



República
del Ecuador

Secretaría de Gestión de Riesgos



PROTOCOLO TÉCNICO PARA EVALUACIÓN Y DEFINICIÓN DE ESTADOS DE ALERTA POR ACTIVIDAD VOLCÁNICA.

Volcán Cotopaxi

PROT-002-02-2023

[Versión 1.0]

FIRMAS DE REVISIÓN Y APROBACIÓN

Acción	Nombre / Cargo	Firma
Aprobado por:	Torres Bermeo Cristian Eduardo Director General SECRETARÍA DE GESTIÓN DE RIESGOS	
	Ruiz Romero Mario Calixto Director Instituto Geofísico ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	
Revisado por:	Rosero Gómez Ángel Rodrigo Subsecretario General de Gestión de Riesgos SECRETARÍA DE GESTIÓN DE RIESGOS	
	Benavides Hilgert Luis Virgilio Subsecretario de Gestión de la Información y Análisis de Riesgos SECRETARÍA DE GESTIÓN DE RIESGOS	
	Celorio Saltos Julio Cesar Subsecretario de Preparación y Respuesta ante Eventos Adversos SECRETARÍA DE GESTIÓN DE RIESGOS	
	Quispillo Moyota Mariana Raquel Directora de Monitoreo de Eventos Adversos. SECRETARÍA DE GESTIÓN DE RIESGOS	
	Mothes Ann Patricia Jefe de Vulcanología Instituto Geofísico ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	
Elaborado por:	Segovia Reyes Mónica del Rocío Jefe de Sismología ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	
	Bernard Benjamin Pierre Thibault Profesor Investigador ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	
	Hidalgo Trujillo Silvana Ivonne Profesora Investigadora ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	
	Andrade Varela Santiago Daniel Profesor Investigador ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	
	Vaca Arias Sandro Benigno Profesor Investigador ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	

Acción	Nombre / Cargo	Firma
Elaborado por:	Palacios Palacios Pablo Bolívar Profesor Investigador ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	
	Naranjo Hidalgo María Fernanda Investigadora ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	
	Viracucha Quinga Edwin Guillermo Coordinador Centro Terras - Instituto Geofísico ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	
	Larrea Moreano María Angélica Analista de Monitoreo de Eventos Adversos. SECRETARÍA DE GESTIÓN DE RIESGOS.	
	Muñiz Arteaga Carlos Roberto Analista de Operaciones SECRETARÍA DE GESTIÓN DE RIESGOS	
	Sosa Rodríguez Guillermo Daniel Analista de Operaciones SECRETARÍA DE GESTIÓN DE RIESGOS	
	Solís Gordillo Gabriela Xiomara Analista de Análisis de Riesgos Hidrometeorológicos SECRETARÍA DE GESTIÓN DE RIESGOS	
	Rivera Garate Carmen Amanda Analista Dirección de Alojamientos Temporales SECRETARÍA DE GESTIÓN DE RIESGO	
Jiménez Martínez Stalin Edison Analista de Monitoreo de Eventos Adversos. SECRETARÍA DE GESTIÓN DE RIESGOS		

CONTROL E HISTORIAL DE CAMBIOS

Versión	Descripción	Fecha de actualización
1.0	Definición de lineamientos, niveles de alerta y acciones claves de Respuesta.	30/05/2023

CONTENIDO

FIRMAS DE REVISIÓN Y APROBACIÓN	2
CONTROL E HISTORIAL DE CAMBIOS	3
1. GLOSARIO	6
2. INTRODUCCIÓN	10
3. OBJETIVOS DEL PROTOCOLO TÉCNICO	12
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	12
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
4. MISIÓN Y COMPETENCIAS PROPIAS DE LAS INSTITUCIONES INVOLUCRADAS.....	12
4.1. MISIÓN Y COMPETENCIAS DEL INSTITUTO GEOFÍSICO DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	12
4.2. MISIÓN Y COMPETENCIAS DE LA SECRETARÍA DE GESTIÓN DE RIESGOS.....	12
5. LINEAMIENTOS DE LAS INSTITUCIONES INVOLUCRADAS PARA EL CUMPLIMIENTO DEL PROTOCOLO	14
5.1. LINEAMIENTOS GENERALES	14
5.2. LINEAMIENTOS ESPECÍFICOS.....	15
6. PROCESO PARA LA EVALUACIÓN Y DEFINICIÓN DEL ESTADO DE ALERTA - VOLCÁN COTOPAXI	17
6.1. RED DE VIGILANCIA DEL VOLCÁN COTOPAXI	17
6.2. ESCENARIOS DEL PROCESO ERUPTIVO (VEI)	17
6.3. DEFINICIÓN DE ZONAS DE PELIGRO ASOCIADOS A LOS NIVELES DE ACTIVIDAD VOLCÁNICA	19
6.4. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE CRITERIOS DE ALERTA VOLCÁNICA.....	20
6.4.1. CONSIDERACIONES GENERALES DE LA METODOLOGÍA	22
6.5. CRITERIOS CONSIDERADOS PARA EL CAMBIO DE ALERTA.....	23
6.5.1. NIVELES DE ACTIVIDAD VOLCÁNICA.....	23
6.6. TABLA REFERENCIAL PARA LA RECOMENDACIÓN DE DEFINICIÓN O CAMBIO DE ESTADOS DE ALERTA EN LAS ZONAS DE INFLUENCIA EN FUNCIÓN A LOS NIVELES DE ACTIVIDAD VOLCÁNICA.....	25
6.7. ZONIFICACIÓN REFERENCIAL DE MAYOR IMPACTO PARA LOS NIVELES DE ALERTA NARANJA Y ROJA.....	28
7. PROCESO DE COMUNICACIÓN PARA LA TRANSFERENCIA DE INFORMACIÓN DESDE IG-EPN A SGR.....	31

