GUÍA DE APOYO PARA LA PREPARACIÓN DE UN PLAN DE CONTINGENCIA ANTE LA ERUPCIÓN DEL VOLCÁN "EL REVENTADOR"

1 . SITUACION GENERAL.

Antecedentes.¹

El volcán "El Reventador" se encuentra en la región oriental ecuatoriana, en la cordillera subandina. Ésta cordillera es producto de fallas de cabalgamiento que permitieron el paso del magma hacia la superficie formando algunos volcanes como el Sumaco, Yanayacu y Pan de Azúcar. El volcán El Reventador se presenta como una caldera en forma de herradura orientada hacia el este; constituyendo 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 se extiende en un diámetro de 3 - 4 kilómetros. La base del antiguo volcán es de 13 Km. mientras que la base del actual cono es de 2 Km. En una de las erupciones de El Reventador en 1.944 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 piroclásto han formado una planicie hacia el este del volcán que desemboca en el río Quijos.

La historia eruptiva del volcán El Reventador es algo oscura, particularmente la de los primeros años, lo cual se debe a su ubicación geográfica, pues hasta los primeros años del siglo XX era un volcán prácticamente desconocido. Además, por encontrarse aislado de centros poblados, sus erupciones no tenían efectos para las personas, todo lo cual hizo que la actividad del volcán no fué tomada en cuenta y debidamente documentada. Las circunstancias anotadas, también han dado lugar a que en algunos casos exista duda sobre el origen de ciertas erupciones, ya que algunos autores las asignan a El Reventador, mientras otros las relacionan con el Antisana u otros volcanes

---

¹ Referencias Bibliográficas: 3,7,14

ubicados en dirección norte de la ciudad de Quito donde se detectaba la caída de ceniza. En varias ocasiones las crónicas antiguas hablan de lluvias de cenizas provenientes del noreste de Quito, lo cual no permite determinar con exactitud el volcán originario de la erupción, pues se debe considerar que en la antigüedad la ciudad se extendía hasta lo que hoy es la plaza de San Blas y, por consiguiente, en la mentada dirección se puede considerar que estaban tanto El Reventador como el Antisana.

Recurriendo a una amplia bibliografía se ha analizado todo lo relacionado a los eventos volcánicos en que ha sido mencionado El Reventador, a fin de aclarar, en la medida de lo posible, lo relacionado con la historia eruptiva de este volcán.

Evolución geológica del volcán.¹

El volcán Reventador consta de tres edificios volcánicos sucesivos (INECEL, 1.988). El Complejo Volcánico Basal (CVB) es un estratovolcán² que inició su construcción hace aproximadamente 350.000 a 400.000 años antes del presente (AP). Este edificio sufrió un gran colapso sectorial, que originó una caldera y un depósito de avalancha de escombros de aproximadamente 20 km³. Éste evento ocurrió hace aproximadamente 30.000 años (AP).

Entre sus productos volcánicos se encuentran lavas, brechas andesíticas, andesitas básicas y depósitos piroclásticos de composición más diferenciada (andesitas y riolitas). El volcán intermedio, denominado Volcán Paleo Reventador (VPR), es asimismo un estratovolcán que creció al interior de la caldera de avalancha y que a su vez sufrió otro colapso sectorial, dirigido también hacia el oriente. Su caldera de avalancha es fácilmente reconocible en la topografía actual y el depósito de avalancha se estima en 8 km³. La edad de este evento se estima en 20.000 años AP. El rango composicional de los productos volcánicos de este edificio está restringido a los términos básicos e intermedios (basaltos, andesitas básicas y andesitas). El cono joven, denominado Volcán El Reventador (VER), está construido al interior de la última

---

¹ Referencias Bibliográficas: 7,15.

² Los estratovolcanes son edificios volcánicos formados por capas de material fragmentario y corrientes de lavas intercaladas, surgidos en épocas de actividad explosiva, seguidas de otras donde arrojaron corrientes de lava fluida.

caldera de avalancha; como para el edificio VPR, este cono presenta un rango restringido de productos volcánicos que varían entre las andesitas básicas y las andesitas. El edificio actual (VER) constituye uno de los volcanes más activos del arco ecuatoriano, siendo especialmente activo durante el siglo XX. Se ha reportado actividad importante en los años **20** (1.922, 1.926, 1.929), **en 1.936, en 1.944**, en los años **50** (1.955, 1.958, 1.960), en los años **70** (1.972, 1.973-1.974 y 1.976) **y a partir del 2002**. De estos períodos merecen especial atención las erupciones de 1.944 (VEI-3),¹ en la cual se reporta una caída de ceniza en Quito durante 5 horas, y la erupción de 1.976 (VEI-2), la cual fue observada y descrita por M. L. Hall (Hall, 1.980). Durante el período histórico, el nivel de explosividad de estas erupciones ha sido moderado (VEI 2-3), con un dinamismo eruptivo que se puede catalogar como estromboliano o vulcaniano. Los fenómenos volcánicos generalmente reconocidos durante estas erupciones fueron caídas moderadas de ceniza en la Sierra, flujos piroclásticos y flujos de lava en los alrededores del cono, flujos de lodo y escombros (lahares) que descendieron por los ríos que drenan el interior de la caldera y que desembocan en el río Quijos.

