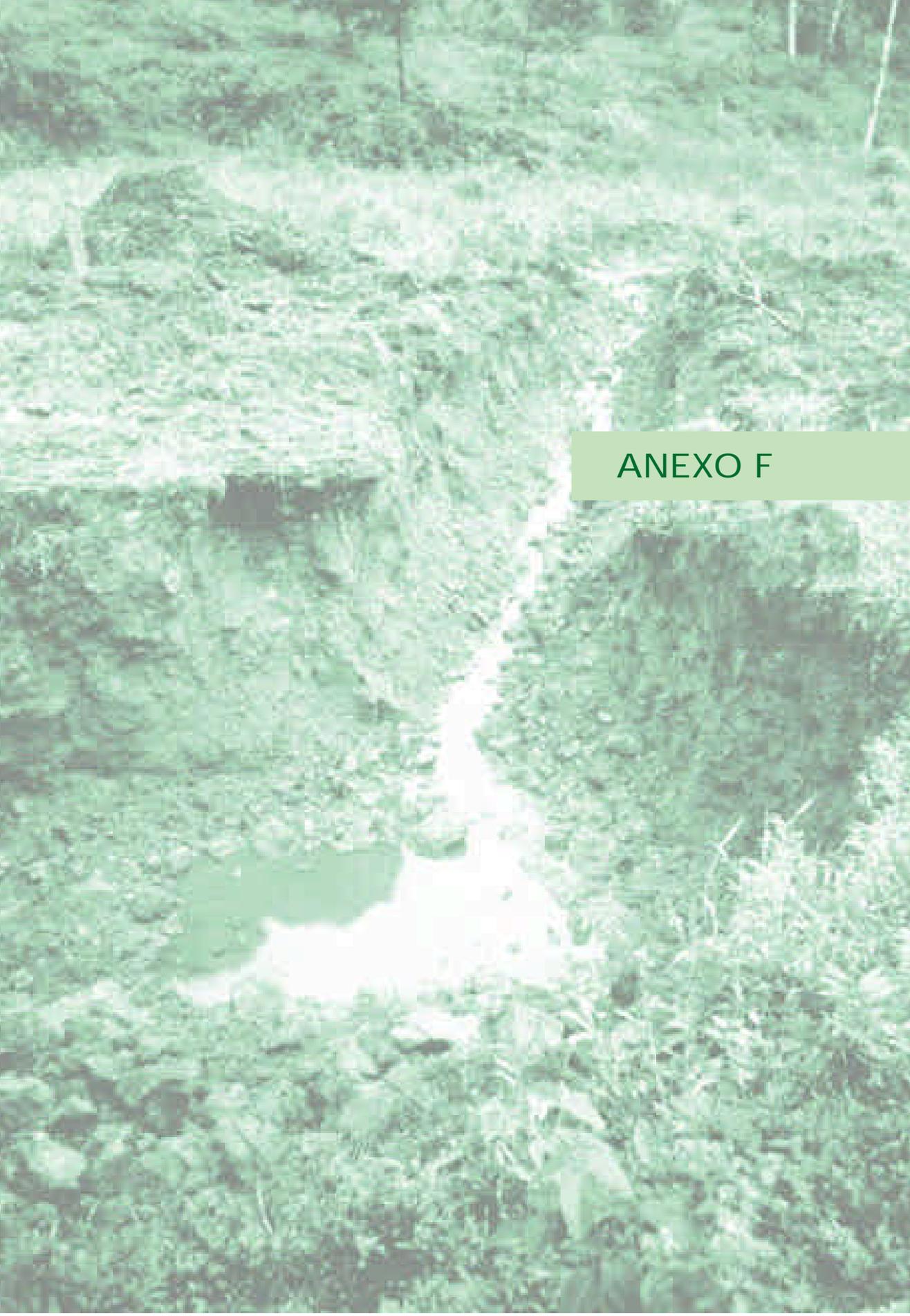
Figura E-3. Valores máximos y mínimos de turbiedad muestreados en agua cruda y tratada en 4 plantas de tratamiento del Distrito Metropolitano de Quito durante la emergencia, del 3 al 15 de noviembre de 2002.

Ante la posible contaminación del agua por compuestos químicos derivados del azufre, debido a la presencia de gas sulfhídrico en el aire, se realizaron ensayos para determinar la presencia de gas sulfhídrico en agua cruda y tratada, y se obtuvieron resultados negativos.