8.	CONSIDERACIONES ESPECIALES PARA LA ACTIVACIÓN DEL PROTOCOLO.....	31
9.	FLUJO DE COMUNICACIÓN.....	32
9.1.	FLUJO DE COMUNICACIÓN EN CAMBIO DE NIVEL A ALERTA AMARILLA O NARANJA	32
9.2.	FLUJO DE COMUNICACIÓN EN CAMBIO DE NIVEL A ALERTA ROJA	35
10.	FLUJO DE COMUNICACIÓN INSTITUCIONAL	38
11.	REFERENCIAS.....	41
12.	ANEXOS	43
12.1.	Anexo 1. Configuración de la red vigilancia del volcán Cotopaxi en abril 2023	43
12.2.	Anexo 2. Sectores potencialmente expuestos a peligro proximal en un nivel de alerta naranja.....	50
12.3.	Anexo 3. Sectores potencialmente expuestos a peligro proximal en un nivel de alerta roja.....	51
12.4.	Anexo 4. Formato del Informe IG al Instante.	54
12.5.	Anexo 5. Tiempo de arribo de lahares aproximados	55

1. GLOSARIO

- **Actividad volcánica:** Cualquier manifestación que pueda ser observada y/o medida y que se considere como consecuencia directa o indirecta de un cuerpo de magma que se encuentre estático o movimiento a través de la corteza de la Tierra o en su superficie. Pueden ser fenómenos tan diversos como la sismicidad, las emisiones de gases, la deformación de la superficie, los procesos de erosión (p.e. lahares secundarios) o cualquier otro fenómeno asociado a una erupción.

- **Alerta temprana¹:** Conjunto de capacidades para generar y difundir información de alerta que sea clara, oportuna y significativa, con el fin de permitir que las personas, las comunidades y las organizaciones se preparen y actúen en forma apropiada y con suficiente tiempo de anticipación para reducir la posibilidad de que se produzcan pérdidas o daños.

- **Alarma:** Dispositivo instalado con el objetivo de emitir una señal que avisa de la existencia de un peligro inmediato.

- **Amenaza¹:** Proceso, fenómeno o actividad humana que puede ocasionar muertes, lesiones u otros efectos en la salud, daños a los bienes, interrupciones sociales y económicas o daños ambientales.

- **Capacidad¹:** Combinación de todas las fortalezas, atributos y recursos disponibles dentro de una organización, comunidad o sociedad que pueden utilizarse para gestionar y reducir los riesgos de desastres y reforzar la resiliencia.

- **Comité de Operaciones de Emergencia (COE)¹:** Son instancias interinstitucionales responsables en su territorio de coordinar las acciones tendientes a la respuesta en situaciones de emergencia y desastre.

- **Declaratoria de Alerta²:** La declaratoria de los estados de alerta es la herramienta que permite a la Secretaría de Gestión de Riesgos emitir resoluciones sobre las condiciones y evolución de amenazas, con el fin de implementar medidas de preparación para salvaguardar la integridad de la población y de sus bienes. (SGR, 2017)

- **Desastre¹:** Disrupción grave del funcionamiento de una comunidad o sociedad en cualquier escala debida a fenómenos peligrosos que interaccionan con las condiciones de exposición, vulnerabilidad y capacidad, ocasionando uno o más de los siguientes: pérdidas e impactos humanos, materiales, económicos y ambientales.

- **Emergencia¹:** Es un evento peligroso de origen natural o antrópico que pone en peligro a las personas, los bienes o la continuidad de los servicios en la comunidad y que requieren una respuesta inmediata y eficaz a través de las entidades locales.

- **Erupción volcánica:** Se considera como tal cuando las emisiones de un volcán en superficie incluyen productos rocosos de origen magmático (por ejemplo ceniza volcánica). Generalmente, se presenta como una mezcla de tales productos rocosos con fluidos gaseosos en plumas volcánicas energéticas que penetran la atmósfera con energía superior a la de flotabilidad (por simple diferencia de densidades). Estas erupciones, combinadas con condiciones atmosféricas locales, o presencia de glaciares, pueden causar caídas de ceniza y lahares.

El tamaño de las erupciones explosivas se suele medir con el Índice de Explosividad Volcánica (VEI) que es una medida logarítmica del total de materia expulsada por un episodio eruptivo explosivo. VEI de valores 0 y 1 (Cotopaxi en 2015 y 2022-presente) no tienen la posibilidad de generar flujos piroclásticos. Estos pueden presentarse en erupciones con VEI ≥ 2 .

¹ Glosario de términos asociado a la Gestión del riesgo de desastres, 2020 - <https://biblioteca.gestionderiesgos.gob.ec/8443/files/original/fb3a5ca71935d5ed80beed899eca3ef2.pdf>

² Manual del Comité de Operaciones de Emergencia - 2017, <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/09/Manual-del-COE.pdf>

Por lo complejo (cantidad de fenómenos físicos-químicos-geodinámicos interactuantes) de las erupciones, la ciencia actualmente no es capaz de predecir una erupción. Sin embargo, se conocen ciertos comportamientos que ayudan a pronosticar la posible evolución a corto plazo (días, semanas).

- **Escenario Eruptivo:** Representación (cuantitativa o cualitativa) de uno o más eventos adversos durante una erupción y que puede resultar con daños por exposición. En general, cada escenario contiene una incertidumbre asociada no despreciable. El escenario puede diseñarse para describir una estimable erupción hipotética durante la fase de reposo volcánico o para evaluar el probable funcionamiento de una futura erupción (fase de agitación o erupción en curso).

- **Flujo Piroclástico:** Es también conocido como Corriente de Densidad Piroclástica y es una mezcla de materiales rocosos calientes que se encuentran fluidizados por gases calientes. Estos flujos granulares descienden por los flancos de un volcán a velocidades típicas de entre 40 y 100 km/h. Su origen puede ser la ruptura de un domo de lava o el colapso de una columna eruptiva.

- **Gestión del Riesgo de Desastres¹:** Es la aplicación de políticas y estrategias de reducción con el propósito de prevenir nuevos riesgos de desastres, reducir los riesgos de desastres existentes y gestionar el riesgo residual, contribuyendo con ello al fortalecimiento de la resiliencia y a la reducción de las pérdidas por desastres.

- **Instituciones técnico-científicas (SGR, 2017):** El monitoreo de las amenazas es realizado por los organismos técnico-científicos, en función de sus mandatos y competencias, los que deben informar de manera inmediata, directa y permanente a la SGR a través de su unidad responsable de monitoreo. La SGR y cada organismo técnico-científico disponen de protocolos de transferencia, intercambio y envío de datos, así como de gestión de información para el establecimiento de los estados de alerta.