Rasgos fisiográficos de El Reventador.

Caldera:	Diámetro: 3-4 Km. Elevación máxima: 3.485 m.s.n.m. (metros sobre nivel del mar).
Cono Activo:	Relieve sobre su base: 1.300 m. Diámetro de su base: 2 Km. Forma: Cono simétrico joven que está en erupción casi continua.
Altitud:	Ubicado en el rincón sur-oeste dentro de la caldera, la cual se encuentra abierta hacia el Este.
Coordenadas:	3.562 m.s.n.m. Latitud: 0o04'05" Sur; Longitud: 77o40'22" Oeste
Ubicación:	Provincias: Napo – Sucumbíos. Cordillera Subandina. Sector: a 53 Km al noreste de Baeza límite entre las provincias de Napo y Sucumbíos.

¹ VEI = Volcanic Explosivity Index (Indicador de explosividad volcánica). El VEI fué creado por los autores Newhall & Self en 1.982, con el propósito de describir la magnitud del volcanismo activo histórico. Parámetros como volumen de los productos emitidos, altura de la columna de gases y cenizas, etc., permiten estimar el vigor explosivo de un episodio eruptivo. Ver Anexo H.

Consideraciones vulcanológicas.¹

El Reventador es un volcán muy activo: su penúltima erupción se produjo en enero de 1.976 la cual fue documentada extensamente. En esa ocasión por primera vez en el siglo se presenciaron flujos piroclásticos en nuestro país. El período eruptivo es aproximadamente de 25 años, siendo así que entró nuevamente en proceso eruptivo a partir del 3 de noviembre del 2.002. La violencia de la explosión y sus características dinámicas catalogan la erupción como una erupción vulcaniana extremadamente violenta (Anexo C, Fotografía 1)². Una característica peculiar del período más importante de la erupción fue su carácter freatomagmático, relacionado con una interacción explosiva entre el agua de los niveles freáticos del volcán y el nuevo magma en ascenso. En base al estudio de las caídas de ceniza y la elaboración de mapas de isópacas (J.-L. Le Pennec, IRD-IGEPN, trabajo en curso), se pudo estimar un volumen preliminar de tefra³ del orden de 242 millones de m³. Si a esto sumamos el volumen de los depósitos de material dejado por los flujos piroclásticos, se puede llegar fácilmente a 282 millones de m³; todo esto sin considerar el volumen del flujo de lava emitido. Estos datos, conjuntamente con la altura de la columna eruptiva (16-17 Km.), le asignan a la erupción un VEI de 4. Durante la etapa más importante del proceso eruptivo, se generaron importantes flujos piroclásticos que cubrieron aparentemente todo el fondo de la caldera de avalancha, al oriente del cono joven. Uno de estos flujos tuvo la movilidad y la energía suficiente para sobrepasar el límite oriental de la caldera y descender hacia el río Coca. Este flujo descendió por el flanco sur oriental del cono joven hacia el río Marker y la Quebrada Montana (Anexo C, Fotografía 2). Una vez sobrepasado el alto topográfico que constituye la serie de elevaciones ubicadas en el límite oriental de la caldera, este flujo se bifurcó en dos ramales. El más importante se dirigió hacia la quebrada Montana,

---

¹ Referencias Bibliográficas: 15.

² Una erupción vulcaniana se refiere a las explosiones volcánicas breves, no sostenidas, con una duración del orden de unos pocos minutos. Una erupción pliniana presenta un grado de explosividad mayor y se caracteriza por la emisión sostenida de material volcánico por decenas de minutos o más.

³ La tefra está constituida por fragmentos de rocas y lava que han sido expulsados hacia la atmósfera y que luego caen nuevamente sobre la superficie terrestre; varía de tamaño desde ceniza (menores a 2 mm), a lapilli (2-64 mm), hasta bloque y bombas (mayores a 64 mm).

mientras que un ramal secundario tomó la dirección del río Marker. Los depósitos de los flujos piroclásticos⁴ se identifican en la categoría de flujos de escoria, típicos de volcanes andesíticos como El Reventador. Los estudios de campo han permitido disponer de un buen muestreo que incluyen todas las fases observadas, desde bombas en coliflor casi pumíticas hasta bloques vítricos muy poco o nada vesiculados. Se observaron además algunas bombas con un bandeamiento incipiente que al parecer son de origen textural, relacionadas con el diferente grado de vesicularidad de las diferentes fases del magma. Sin embargo no se puede descartar un fenómeno de mezcla de magmas, entre un polo ácido, volumétricamente poco importante, remanente probablemente de la erupción de 1.976 y un polo andesítico más primitivo y volumétricamente más importante. El día 9 de noviembre del 2.002, el Sr. J. Anhalzer, en un sobrevuelo efectuado al interior de la caldera, pudo observar la presencia de un flujo de lava que descendía desde el cráter por el margen sur occidental de la caldera. En otros sobrevuelos en los días 12 y 18 de noviembre del 2.002 (Figura 3) se pudo observar que el flujo continuaba descendiendo y había recorrido ya una distancia de unos 3.7 Km. (medidos en base a fotografías tomadas durante los vuelos). Se calcula que a la fecha tenía un volumen de alrededor de 21 millones de metros cúbicos. En función del incremento de la sismicidad, se estima que el flujo se inició alrededor del día 7 a 8 de noviembre, lo cual confirma los reportes del campo de esas fechas, sobre material incandescente descendiendo por el flanco del cono. Se estima que a la fecha el flujo de lava habría recorrido ya la mitad de la distancia desde el cono hasta la carretera y continuaba su avance hacia las cabeceras de los ríos Marker y Montana. Para establecer la tasa del avance del flujo de lava, así como para detectar posibles represamientos de los ríos mencionados, es necesario efectuar frecuentes observaciones aéreas. Por efectos de la erupción del volcán El Reventador han sido afectados los ríos Marker y Montana, que alimentan a los ríos Salado y Quijos y este a su vez al río Payamino que desemboca en el río Napo; ríos por donde se encaminarían los flujos de lodo e inundaciones que se originen en los lados este y sur-este del El Reventador.