Cuadro E-5. Medición de gases sulfurosos en dos sectores del Distrito Metropolitano de Quito para medir el impacto de los gases arrojados por el volcán Reventador

Parámetro	Dióxido de azufre SO <sub>2</sub> (ppm)	Gas sulfhídrico H <sub>2</sub> S (ppm)
11-11-2002 (una hora de muestreo a partir de las 11.30, sector El Condado)	1 a 3	< 5
11-11-2002 (una hora de muestreo a partir de las 16.15, Campus José Rubén Orellana, Escuela Superior Politécnica Nacional)	1 a 3	< 5

Fuente: Escuela Superior Politécnica Nacional



ANEXO F

Cuadro F-1. Análisis fisicoquímico del agua potable

Número de la muestra	A1	A2	B	C	D1	D2	E1	E2	F
Origen	Granda Centeno	Granda Centeno	Mañosca y Occidental	Miraflores	Las Casas	Las Casas	La Vicentina	La Vicentina	El Recreo
Fecha de recolección	05-nov-02	04-nov-02	05-nov-02	05-nov-02	04-nov-02	05-nov-02	03-nov-02	04-nov-02	05-nov-02
Tipo de muestra	Puntual	Puntual	Puntual	Puntual	Puntual	Puntual	Puntual	Puntual	Puntual
Hora de recolección	8.00	19.00	7.30	8.00	17.00	6.30	20.00	7.00	7.30

Análisis fisicoquímicos	Unidades	Concentraciones
pH		6,46
Turbiedad	UNT	0,3
Conductividad	µS	125,3
Alcalinidad total	mg/L	29
Cloro residual	mg/L	0,4

Fuente: Escuela Superior Politécnica Nacional

Fuente: Escuela Superior Politécnica Nacional

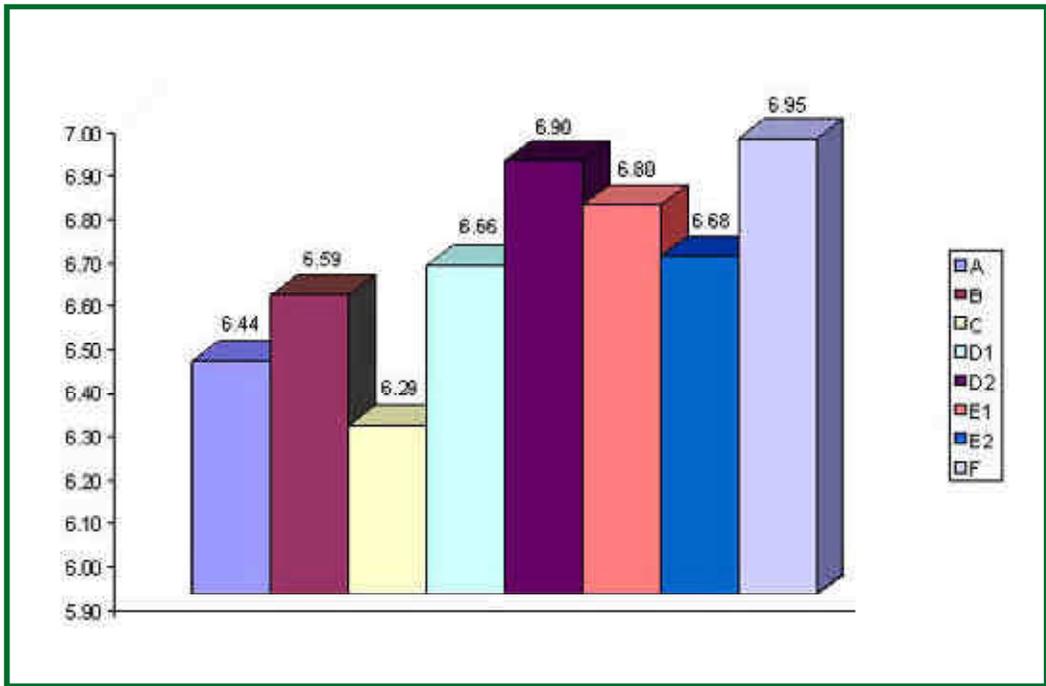


Figura F-1. pH del agua potable de la ciudad de Quito a partir de muestras obtenidas directamente de conexiones domiciliarias durante la erupción del volcán Reventador.