- **Lahar:** Según el origen de la fuente de agua se clasifican en: primarios y secundarios. En los lahares primarios la fuente de agua se origina como consecuencia directa de una erupción (p.e. derretimiento de nieve o ruptura de un lago cratérico). En los lahares secundarios la fuente de agua es ajena a un proceso eruptivo (p.e. lahares disparados por lluvias) y por lo tanto pueden ocurrir en volcanes dormidos o extintos.

Los lahares se desplazan por los cauces que descienden de un edificio volcánico a velocidades típicas de entre 20 y 40 km/h, dependiendo de su magnitud, son capaces de inundar zonas aledañas a lechos de los cauces por donde descienden. Generalmente, corresponden flujos de tipo detritos e hiperconcentrados.

Durante su movimiento, los lahares incorporan rocas, material variable del suelo, árboles, etc., por lo que pueden incrementar de tamaño. Igualmente, al llegar a zonas planas, los flujos pierden energía y depositan muchos de sus componentes sólidos.

- **Lapilli:** Pequeño fragmento de lava arrojado durante un proceso eruptivo; cuando son muy abundantes se acumulan en capas en forma de cono volcánico. Los lapilli varían entre 1 mm y 5 cm de diámetro.

- **Mecanismos de Alerta:** medida de alerta que utiliza sistemas de comunicación integrados con el fin de dar aviso para prepararse para los peligros relacionados a eventos peligrosos.

- **Nivel de Alerta:** Niveles de alerta a la población, emitido por las SGR, aplicable a determinadas zonas o regiones y definidos por los colores blanco, amarillo, naranja y rojo. Un nivel de alerta se corresponde con un nivel de actividad volcánica e implica el cumplimiento responsable de acciones por parte de los actores del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión de Riesgos (SNDGR).

- **Nivel de Actividad Volcánica:** Nivel del comportamiento tanto interno como superficial del volcán, definido por el IG-EPN: muy bajo, bajo, moderado, alto y muy alto.

- **Proyectil Balístico:** Corresponde a bombas y bloques de tefra que pueden potencialmente ser expulsados a más de 10 km sobre el cráter pero que, normalmente aterrizan dentro de los 5 km a la redonda. Características el tamaño, la densidad y la velocidad de eyección determinan la energía de impacto de un proyectil, y por lo tanto potencial para causar daño. Las consecuencias más dañinas de esta tefra, son el impacto directo capaz de perforar los techos, matar personas o ganado y causar graves daños a los cultivos.
- **Sistema de alerta temprana (SAT)¹:** Sistema integrado de vigilancia, previsión y predicción de amenazas, evaluación de los riesgos de desastres, actividades, sistemas y procesos de comunicación y preparación que permite a las personas, comunidades, gobiernos, las empresas y otras partes interesadas adoptar las medidas oportunas para reducir los riesgos de desastres con antelación a sucesos peligrosos.
- **Sistema Nacional Descentralizado de Gestión de Riesgos (SNDGR)¹:** Es el conjunto de entidades, políticas, normas, principios, acciones, protocolos, programas y herramientas coordinadas del sector público y privado, con el objeto de prevenir, reducir y mitigar riesgos; brindar una adecuada respuesta ante emergencias, desastres o catástrofes; y, recuperar y mejorar las condiciones anteriores a la ocurrencia de un evento peligroso.
- **Salas de Situación y Monitoreo¹:** Red interconectada de componentes que ejecutan flujos de información y de comunicación a nivel nacional, estructurado y es retroalimentado por fuentes oficiales con el objetivo de emitir alertas oportunas y presentar información actualizada que se genera por una emergencia o desastre para la optimización de decisiones y acciones oportunas por parte de las autoridades.
- **VEI:** El Índice de Explosividad Volcánica (Volcanic Explosivity Index, VEI) es una escala utilizada para describir el tamaño de las erupciones volcánicas y se basa, entre otros factores, en el volumen de material emitido.

Este índice tiene como principales criterios el volumen de material piroclástico (fragmentos de magma y rocas de tamaño de ceniza, lapilli y bloques). Una erupción con un volumen inferior a 0.00001 km³ de material emitido (equivalente a 1 428 volquetas de 7 m³ o 4 piscinas olímpicas) tiene un VEI de 0 y es calificada como no-explosiva.

Una erupción con un volumen de 0.00001 a 0.001 km³ de material emitido tiene un VEI de 1 y es calificada como pequeña. La erupción del Cotopaxi desde octubre de 2022 hasta el mes de febrero de 2023 ha emitido aproximadamente 0.00017 km³, lo que permite calificarla hasta el momento con VEI de 1. Por otra parte, una erupción con un volumen de 0.001 a 0.01 km³ de material emitido corresponde a un VEI de 2 y es calificada como moderada. Durante la erupción de 2015, el Cotopaxi emitió aproximadamente 0.0012 km³ de material lo que permitiría calificar su erupción como VEI de 2 (Bernard et al., 2016).

Según estudios recientes, la erupción del 26 de junio de 1877 que tiene un VEI de 3 que la califica como una erupción moderada a grande mientras que la erupción del Cotopaxi del 30 de noviembre al 2 de diciembre 1744 tiene un VEI de 4 y se califica como una erupción grande (Pistolesi et al., 2011). Hay que indicar que en tiempos pre-históricos (antes de 1532) ocurrieron erupciones muy grandes con VEI de 5 y 6 en el Cotopaxi (Hall y Mothes, 2008).