⁴ Los depósitos piroclásticos son producidos por la fragmentación del magma y de la roca encajante durante las erupciones explosivas.

Las zonas de mayor y menor riesgo siguen la dirección de los ríos nombrados, en cauces con cañones profundos.

La expansión de ceniza afectó a las Provincias de Pichincha, Napo y Sucumbios. Los daños por emanación de flujos piroclásticos afectaron directamente a las poblaciones de la **Provincia de Napo** en el **Cantón El Chaco**: las comunidades de Cusumbe, El Chaco, San Juan, Cascabel, Guataringo, Las Palmas, Piedrafina, Santa Rosa, Santa Rosa Alto, Tres Cruces, Gonzalo Díaz de Pineda, Linares, Sardinias; en el **Cantón Quijos** las comunidades de Baeza, San Francisco de Borja, Papallacta, Tambo, Cuyuja, San Víctor de Cuyuja, Cosanga, Las Palmas de Cosanga, Sumaco.

En la **Provincia de Sucumbios** en el **Cantón Gonzalo Pizarro**: las comunidades de Chontayacu, Flor del Valle, Lumbaqui, San Pedro del Chaco, Amazonas, Chuscuyacu, Dashiño, Gonzalo Pizarro, La Unión, Nuevo Paraíso, Panduyacu, Playas del Río Coca, Playas del Río Tigre, Puerto Libre, Cabeno, Chiparo, Chontayacu, El Recodo, Flor del Valle, La Amarilla, Sinangüe, Alma Ecuatoriana, Atenas, El Reventador, La Libertad, San Francisco, Simón Bolívar.

Características de las erupciones históricas de El Reventador.¹

En 1.590 se experimentó una abundante caída de ceniza en Quito, proveniente del noreste; algunos autores, la atribuyen a El Reventador; sin embargo existe también la posibilidad de que haya provenido del Antisana.

En 1.591 cayó ceniza en Quito, proveniente del nor-este; posiblemente El Reventador.

El 7 de diciembre de 1.743, 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 atribuido a El Reventador. Este evento también fue atribuido al Antisana, al Sumaco e incluso al Guagua Pichincha.

En 1.797, las lluvias de ceniza caídas en Quito se atribuyen a El Reventador por haber provenido del noreste.

---

¹ Referencias Bibliográficas. 7,14.

En 1.802 – (1.801), en Chillogallo y Píntag se oyeron estruendos y retumbos, especialmente en los meses de abril y mayo, atribuidos por algunos autores a El Reventador.

En 1.844, lluvia de ceniza proveniente del noreste. Posiblemente relacionada con una erupción de El Reventador.

El 12 de diciembre de 1.856, se escucharon ruidos subterráneos provenientes del noreste y nubes de ceniza obscurecieron Quito por dos días. Es posible que se haya tratado de El Reventador.

En 1.871, hay evidencias de que en Imbabura se escucharon bramidos procedentes del oriente. En este caso si fueron ruidos subterráneos de origen volcánico, es muy posible que hayan provenido de El Reventador.

En 1.894, se vió en Quito abundante caída de tierra de elaboración volcánica, de color gris negruzco; un testigo aseguró haber visto una columna de humo en la cordillera Oriental.

El 8 de abril de 1.898, por descripción de un testigo ocular, se deduce que la emanación de material incandescente provenía de El Reventador. A partir de la erupción de 1.898, El Reventador presentó una actividad casi continua hasta 1.906.

En 1.926, hubo lluvia de ceniza en parte de la región Interandina: se consideró que provenía de El 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. Habrían ocurrido violentas erupciones entre enero y mayo de 1.926, constatadas por la presencia de altas columnas de humo.

El 22 de febrero de 1.944, la prensa dio amplia difusión de una erupción: en esta fecha se inicia lluvia de ceniza en Quito de forma persistente; el 24 de febrero en el sector de la quebrada Cundur se constató una extensa bruma amarilla formada por materiales volcánicos; el 25 de febrero por la mañana la llovizna de polvillo volcánico era notable. Al principio la ceniza era casi imperceptible para pocas personas. El 1 de marzo cae ceniza en Quito desde la mañana, el volumen se calcula en más de 3cm /m²; el 2 de marzo se detecta en Quito un olor a gas sulfuroso. Pilotos de la FAE que volaron cerca del volcán informaron que El Reventador se encontraba arrojando corrientes de lava, cenizas y gas sulfhídrico hacia la atmósfera.