Fuente: Escuela Superior Politécnica Nacional

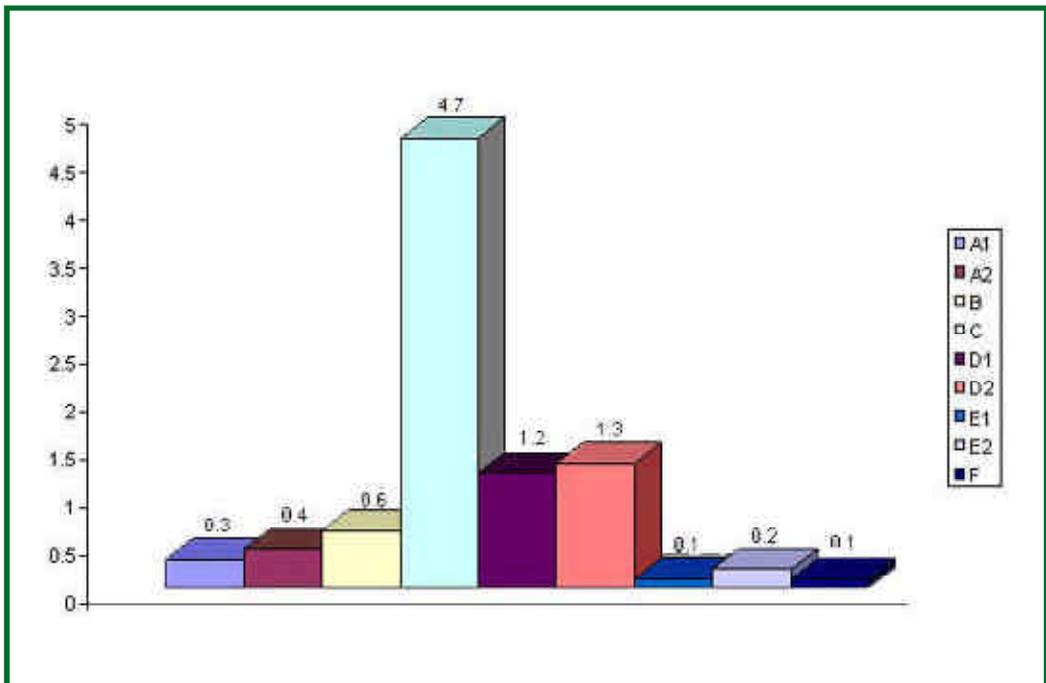


Figura F-2. Turbiedad del agua potable de la ciudad de Quito a partir de muestras obtenidas directamente de conexiones domiciliarias durante la erupción del volcán Reventador.