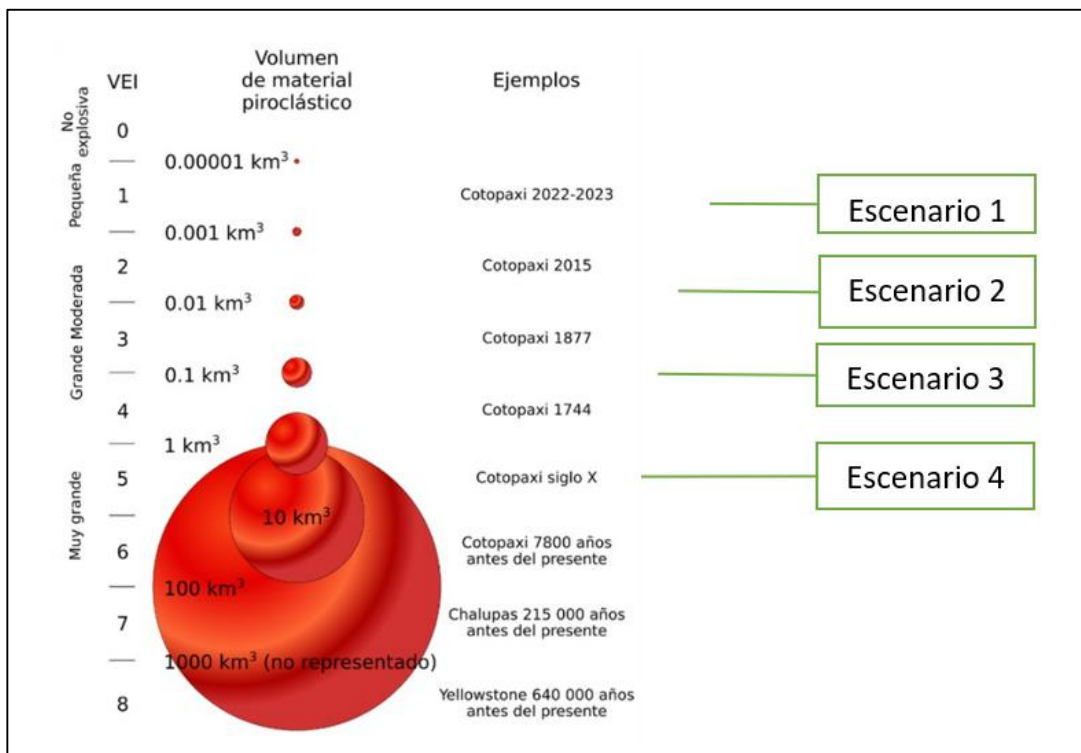


Ilustración 1. VEI del volcán Cotopaxi, Fuente: IG- EPN

- **Volcán activo y potencialmente activo:** Corresponde a un centro volcánico capaz de entrar en erupción en el futuro. Desde el punto de vista geológico, un volcán se considera activo, o potencialmente activo, cuando ha tenido al menos una erupción en los recientes 10 mil años, o bien cuando, sin certeza de esto último, presenta signos cuantificables de actividad, como por ejemplo desgasificación, sismicidad o deformación de la superficie.
- **Zonas de peligro por actividad volcánica:** Son las zonas que tienen una determinada probabilidad de ser afectada por un determinado fenómeno volcánico en caso de ocurrir una erupción de características y tamaño determinados (escenario eruptivo) en un volcán determinado.
- **Zona de peligros proximales:** Zonas de peligro volcánico que incluyen los fenómenos de proyectiles balísticos, flujos piroclásticos, gases volcánicos y lahares primarios y secundarios.

2. INTRODUCCIÓN

Ecuador es un país digno de destacar por sus numerosos volcanes que se encuentran tanto en sus cordilleras como en el Callejón Interandino, y hasta la cuenca amazónica. Estos volcanes, son una fuente de admiración estética, de recursos hídricos por sus glaciares y páramos húmedos (ej. Cayambe, Antisana, Cotopaxi, Chimborazo), por sus bosques y la biodiversidad asociada (Pichincha, Pasochoa, Sumaco, El Reventador etc.), y también por las actividades económicas asociadas (por ejemplo, agricultura, ganadería y turismo en Pululahua, Tungurahua etc.).

En este sentido, los volcanes constituyen un aporte de gran valor para el país. Asimismo, los volcanes representan también una fuente de riesgos, los cuales requieren una atención específica por parte de los científicos y de las autoridades (entendimiento de los procesos volcánicos, monitoreo a corto, medio y largo plazo, protecciones de la población, de los bienes y de las infraestructuras en zonas urbanas como rurales).

El Cotopaxi se encuentra sobre la Cordillera Oriental (Real), a una distancia de 35 km al Noreste de Latacunga y de 45 km al Sureste de Quito. Su edificio forma un cono simétrico con pendientes de hasta 35° y un diámetro basal de ~20 km, mientras que el diámetro del cráter varía entre 800 m en sentido Norte-Sur y 650 m en sentido Este-Oeste. El Cotopaxi está rodeado por páramos que bordean los 3000 msnm y por otros volcanes como Sincholhua (4873 msnm), Quilindaña (4876 msnm) y Rumiñahui (4722 msnm).

El Cotopaxi es considerado uno de los volcanes más peligrosos del mundo debido a la frecuencia de sus erupciones, su estilo eruptivo, su relieve, su cobertura glaciar y por la cantidad de poblaciones potencialmente expuestas a sus amenazas. Desde el inicio de la conquista española, el Cotopaxi ha presentado cinco grandes periodos eruptivos: 1532-1534, 1742-1744, 1766-1768, 1853-1854 y 1877-1880. Los cuatro últimos periodos han dado lugar a muy importantes pérdidas socio-económicas en el Ecuador.

La peligrosidad del Cotopaxi radica en que sus erupciones pueden dar lugar a la formación de enormes lahares (flujos de lodo y escombros) que transitarían por drenajes vecinos a zonas densamente pobladas como el Valle Interandino entre Mulaló y Latacunga y una parte del valle de los Chillos.

Se ha estimado que actualmente se encuentran, más de 300.000 personas que viven en zonas amenazadas por lahares en caso de que se repitan erupciones similares a las ocurridas en los siglos XVIII y XIX. Adicionalmente, la caída de ceniza producida durante una erupción del Cotopaxi podría afectar una parte muy significativa de la Sierra y la Costa del Ecuador.

El Cotopaxi es también uno de los volcanes más vigilados del Ecuador y al cual se dedican una gran parte de los recursos disponibles para el monitoreo. De hecho, la primera estación sísmica permanente dedicada a vigilar un volcán en Sudamérica fue instalada en el Cotopaxi, en 1976. Desde entonces, la red de monitoreo de este volcán ha crecido constantemente hasta la configuración actual, que asegura una vigilancia adecuada de este peligroso volcán. El IG-EPN realiza trabajos constantes de monitoreo en volcanes activos y potencialmente activos del Ecuador. Además, el personal del área lidera y participa en investigaciones científicas sobre la génesis, desarrollo y actividad de los volcanes ecuatorianos.