Desde el 4 al 13 de mayo de 1.960 hubo abundante caída de ceniza y polvo volcánico en la capital. El 9 de noviembre existió una ligera lluvia de ceniza volcánica proveniente del Reventador. Del 6 al 9 del mismo mes hubo gran humo volcánico en la atmósfera.

Las erupciones históricas del El Reventador que produjeron estos eventos laháricos se consideran como moderadas a grandes (VEI entre 3 y 4). Estas erupciones se destacaron por la generación de flujos incandescentes (nubes ardientes) que salieron del cráter durante la erupción principal y derritieron inmediatamente una parte de casquete de hielo y nieve, que existía entonces, produciendo así importantes lahares.

Peligros Asociados.¹

Los peligros mayores asociados con este volcán son principalmente lahares secundarios formados por la interacción de flujos piroclásticos con las intensas lluvias de esta región. Otro peligro probable es el descenso de lavas volcánicas que podrían alcanzar el río Quijos y represarlo. Las áreas pobladas en la región son mínimas pero existen infraestructuras sensibles como oleoductos y carreteras que podrían ser afectadas.

Un análisis de las amenazas principales asociadas a este tipo de erupción volcánica y los niveles de riesgo de manera general para una erupción volcánica se representa en la siguiente tabla:

---

¹ Referencias Bibliográficas: 1,14,16,17,18.

AMENAZA	DISTANCIA (Km)	AREA AFECTADA (Km)	NIVEL DE RIESGO
Sismicidad	50	8.000	Bajo
Flujo piroclástico	5 – 10	10-20	Alto
Bomba	2 – 5	10	Medio
Caída de tefra	Más de 10	Más de 1.000	Medio
Flujo de lava	3 – 10	2	Bajo
Lahar	10 – 20	10 – 20	Alto
Gases / lluvia ácida	20 – 30	1.000	Medio

Fuente: Metodología básica para la elaboración de un plan de prevención y de respuesta por actividad volcánica – Oficina Nacional de Emergencia – Gobierno de Chile, 2.002.

En erupciones pasadas y en la última del 2.002 la actividad del volcán ha estado caracterizada por los siguientes fenómenos, productos de la erupción, los mismos que podrían en el futuro afectar a vidas humanas, de animales y obras de infraestructura:

flujos de escombros y lodo (lahares), caída de piroclastos y ceniza, flujos piroclásticos, derrames o flujos de lava, gases volcánicos, vapor caliente, lluvia ácida, sismos volcánicos, incendios, avalancha de detritos y otros fenómenos.

1) Flujos de lodo (Lahares).

La palabra lahar, de origen indonésico, sirve para designar a un flujo de materiales volcánicos transportado en masa mediante el concurso de un fluido como el agua. Se pueden presentar interestratificados con materiales volcánicos (piroclásticos, lavas, etc.) y con materiales sedimentarios. Según sean los materiales transportados, los lahares pueden ser monolitológicos derivados de una única erupción, o heterolitológicos originados por colapso de las paredes de un cráter o por la movilización de materiales volcánicos mediante el concurso de aguas meteóricas o de la fusión rápida de las zonas nivosas de los altos volcanes.

Son flujos que generalmente acompañan a una erupción volcánica y contienen fragmentos de roca volcánica, producto de la erosión de las pendientes de un volcán. Estos se mueven pendiente abajo y pueden incorporar suficiente agua y otros materiales (mezcla de materiales volcánicos: rocas, ceniza,

pómez, escoria y agua) en proporciones variables, que mezcladas viajan rápidamente siguiendo el curso de las quebradas de tal manera que forman un flujo de lodo. La velocidad y alcance de estos flujos depende de la topografía del lugar y sus velocidades están determinadas por las pendientes, por la forma de los cauces, por la relación sólidos agua y por el volumen del agua. Las velocidades más altas son la que se alcanzan sobre las pendientes de los volcanes, registrándose en sus flancos una velocidad mayor a los 165 Km/h (volcán Monte Santa Elena, EEUU, 18 de mayo de 1.980). Éstos flujos serían los que más afectarían los sectores del río Marker y Montana, incluyendo la vía Santa Rosa – Sucumbíos.

Los lahares tienen una gran capacidad destructiva y pueden arrasar, durante su camino, todo lo que encuentren a su paso (Anexo C, Fotografías 4 y 5).

2) Caídas de piroclastos y ceniza.

La ceniza volcánica que se deposita al caer lentamente desde alturas considerables consistente de fragmentos piroclásticos muy pequeños de material juvenil, es el producto de la fragmentación extrema de lava fresca. Se denomina de caída libre y generalmente tiene un diámetro entre 1/16 mm. La que tiene un diámetro menor se denomina ceniza fina. Durante una erupción los fragmentos más grandes y densos de la columna eruptiva quedan en la parte baja; la parte superior de la columna es arrastrada por el viento depositando, en su trayectoria, su contenido de ceniza, la que posee cierto grado de peligrosidad por los daños que causa al acumularse en techos, vías de comunicación, servicios públicos, campos de cultivo y ganaderos, afectando al medio ambiente. La caída de piroclastos y ceniza afecta a la población y a los animales, cubre áreas de cientos a miles de kilómetros cuadrados, termina con las cosechas y causa problemas socioeconómicos devastadores.