Fuente: Escuela Superior Politécnica Nacional, 2002

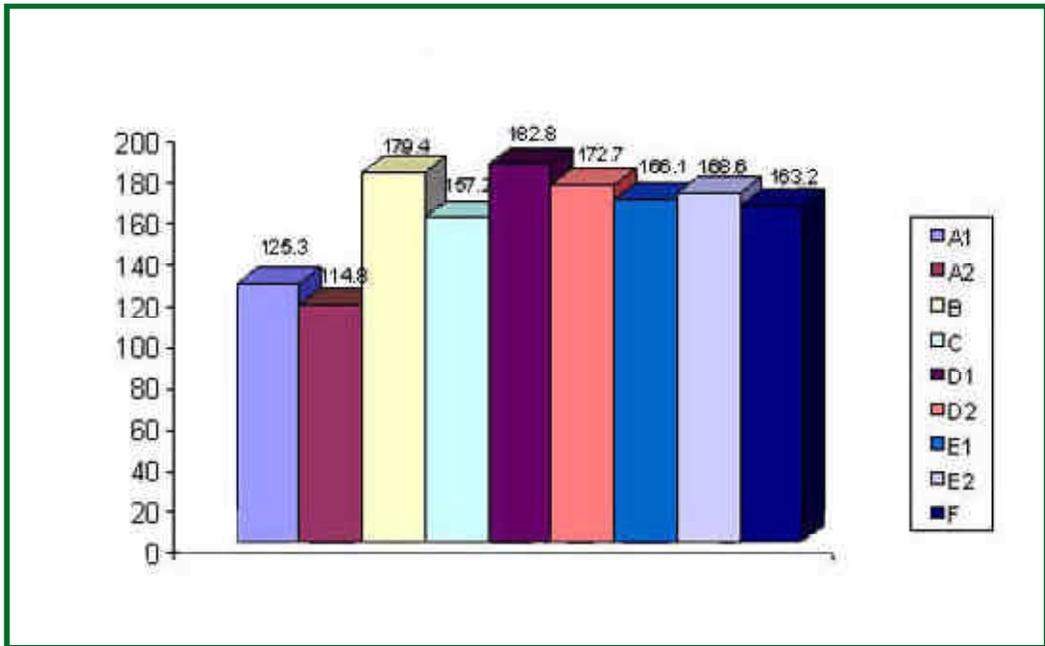


Figura F-3. Conductividad del agua potable de la ciudad de Quito a partir de muestras obtenidas directamente de conexiones domiciliarias durante la erupción del volcán Reventador.

Fuente: Escuela Superior Politécnica Nacional, 2002

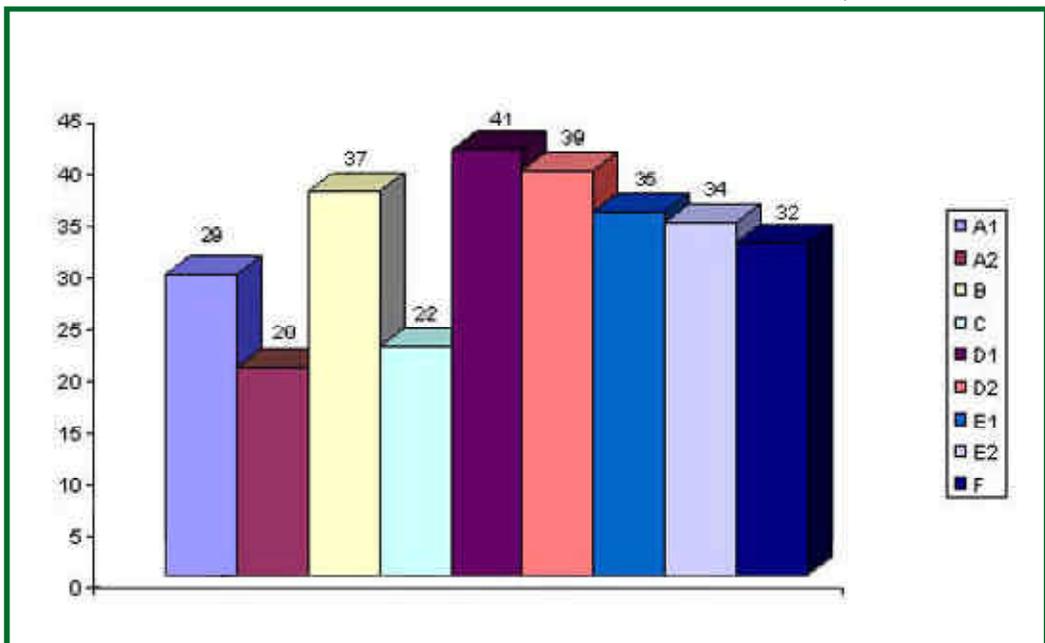


Figura F-4. Alcalinidad total del agua potable de la ciudad de Quito a partir de muestras obtenidas directamente de conexiones domiciliarias durante la erupción del volcán Reventador.