CLASIFICACIÓN DE LOS VOLCANES	
Extinto o dormido	Última erupción antes del Holoceno (hace más de 11.700 años) *
Potencialmente activo	Última erupción durante el Holoceno (hace menos de 11.700 años) *
Activo	Última erupción durante el periodo histórico (desde 1532 AD) **
En erupción	Con actividad eruptiva en 2019 ***
<small>*El límite del Holoceno es definido por la comisión internacional de estratigrafía (http://www.stratigraphy.org/index.php/ics-chart-timescale) ** El límite del periodo histórico en Ecuador corresponde a la fecha de la conquista española en 1532 anno Domini *** Un volcán puede ser clasificado como "en erupción" si ha tenido actividad eruptiva reciente (hasta 2 años) sin presentar mayores manifestaciones superficiales al momento.</small>	

Los volcanes activos son observados a través de diversas tecnologías que incluyen sismómetros para detectar vibraciones del suelo producidas por sobrepresiones y movimientos de fluidos profundos (magma) o por el tránsito de lahares en superficie; barómetros y sensores infra acústicos que miden las mismas sobrepresiones en la atmósfera; GPS - inclinómetros - EDM, para detectar cambios topográficos (hinchamiento o deflación en los flancos) relacionados con el ingreso o expulsión de magma; detectores de gases volcánicos en relación al ingreso y desgasificación del magma cerca de la superficie.

El nivel de instrumentación dedicado a cada volcán está en directa relación con la amenaza que significa para la población asentada en su cercanía. El Cotopaxi es el volcán ecuatoriano que más instrumentos tiene instalados para su vigilancia entre ellos GPS-GNSS, Inclinómetros, EDM, InSAR, con un total de 59 estaciones en marzo de 2023.

La información generada como parte del monitoreo volcánico, requiere de un análisis técnico previo a una acción encaminada a la protección de la población en general, una de las primeras es la alerta oportuna ya que de esta se desprenden actividades específicas en función del proceso eruptivo. El presente protocolo técnico se ha realizado con el objetivo de poder generar información oportuna para la toma de decisiones tanto a nivel central como desconcentrado, mismas que inician con una declaratoria de alerta que es el producto central del presente insumo.

3. OBJETIVOS DEL PROTOCOLO TÉCNICO

3.1. OBJETIVO GENERAL

Establecer los procedimientos y parámetros de información requeridos para el análisis, evaluación y declaratorias de los niveles de alerta del volcán Cotopaxi, basado en la información, coordinación y ejecución de acciones entre el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN) y la Secretaría de Gestión de Riesgos (SGR) con el fin de declarar y emitir alertas oportunas al Sistema Nacional Descentralizado de Gestión de Riesgos (SNDGR).

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer los niveles de alerta volcánica, en función a los estados de actividad volcánica y de los escenarios eruptivos probables del volcán Cotopaxi.
- Establecer los flujos de información y comunicación para la emisión de la alerta de actividad volcánica y su interacción entre las instituciones involucradas.
- Definir los niveles de responsabilidad y acciones a ejecutarse por los actores del SNDGR durante el establecimiento y vigencia de los niveles de alerta del volcán Cotopaxi.

4. MISIÓN Y COMPETENCIAS PROPIAS DE LAS INSTITUCIONES INVOLUCRADAS

4.1. MISIÓN Y COMPETENCIAS DEL INSTITUTO GEOFÍSICO DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

El Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN), creado según Decreto Ejecutivo No. 3593, en Registro Oficial del 20 de enero de 2003, es el responsable del diagnóstico, vigilancia, detección y comunicación de los peligros volcánicos en todo el territorio nacional.

Tiene como misión institucional contribuir a través del conocimiento de las amenazas sísmicas y volcánicas a la reducción de su impacto negativo en el Ecuador, mediante la vigilancia permanente, la investigación científica, la formación académica de alto nivel y el desarrollo y aplicación tecnológica promoviendo la creación de una cultura de prevención.

El IG-EPN es el principal centro de investigación en Ecuador para el diagnóstico y la vigilancia de las amenazas sísmicas y volcánicas, las cuales, en sus potenciales desenvolvimientos, pueden causar gran efecto sobre la población, sus recursos, infraestructura, medios de vida, entorno natural, entre otros.

El análisis preliminar de los datos se realiza en el centro TERRAS con los datos recolectados por las redes de los observatorios volcánicos y opera en forma ininterrumpida 24/7.

4.2. MISIÓN Y COMPETENCIAS DE LA SECRETARÍA DE GESTIÓN DE RIESGOS

La misión institucional de la Secretaría de Gestión de Riesgos (SGR) es liderar el Sistema Nacional Descentralizado de Gestión de Riesgos (SNDGR) para garantizar la protección de personas y colectividades de los efectos negativos de desastres de origen natural o antrópico, mediante la generación de políticas, estrategias y normas que promuevan capacidades orientadas a identificar, analizar, prevenir y mitigar riesgos para enfrentar y

manejar eventos de desastre; así como para recuperar y reconstruir las condiciones sociales, económicas y ambientales afectadas por eventuales emergencias o desastres. Entre los objetivos institucionales se encuentran:

- Establecer las políticas, regulaciones y lineamientos estratégicos de gestión de riesgos que incluye la prevención, mitigación, preparación, respuesta, rehabilitación, reconstrucción, recuperación y transferencia del riesgo.
- Fortalecer las capacidades institucionales en el Sistema Nacional Descentralizado de Gestión de Riesgos para la toma de decisiones políticas y técnicas en relación con los procesos de análisis, investigación, prevención, mitigación, preparación, generación de alertas tempranas, construcción de capacidades sociales e institucionales para la gestión de riesgos, respuesta, rehabilitación, recuperación y reconstrucción.
- Fortalecer en la ciudadanía y en las entidades públicas y privadas capacidades para identificar los riesgos inherentes a sus respectivos ámbitos de acción, informar sobre ellos, e incorporar acciones para reducirlos (Mandato Constitucional).
- Desarrollar capacidades, instrumentos y mecanismos para responder adecuadamente ante la inminencia y/o la ocurrencia de eventos adversos.

Dentro de sus atribuciones y responsabilidades se mencionan:

- Declarar los niveles de advertencia y alerta y comunicar de inmediato a la población por los canales y medios tecnológicos de uso en el país.
- Promover la existencia y funcionamiento continuo de Sistemas de Alerta Temprana (SAT).
- Promover el funcionamiento de los comités técnicos de los sistemas de alerta temprana para la gestión de riesgos.