En el caso de la provincia amazónica de Napo, las poblaciones más afectadas por la caída de ceniza, serían las ubicadas dentro de los Cantones El Chaco y Quijos y para Sucumbíos en el cantón Gonzalo Pizarro.

3) Flujos piroclásticos.

Se trata de flujos compuestos por fragmentos magmáticos y gases. Una mezcla de partículas sólidas o fundidas y gases a alta temperatura puede comportarse como líquido de gran movilidad y poder destructivo, alcanzando en ocasiones hasta 600 Km/h a temperaturas que oscilan entre los 150 – 300 grados centígrados. A ciertos tipos de flujos piroclásticos se les denomina nubes ardientes y representan el fenómeno más peligroso, dada su alta temperatura (900 a 1.000° C) y elevadas velocidades (superior a los 100 Km/h). Se originan en la cumbre o a partir de la columna eruptiva sobre el volcán. Comúnmente se clasifican de acuerdo a la naturaleza de su origen y a las características de los depósitos que se forman cuando el material volcánico flotante en los gases calientes se precipita al suelo. Así son flujos piroclásticos activos los que se producen durante una erupción, y flujos, sin calificativos, conforman el depósito. El poder destructivo de los flujos piroclásticos depende fundamentalmente de sus volúmenes y de sus alcances. El primer factor está determinado por el tipo de erupción que los produce y el segundo por la topografía del terreno. En base al tipo de erupción se distinguen tres clases de flujos: los flujos relacionados con domos o con el desbordamiento de los frentes de lava; flujos producidos directamente en cráteres de cumbre y flujos descargados desde fisuras. El gran volumen de su masa y velocidad permite a estos flujos sobrepasar barreras topográficas, por lo tanto, tienen la capacidad de afectar áreas que yacen fuera de las cuencas hidrográficas, cuyas cabezas apuntan hacia el volcán fuente. Debido a su masa, alta temperatura, alta velocidad y gran movilidad potencial, los flujos piroclásticos y las oleadas piroclásticas asociadas presentan una amenaza de muerte por asfixia, enterramiento, incineración e impacto.

4) Derrames o flujos de lava.

La morfología de las extrusiones está determinada por la tasa de emisión, por la pendiente de la superficie sobre la cual la lava se derrama y por la viscosidad de ésta. De estos factores, el primero es el más importante: dadas las bajas velocidades de los flujos de lavas, el peligro por estos flujos es bajo. El mayor peligro relacionado a flujos de lava representa el daño parcial o la destruc-

ción total por enterramiento, trituración e incendio de todo lo que éstos encuentran a su paso. Las lenguas o coladas de lava pueden ser emitidas desde el cráter superior, algún cráter secundario, desde una fisura en el suelo o sobre los flancos de un volcán, impulsados por la gravedad. Estos flujos se distribuyen sobre la superficie, según la topografía del terreno, a una velocidad que varía comúnmente entre los 0,005 Km/h a 1 Km/h, alcanzando excepcionalmente, velocidades de 30 hasta 60 Km/h. El riesgo asociado a las manifestaciones de lava está directamente ligado a la temperatura y composición de la lava, a las pendientes del terreno y a la distribución de la población. El efecto destructivo en los edificios se debe principalmente al peso de los materiales piroclásticos (arena, ceniza, lapilli, etc.), y a la presión dinámica que pueda ejercer lateralmente sobre el mismo. Los flujos de lava (Anexo C, Fotografía 3) son corrientes de roca fundida, relativamente fluida, que usualmente salen del cráter de la cima de un volcán o de la parte superior de sus flancos. Estos flujos están restringidos a los drenajes y pueden viajar ladera abajo hasta por varias decenas de kilómetros. Una lava muy viscosa (poco fluida), como es el caso de una lava de composición andesítica o dacítica generalmente viaja distancias cortas desde el cráter o inclusive puede acumularse formando los denominados domos de lava. En tiempos históricos y prehistóricos han ocurrido, en El Reventador, frecuentes derrames o flujos de lava emitidos generalmente del cráter o de fisuras en el flanco occidental del cono. En la erupción de 1.976, se había estudiado por varios días durante el mes de enero el avance de tres coladas de lava que habían recorrido 3.2 km y tenían un volumen de 9.2 millones de metros cúbicos.

5) Gases volcánicos, vapor caliente y lluvia acida.

El magma contiene gases disueltos los cuales escapan hacia la atmósfera, tanto durante las erupciones como mientras el magma permanece estacionado cerca de la superficie. Los gases también pueden ser emitidos por sistemas hidrotermales. El gas volcánico más abundante es el vapor de agua. Otros gases importantes incluyen el dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxidos de azufre, ácido sulfhídrico, cloro y flúor. El anhídrido carbónico y el monóxido de carbono son inodoros; al contrario de los otros gases tóxicos, no pueden ser detectados por las personas. El monóxido de carbono es ve-

nenoso y el anhídrido carbónico, que es más denso que el aire, se puede acumular en zonas bajas o depresiones topográficas y llegar a asfixiar a cualquier ser humano o animal que penetre en el área. Los compuestos de azufre, cloruros y fluoruros reaccionan con el agua para formar ácidos venenosos, los cuales, aún en concentraciones bajas, son nocivos para los ojos, la piel y el sistema respiratorio de seres humanos y animales. Dependiendo de su concentración y del tipo de vegetación, estos ácidos pueden causar daño y hasta destruir totalmente la vegetación como pueden destruir tejidos textiles y metales. Los efectos de un gas volcánico están relacionados directamente a su concentración, la cual decrece con la distancia desde su punto de emisión, ya que el gas es diluido por el aire. Antes, durante o después de una erupción, el volcán puede emitir gases volcánicos y vapor a altas temperaturas, dado que los vientos en la parte superior del volcán son muy fuertes. Dichos gases, si logran ser dispersados rápidamente no representarán peligro alguno para los habitantes de las cercanías del volcán.