Fuente: Escuela Superior Politécnica Nacional, 2002

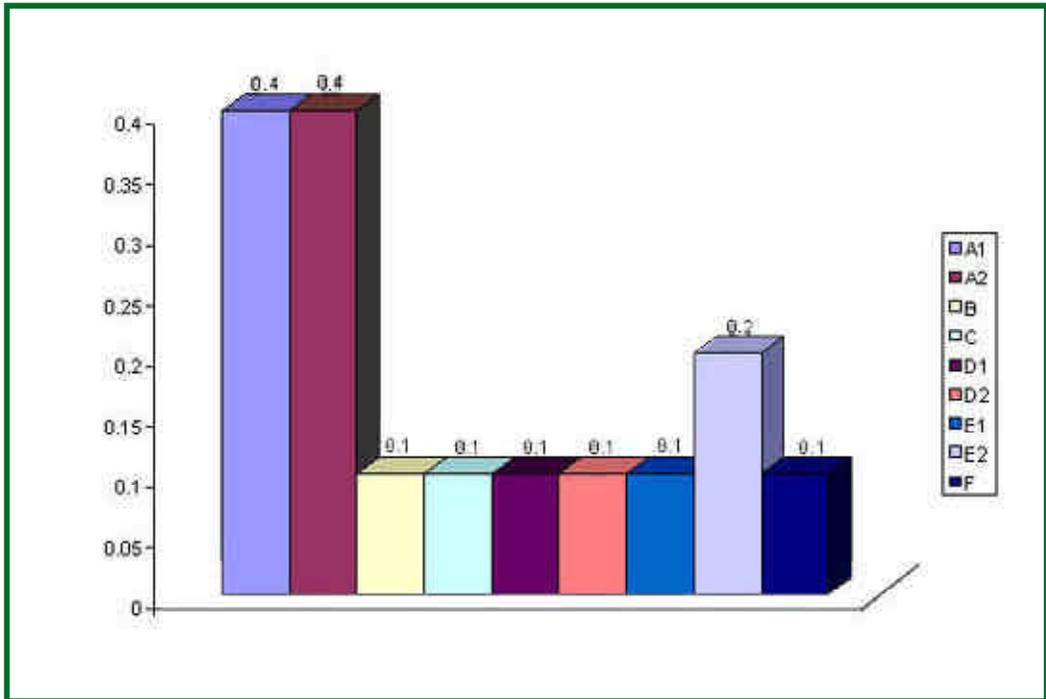


Figura F-5. Cloro residual del agua potable de la ciudad de Quito a partir de muestras obtenidas directamente de conexiones domiciliarias durante la erupción del volcán Reventador.



## ANEXO G

## NORMAS DE CALIDAD

Cuadro G-1. Componentes inorgánicos del agua potable

Componente	Límite recomendable (mg/L)	Límite permisible (mg/L)
Arsénico	—	0,05
Bario	—	1
Cadmio	—	0,005
Cianuro	—	0,1
Cromo	—	0,05
Dureza (CaCo <sub>3</sub> )	150	500
Fluoruros	Véase la tabla G-2	
Mercurio	—	0,001
Níquel	—	0,05
N-Nitratos (N)	—	10
N-Nitritos (N)	—	0,1
Plata	—	0,05
Plomo	—	0,05
Selenio	—	0,01
Sodio	20	115

Cuadro G-2. Límites recomendables para fluoruros<sup>a</sup>

Promedio anual temperatura del aire en °C	Límite deseable F mg/L	Máximo permisible F mg/L
10 - 12	1,27 - 1,17	1,7
12,1 - 14,6	1,17 - 1,06	1,5
14,7 - 17,6	1,06 - 0,96	1,3
17,7 - 21,4	0,96 - 0,86	1,2
21,5 - 26,2	0,86 - 0,76	0,8
26,3 - 32,6	0,76 - 0,65	0,8

<sup>a</sup> Normas de componentes inorgánicos de agua potable según el Ministerio de Salud Pública, Subsecretaría de Saneamiento Ambiental SSA-IEOS, 1998.

Las normas de calidad organoléptica del agua potable son las siguientes:

Cuadro G-3. Calidad organoléptica<sup>a</sup>

Componente o característica	Unidad	Límite recomendable	Límite permisible
Ácido sulfhídrico (SH <sub>2</sub> )	mg/L	0	0,05
Aluminio (Al)	mg/L	0,2	0,3
Cinc	mg/L	1,5	5
Cloruros (Cl)	mg/L	—	250
Clorofenoles	mg/L	—	0,002
Cobre (Cu)	mg/L	—	1
Color	UCV Pt-Co	5	15
Detergentes expresados como SAAM	mg/L	—	0,50
Dureza	mg/L (CaCO <sub>3</sub> )	150	500
Hierro (Fe)	mg/L	0,3	0,5
Manganeso (Mn)	mg/L	0,05	0,1
Oxígeno disuelto	mg/L	6	80% saturación
pH		7-8,5	6,5-8,5
Sabor y olor		no objetable	no objetable
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	250	400
Temperatura	°C	—	No exceda de 5 °C de la temperatura ambiental media de la región
Total de sólidos en disolución	mg/L	250	1.000
Turbiedad	UNT	1	10

<sup>a</sup> Normas de calidad organoléptica de agua potable según el Ministerio de Salud Pública (MSP), Subsecretaría de Saneamiento Ambiental SSA-IEOS, 1998.