Dentro de la gestión de monitoreo de eventos adversos, el Director de Monitoreo de Eventos Adversos de la SGR, tiene las siguientes atribuciones y responsabilidades:

- Coordinar con los organismos técnicos, científicos nacionales y actores del SNDGR, la generación de información del comportamiento de amenazas y eventos adversos.
- Dirigir la recepción y análisis de la información proveniente de los institutos técnico-científicos sobre la evolución de las amenazas.
- Productos y Servicios: Sistema integrado de alertas oportunas.

La Secretaría de Gestión de Riesgos, a través de su titular, es la responsable de declarar los diferentes niveles de alerta en cualquier ámbito territorial en base a la información proporcionada por las instituciones técnico-científicas del país (SGR, 2017).

5. LINEAMIENTOS DE LAS INSTITUCIONES INVOLUCRADAS PARA EL CUMPLIMIENTO DEL PROTOCOLO

Todos los sistemas de vigilancia y monitoreo dependen del propio desarrollo del fenómeno objeto de estudio, en este caso eruptivo y pueden estar expuestos a externalidades y factores de tipo tecnológico, sociales y políticos que podrían limitar las comunicaciones.

Tanto la SGR como el IG-EPN reconocen que la interpretación de los fenómenos en tiempo real, y su debida comunicación, se realizan con base al estado del arte de la ciencia actual y de la tecnología vigente, requiriéndose, por tanto, verificaciones en tiempo real durante el proceso eruptivo en curso.

5.1. LINEAMIENTOS GENERALES

1. Las instituciones que forman parte de este protocolo, deben implementar los mecanismos institucionales pertinentes para cumplir con las responsabilidades de las actividades establecidas en el presente documento.
2. Para el efecto de cambios en los estados de alerta, el IG-EPN emitirá la información necesaria, únicamente al ente rector de la Gestión de Riesgos (Ley de Seguridad Pública y del Estado Artículo. No. 11 literal d), es decir, a la Secretaría de Gestión de Riesgos o a quien haga sus veces, ello debido a que es este ente rector, quien posee la competencia exclusiva de establecer los niveles de alerta, según lo expuesto en el Manual del Comité de Operaciones de Emergencia (COE) que se encuentre vigente (A la fecha de expedición del presente protocolo, el Manual del COE vigente corresponde a la Resolución Nro. SGR-142-2017).
3. Las actividades, procedimientos y lineamientos tanto generales como específicos de este protocolo, son de aplicación obligatoria para las instituciones involucradas en la operativización del mismo, tomando en cuenta que se debe guardar la conformidad con las resoluciones de cambio de alerta y sus decretos específicos en el ámbito de sus competencias.
4. El presente protocolo será obligatoriamente revisado y actualizado a causa de una o varias de las siguientes condiciones:
 - a. Anualmente.
 - b. Cuando las instituciones que participan en él lo consideren pertinente.
 - c. Posterior a la evaluación de cada emergencia suscitada.
 - d. Posterior a la ejecución y evaluación de ejercicios prácticos de simulaciones o simulacros.
5. La SGR y el IG-EPN tienen la responsabilidad de difundir, capacitar y poner a prueba el presente protocolo al interior de sus instituciones, con una periodicidad trimestral y/o según sea necesario.
6. Las declaratorias de cambio de los estados de alerta se emitirán en función a las condiciones, evolución y monitoreo de los peligros volcánicos potenciales (en este caso al Volcán Cotopaxi), con el fin de que, las entidades que forman parte del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión de Riesgos (SNDGR) y la población, activen planes, protocolos y procedimientos de respuesta, previamente establecidos en los territorios expuestos a los peligros de esta amenaza.

5.2. LINEAMIENTOS ESPECÍFICOS

INSTITUTO GEOFÍSICO DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL – IG-EPN.

1. El IG-EPN debe evaluar de manera constante e ininterrumpida la actividad volcánica y determinar la existencia o presencia de anomalías que muestren cambios que requieran ser informados a la Secretaría de Gestión de Riesgos.
2. El IG-EPN informará regularmente a la SGR la situación actual, recurrente, los cambios e incremento de la actividad volcánica, así como la presencia de fenómenos (emisiones de gases, columnas de emisión de ceniza, ocurrencia de explosiones, expulsión de bloques balísticos, flujos piroclásticos, generación de lahares, entre otros) y pronósticos probables de la evolución de la amenaza, acorde a los lineamientos de este protocolo.
3. El IG-EPN comunicará y emitirá de forma regular a la SGR la información acerca de los niveles de la actividad volcánica por los canales establecidos.
4. El IG-EPN comunicará en tiempo real a la comunidad en general, información regular y contextualizada sobre el estado del proceso eruptivo del volcán Cotopaxi.
5. La regularidad de la emisión de los comunicados remitidos por el IG-EPN dependerá del nivel de la actividad volcánica en curso, pudiendo pasar de informes mensuales a semanales, a diarios o a comunicados permanentes en tiempo real.
6. Si las condiciones de monitoreo y seguimiento de la actividad volcánica, determinan un incremento que, a criterio del IG-EPN es importante, y la recomendación para cambio de alerta corresponde al estado de alerta NIVEL ROJO, el IG-EPN comunicará de manera inmediata a la SGR esta recomendación, utilizando medios habituales de comunicación rápida, urgente y efectiva, (llamada telefónica de celular o convencional, mensaje de texto MSN, mensajes en aplicaciones de redes que habitualmente se utilicen para recibir y emitir mensajes), a fin de que la SGR tome la decisión correspondiente y ejecute las acciones que correspondan al estado de alerta roja. Este lineamiento, pretende que la recomendación de cambio de alerta a color rojo por parte del IG-EPN, tome el menor tiempo posible y que en lo posterior sea oficializada con la emisión de un informe recomendatorio para el cambio del nivel de alerta por parte del IG-EPN por los medios habituales y reconocidos por el sector público. (Sistema Nacional de Gestión Documental – Quipux y de los correos electrónicos institucionales).
7. Si la evolución del proceso eruptivo lo permite y que no esté relacionado con el cambio a alerta roja, el IG-EPN emitirá un oficio a través de los medios oficiales establecidos en el presente protocolo, con la recomendación de la declaratoria de cambio de nivel de alerta amarilla o naranja, para que la SGR tome las medidas y acciones pertinentes en base a lo expuesto en un “Informe Volcánico Especial” adjunto de dicho oficio.
8. Por defecto, el área de afectación del proceso eruptivo es la descrita en los mapas de peligro volcánico ya publicados por el IG-EPN, información que se incluirá en el informe de recomendación. Sin embargo, conforme se desarrolle el proceso eruptivo, y dependiendo del arribo y diagnóstico de los datos, el IG-EPN emitirá información a la SGR sobre las áreas posiblemente afectadas.
9. El IG-EPN comunicará, con base a la información disponible y publicada a través del insumo denominado “IGAllstante”, las zonas de posible caída de