6) Avalancha de detritos.

Los detritos son los materiales rocosos que se forman al fracturarse parte del edificio volcánico, provocando avalancha de rocas. El riesgo que estos representan es semejante al de flujos piroclásticos aunque su alcance puede ser menor.

7) Sismos volcánicos.

La generación de sismos en áreas volcánicas se puede dar por el movimiento de magma y la formación de fracturas asociadas, explosiones volcánicas, movimientos de masa a gran escala y esfuerzos tectónicos. En general los sismos asociados a actividad volcánica no sobrepasan en magnitud el grado 5 de la escala de Richter y raras veces causan daños en sitios alejados del volcán. En las semanas y meses que preceden una erupción, se detectan comúnmente muchos microsismos en las cercanías y en el cono mismo del volcán. Este fenómeno, lejos de afectar a los pobladores, resulta beneficioso pues permite a los científicos comprender los procesos magmáticos que estén ocurriendo en un volcán activo. En general no se generan sismos de ma-

yor magnitud. En algunas erupciones pasadas de El Reventador se reportó que la gente sintió temblores; sin embargo no causaron daños.

8) Incendios.

Son ocasionados por la lluvia de cenizas y las oleadas de piroclastos, cuando las temperaturas de los materiales emitidos son lo suficientemente altas y se acumulan en áreas de bosques, pastizales, vegetación o construcciones inflamables.

9) Otros fenómenos.

Como efectos secundarios asociados a una actividad volcánica se encuentran también las deformaciones del terreno, las ondas de choque.

2 . ANALISIS DEL RIESGO VOLCÁNICO.

Desde la perspectiva del **riesgo** (relación entre factores de amenaza y factores de vulnerabilidad), los estudios y análisis de vulnerabilidad deben ser efectuados por el Sistema Local de Defensa Civil, bajo la responsabilidad y coordinación de las Municipalidades y con la participación de las respectivas comunidades. Se debe tener presente que los análisis y evaluaciones de Amenaza y Vulnerabilidad permitirán la zonificación del riesgo volcánico, en sus distintos grados o niveles. Un adecuado manejo de los factores de amenaza y vulnerabilidad presentes en la actividad volcánica constituyen la base para una eficiente gestión del riesgo volcánico.

Gestión de riesgo volcánico.¹

AMENAZA	ELEMENTOS A CONSIDERAR	TIPO DE GESTION	AREA DE TRABAJO COE
Temblores	Deslizamientos; derrumbes de terreno en área cercana al volcán y de vías terrestres cercanas; viviendas antiguas o deterioradas; debilitamiento de obras civiles (Represas, puentes, túneles, etc.)	Registro de la sismicidad; Monitoreo de Laderas; Observación de la estructura de viviendas y obras civiles.	Área 1,4,5
Flujo piroclástico	Transporte aéreo, ferroviario y en carreteras. Visibilidad y la salud de las personas.	Determinación de área de restricción aledañas al volcán; evacuación de la población de la zona aledaña al volcán.	Área 1.5
Bomba	Áreas aledañas al cráter, laderas del edificio volcánico.	Determinación de área de restricción (cercanas al cráter).	Área 1,5,7
Caída de tefra	Tipo y diseño de viviendas (techos). Densidad de la población. Suelos agrícolas, animales. Elementos ambientales (aire, agua y suelo). Direcciones de vientos predominantes.	Monitoreo de vientos; restricción a zonas determinadas; despeje de vías principales; evacuación de población vulnerables (enfermos, ancianos, niños); análisis de abastecimiento y calidad de aguas, movilización de ganado a sectores seguros; alimentación, etc.	Área 1,2,3, 4,5, 7

¹ Referencias Bibliográficas: 6,9,14.

² Véase páginas 36 y siguientes.

Flujo de lava	Zonas aledañas a quebradas y laderas próximas al volcán.	Restricción a zonas afectadas, monitoreo a caudales y activación de quebradas por derretimiento de nieves (si hay)	Área 1,5
Lahar	Asentamientos humanos ubicados en zonas aledañas a quebradas, pendientes, laderas y valles próximos al volcán. Infraestructura vial y obras de ingeniería (represas).	Limpieza y encauzamiento de esteros y ríos que bajan del volcán. Prohibición de nuevas construcciones habitacionales en áreas de alto riesgo. Reforzamiento de obras civiles.	Área 4,5
Gases y lluvia ácida	Población, flora y fauna aledañas al volcán.	Análisis de aguas, flora y fauna; evacuación de personas y animales de zona afectada. Protección de fuentes de agua potable (pozos, vertientes) y alimentos.	Área 2,3, 4,5

Fuente: Metodología básica para la elaboración de un plan de prevención y de respuesta por actividad volcánica – Oficina Nacional de Emergencia – Gobierno de Chile, 2.002.