ceniza, dispersión de ceniza (dirección del viento, altura de la nube volcánica, carga de ceniza), así como la generación de flujos piroclásticos y el posible descenso de lahares (se anexa al presente, el formato del insumo “IGAllnstante”).

SECRETARIA DE GESTIÓN DE RIESGOS – SGR.

1. La SGR deberá mantener la comunicación regular con el IG-EPN para definir el nivel de alerta con base al resultado del monitoreo del proceso eruptivo.
2. La SGR de acuerdo a sus competencias, declarará de manera inmediata la alerta ROJA en función a la recomendación del IG-EPN, según el numeral 6 del título 5.2 del presente documento.
3. Una vez que el IG-EPN emita la recomendación del cambio de nivel de alerta amarilla o naranja; la SGR declarará el nivel de alerta, en función la recomendación del cambio de nivel de alerta emitido por el IG-EPN.
4. La SGR, una vez conocido el incremento de la actividad eruptiva; pondrá en marcha y ejecutará el “Procedimiento Institucional de Comunicación por eventos peligrosos con alto nivel de afectación” (según Resolución Nro. SGR-054-2018), lo que permitirá operativizar la cadena de llamadas desde el nivel de la Sala Operativa hasta llegar a comunicar al Presidente de la República, de ser necesario, en función del nivel de peligrosidad del proceso eruptivo.
5. La SGR comunicará oportunamente a los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) Cantonales el cambio de nivel de alerta a fin de que se apliquen los protocolos de activación de Sistemas de Alerta Temprana, planes de contingencia de ser necesarios, para el conocimiento de la población afectada por procesos eruptivos.
6. La SGR autorizará la aplicación del “Protocolo para activación de mecanismos de difusión de alerta por eventos peligrosos” (vigente), de acuerdo a la información del IG-EPN. La SGR, una vez declarado el nivel de alerta, difundirá, de manera oportuna, la declaración por actividad volcánica a la población y a las instituciones del SNDGR, a través de los mecanismos y medios establecidos en el “Protocolo para activación de mecanismos de difusión de alerta por eventos peligrosos” (vigente) y/o aprobados por la Máxima autoridad de la SGR.
7. La SGR de manera simultánea activará “Protocolo para activación de mecanismos de difusión de alerta por eventos peligrosos” (vigente).
8. La SGR comunicará de manera oportuna los cambios de nivel de alerta, así como la activación de sistemas de alerta temprana (SAT) a las instituciones del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión de Riesgos (SNDGR), incluyendo a las personas que cumplen los roles de observadores volcánicos y vigías del volcán.

6. PROCESO PARA LA EVALUACIÓN Y DEFINICIÓN DEL ESTADO DE ALERTA – VOLCÁN COTOPAXI

6.1. RED DE VIGILANCIA DEL VOLCÁN COTOPAXI

Las redes de vigilancia, comprenden la aplicación de distintos métodos que permiten obtener información de la actividad volcánica a diferentes tiempos, desde tiempo real hasta técnicas que implican el análisis a más largo plazo (desde horas a meses y años). Desde 1986, IG-EPN inició su monitoreo continuo de los volcanes en Ecuador, siendo uno de ellos el volcán Cotopaxi. A lo largo del tiempo y a través de diferentes proyectos de cooperación nacional e internacional (Alvarado, et al. 2018), el IG-EPN ha podido fortalecer su red de vigilancia en varios volcanes de Ecuador.

Actualmente, el volcán Cotopaxi cuenta con el Nivel No. 1 de vigilancia volcánica (al menos tres técnicas de vigilancia), estas estaciones aplican diferentes técnicas de vigilancia volcánica, en algunos casos autónomos (instrumentos de una sola técnica de vigilancia) y en otros multiparamétricas (varios tipos de equipos asociados con varias técnicas de vigilancia en una estación). El volcán Cotopaxi es vigilado a través de las siguientes técnicas:

- Vigilancia química de gases y aguas.
- Vigilancia geodésica.
- Vigilancia de la actividad sismo – volcánica.
- Vigilancia a través de sensores remotos.
- Vigilancia por vigías.
- Vigilancia por observadores volcánicos.

El número, tipo y distribución de instrumentos puede variar en función de las necesidades de la vigilancia y del impacto que pudiera ocurrir durante el proceso eruptivo, u otros factores externos lo que se detalla en el [Anexo 1 - Red de Vigilancia del volcán Cotopaxi](#).

6.2. ESCENARIOS DEL PROCESO ERUPTIVO (VEI)

Los escenarios que se describen a continuación son referenciales. Entre cada uno pueden darse una variación en la intensidad y características de los fenómenos.

El volcán Cotopaxi experimentó una nueva fase eruptiva en 2015 que produjo caídas de cenizas leves, cuyos volúmenes son calificados como una erupción VEI = 1 (Índice de Explosividad Volcánica) con menos de 1 millón de m³ de ceniza arrojada. También se generaron lahares secundarios.