No obstante los factores de vulnerabilidad asociados a los fenómenos generados por la actividad volcánica, se deben considerar aspectos propios de la organización social y de la gestión que posee la comunidad para hacer frente a una emergencia o desastre de origen volcánico, como por ejemplo:

- Nivel de gestión frente al riesgo volcánico.
- Nivel de capacitación y preparación de los organismos e instituciones componentes del Sistema Local de Defensa Civil.
- Nivel de equipamiento e infraestructura de servicios.
- Nivel de conocimiento de los riesgos a que está expuesta la comunidad.
- Factores culturales de la comunidad local.
- Densidad y distribución de la población.
- Tipo y diseño de viviendas.
- Densidad de la red vial.
- Diversidad de la economía local.

Una adecuada gestión frente al Riesgo Volcánico y de cualquier otro riesgo debe insertarse en la planificación integral de Defensa Civil y de la comunidad y estar a cargo del Comité Local de Defensa Civil que preside el Alcalde. Coordina el Asesor de Seguridad Ciudadana y Defensa Civil y lo integran los

organismos y servicios de la comunidad, como igualmente los representantes de la ciudadanía. De acuerdo a los mecanismos y procedimientos establecidos, el Comité, incentivando los análisis e investigaciones científicas, deberá coordinar un proceso específico de Microzonificación de Riesgos y de Recursos frente a la amenaza volcánica, utilizando la Metodología AIDEP

A nálisis Histórico.

I nvestigación Empírica o en Terreno.

D iscusión de Prioridades.

E laboración de Mapa.

P lanificación.

Para el cumplimiento de las dos primeras etapas de esta metodología, Análisis Histórico e Investigación Empírica o en Terreno, los estudios realizados sobre un volcán en alguna comunidad por el Instituto Geofísico de la Politécnica Nacional, Defensa Civil o Universidades serán la base sustantiva para iniciar este proceso. Sin embargo, no debe agotarse la investigación o diagnóstico de la realidad sólo en tales antecedentes.

La memoria histórica de los habitantes es también fundamental.

Como orientaciones globales para este diagnóstico de la realidad, se sugiere:

- Examinar el máximo de información disponible sobre los efectos de las erupciones pasadas, para evaluar el comportamiento histórico de estas erupciones sobre las áreas que han impactado.
- Identificar y ubicar espacialmente las zonas amenazadas por los efectos históricos producidos por el volcán.
- Determinar el grado de riesgo de cada uno de los sectores que se encuentran en áreas de riesgo.
- Identificar los componentes del sistema social que se encuentran en la zona de riesgo, principalmente aquellos que sean vulnerables a lahares y caída de piroclastos. Realizar un catastro de personas y sus bienes en estas zonas de riesgo.
- Determinar las zonas o sectores de seguridad, vale decir, aquellas ubicadas fuera del área de riesgo, hacia donde la población pueda ser evacuada en caso de una erupción.

- Identificar las rutas expeditas de evacuación hacia las zonas de seguridad.
- Realizar un catastro de los medios de transporte disponibles, para ser utilizados en una posible evacuación de la población.
- Determinar los recursos (instalaciones, servicios básicos, escuelas, organismos de respuesta, etc.), de las áreas seguras.

Con todas estas informaciones – y otras que el Comité pueda recoger – deberá efectuarse la tercera etapa de la metodología: Discusión de Prioridades, destinada a determinar los aspectos más urgentes y viables, para mitigar los efectos de una posible erupción. Posteriormente, deberá cumplirse con la etapa de: Elaboración del Mapa o Carta de Riesgo Volcánico para la comunidad, que vendrá a complementar el Mapa de Peligro - si lo hay - elaborado por el Instituto Geofísico de la Politécnica Nacional, Defensa Civil, alguna Universidad u organismo técnico.

Escenarios esperados para la actividad futura.¹

Las condiciones magmáticas al interior del volcán necesarias para producir una eventual erupción de magnitud VEI 3 o 4, se manifestarían previamente por un conjunto de datos, los cuales serán detectados por la red de vigilancia operada por el Instituto Geofísico de la Politécnica Nacional desde 1.997. Estos datos incluyen información sísmica de deformación (inclinométrica y/o medidas de EDM), por posibles cambios en la química de las aguas termales y de los gases magmáticos, por datos del incremento del caudal de SO₂ en la columna eruptiva (medido con el COSPEC) y por observaciones visuales y/o satelitales. Finalmente, el conjunto de datos concernientes a la actividad eruptiva del volcán debería permitirnos conocer la progresión del proceso eruptivo hacia una erupción de magnitud importante. En base a las señales telemétricas recibidas por el Instituto Geofísico de la Politécnica Nacional, se avisará inmediatamente por radio y/o teléfono al centro de control de la Defensa Civil y a otras autoridades pertinentes, según el plan operativo a establecerse con dichos responsables. Como es de conocimiento de la Defensa Civil, serán las autoridades competentes quienes activarán las alarmas o darán los avisos

---

¹ Referencias Bibliográficas. 15,16.

necesarios para advertir a los pobladores de las zonas de riesgo y cual es el momento de dirigirse a las zonas de seguridad previamente seleccionadas. Los siguientes escenarios se basan en: (a) las características del presente período eruptivo; (b) los datos sobre las pasadas erupciones del volcán; y, (c) la experiencia durante erupciones de otros volcanes considerados como análogos de El Reventador.

En base a estos datos, se pueden establecer los siguientes dos escenarios, el primero apoyándose en la experiencia del 3 de noviembre del 2002.

a) Luego de la etapa paroxismal de la erupción (09H00 – 12H00 del 3 de Noviembre del 2.002), la actividad eruptiva puede prolongarse por un período de tiempo de semanas a meses durante los cuales pueden repetirse nuevos pulsos de actividad explosiva, sin llegar a producirse nuevas explosiones de igual magnitud que la inicial. En este escenario, no se descarta la ocurrencia de nuevas fases de actividad explosiva generadora de flujos piroclásticos, de lava y caídas de ceniza. Durante las fases efusivas con la emisión de flujos de lava, la probabilidad de actividad explosiva es menor.

b) El proceso eruptivo irá aumentando en magnitud hasta alcanzar un máximo, para luego descender en magnitud. Al igual que en el escenario anterior, el proceso eruptivo tendrá una duración de semanas o meses. Al momento actual es difícil pronunciarse por uno u otro escenario, sin embargo existen ciertos aspectos que pueden ayudar a la discusión:

- El presente período eruptivo se ha caracterizado por un inicio muy explosivo (VEI - 4) y una etapa premonitora muy corta (unas pocas horas).
- Se trata de la erupción histórica más importante del volcán El Reventador.
- Luego de la etapa paroxismal se ha podido notar una clara disminución del nivel de actividad eruptiva, para pasar posteriormente a una actividad más efusiva, con la generación de flujos de lava, durante la cual se vuelve menos probable una actividad explosiva intensa.

El estado actual del volcán (enero del 2004) indica que se encuentra en un estado de conducto abierto con una desgasificación abundante y una activi-

dad mas bien efusiva, lo cual no favorece el aumento de la presión interna que pueda desembocar en nuevas explosiones. Estos indicios llevarían a pensar que el primer escenario es el más probable, sin embargo, vale recalcar que no se puede descartar la ocurrencia de nuevas fases explosivas (VEI 2-3), las cuales podrían producir columnas de erupción con las respectivas caídas de ceniza en la región interandina y flujos piroclásticos en la parte proximal del cono. Por otro lado, se debe señalar casi como una certeza que en los próximos meses, aun si la actividad eruptiva termina, se producirán flujos de lodo ocasionados por las fuertes lluvias que son comunes en la zona y que tendrán el efecto de removilizar la gran cantidad de materiales sueltos que se depositarán en las inmediaciones del volcán.

Planificación integral.¹

Cumplidas las cuatro primeras etapas de AIDEP, deberá iniciarse el proceso de Planificación; el plan frente al riesgo volcánico, debe consultar acciones para todas las etapas del Ciclo para el Manejo del Riesgo, visualizando actividades de corto, mediano y largo plazo, que permitan potenciar el uso del espacio, reducir la vulnerabilidad de la población e incorporarse al Plan Integral de Defensa Civil Comunitario, lo que a su vez, permitirá dar continuidad a los planes y programas de desarrollo de la comunidad.

Orientaciones básicas considerando el ciclo para el manejo del riesgo.¹

ETAPA	ACTIVIDADES
Prevención	Diseñar un Programa de Reordenamiento Territorial de las zonas afectadas históricamente por lahares, lavas y flujos piroclásticos para su ejecución a mediano y largo plazo. En el corto plazo determinar la prohibición de nuevas construcciones en las áreas de alto riesgo.
Mitigación	Propiciar la limpieza y encauzamiento de ríos y esteros que bajan de las laderas del volcán. Mantener los caminos expeditos para una posible evacuación. En zona de riesgo por caída de ceniza propiciar la construcción de viviendas cuyos techos deben tener inclinación suficiente para facilitar el escurrimiento de la ceniza.

¹ Referencias Bibliográficas: 6,18.

Preparación	Elaborar un PLAN DE RESPUESTA de acuerdo a la Metodología ACCEDER. Ejercitar dicho plan por sectores y grupos poblacionales, de acuerdo a sus específicas realidades. Solicitar a organismos técnicos estudios y elaboración de mapas de peligros de áreas volcánicas.
Respuesta	Activación del Plan de Respuesta. Activación del Comité de Operaciones de Emergencia.
Rehabilitación	Habilitación de albergues. Habilitación de los suministros de servicios básicos. Habilitación y reparación de puentes y caminos dañados. Remoción de cenizas en techos y limpieza de los lugares habitables.
Reconstrucción	Readecuación del Plan Regulador comunitario. Relocalización de asentamientos poblacionales en zonas seguras. Prohibición de nuevas construcciones en las áreas de alto riesgo.

Fuente: Metodología básica para la elaboración de un plan de prevención y de respuesta por actividad volcánica – Oficina Nacional de Emergencia – Gobierno de Chile, 2.002.