ESCENARIO 1: ERUPCIONES VEI 1-2, por ejemplo, de tipo “Estromboliano”, cuyas columnas de ceniza posiblemente ascienden unos pocos kilómetros sobre el nivel del cráter. Estas erupciones forman fuentes de lava, sostenidas a semi-sostenidas, expulsan bloques y proyectiles balísticos, y generan nubes de ceniza pequeñas. Además, se pueden producir explosiones más fuertes tipo “Vulcanianas”, cuyas columnas de ceniza pueden llegar hasta 1-4 km por encima del cráter. En los

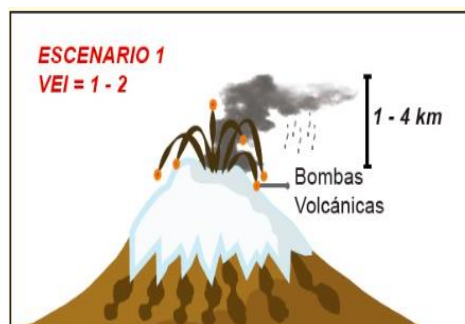


Ilustración 2. Escenario 1 - volcán Cotopaxi (Fuente: IG-EPN)

dos casos, los volúmenes de magma expulsados son pequeños. Existe la posibilidad de que se formen pequeños lahares secundarios por la removilización de las cenizas por el arrastre de aguas lluvias (lahares secundarios).

ESCENARIO 2: ERUPCIONES VEI 2-3, por ejemplo, de tipo “Estromboliano violento y fuentes de lava”, cuyas columnas de ceniza posiblemente ascienden entre 4-8 km. Fuentes de lava, sostenidas a semi-sostenidas, expulsión de bloques y proyectiles balísticos.

Además, se pueden producir explosiones más fuertes tipo “Vulcanianas”. Los volúmenes de magma expulsados son pequeños a medianos. Existe la posibilidad de que se formen pequeños lahares secundarios por la removilización de las cenizas por el arrastre de aguas lluvias (lahares secundarios).

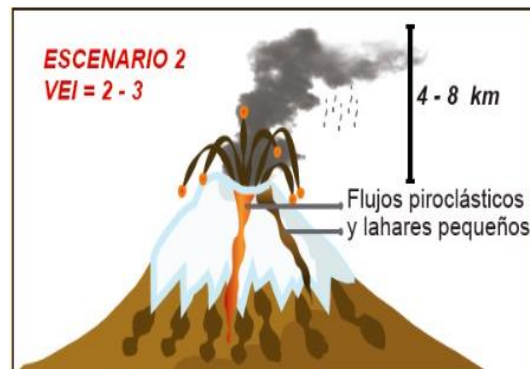


Ilustración 3. Escenario 2 - volcán Cotopaxi (Fuente: IG-EPN)

Como ejemplo, la erupción de 1853-54, el magma estuvo mayormente desgasificado y, por lo tanto, menos explosivo. También se produjeron pequeños flujos piroclásticos. En futuras erupciones, la ubicación del centro de emisión (en el cráter o de una fisura en los flancos), determinará la formación de lahares por fusión parcial del glaciar.

ESCENARIO 3: ERUPCIONES VEI 3 a 4, en las cuales un gran volumen (0.01 - 1.0 km³) de piroclastos sería expulsado formando nubes de ceniza (8 a 20 km de altura sobre el cráter) y eventualmente flujos de lava.

En el caso de la erupción del 26 de junio, 1877 reportado por Wolf en 1878, los flujos piroclásticos se produjeron mayormente por procesos de “desbordamiento” de piroclastos desde el cráter, o por el colapso de la columna eruptiva; en ambos mecanismos los flujos piroclásticos se desplazaron por los flancos del

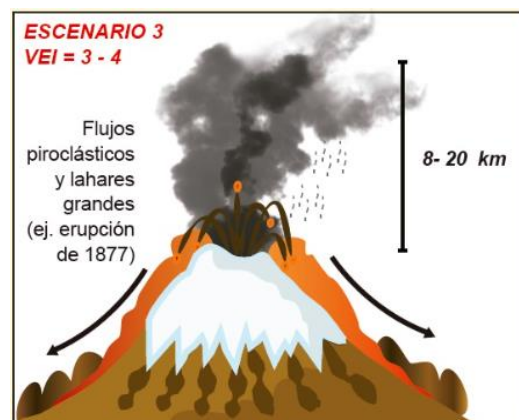


Ilustración 4. Escenario 3 - volcán Cotopaxi (Fuente: IG-EPN)

volcán, fundiendo varios metros de espesor de la superficie del glaciar y generando grandes lahares. Estas erupciones estuvieron acompañadas por caídas regionales de ceniza, escoria o pómez gruesa, con acumulaciones de hasta varios centímetros de espesor, particularmente en las cercanías del cono donde las acumulaciones alcanzaron más de 1 metro de espesor.

ESCENARIO 4: ERUPCIONES VEI igual o superior a 4 en las cuales un gran volumen (> 0.1 km³) de magma es expulsado en forma de flujos piroclásticos, enormes nubes de ceniza (mayor a 20 km sobre el nivel del cráter) y eventualmente flujos de lava.

En un evento eruptivo de hace aproximadamente 1000 años, los flujos piroclásticos se produjeron mayormente por procesos de colapso de la columna eruptiva, cuya altura alcanzó más de 20 km por encima del cráter.

En este caso los flujos piroclásticos se desplazaron por los flancos del volcán, fundiendo varios metros de espesor de la superficie del glaciar y generando grandes lahares. Estas erupciones estuvieron acompañadas por caídas regionales de ceniza, escoria o pómez gruesa, con acumulaciones de hasta varias decenas de centímetros de espesor, particularmente en las cercanías del cono donde las acumulaciones alcanzaron más de 2 metros de espesor. En el sector del Chasqui y Romerillos el depósito de pómez blanca sobrepasa 1 metro de espesor.

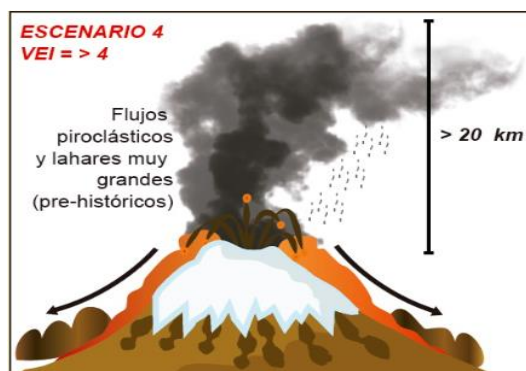


Ilustración 5. Escenario 4 - volcán Cotopaxi (Fuente: IG-EPN)

6.3. DEFINICIÓN DE ZONAS DE PELIGRO ASOCIADOS A LOS NIVELES DE ACTIVIDAD VOLCÁNICA

Los mapas de peligro representan un producto final correspondiente a la evaluación del peligro volcánico a largo plazo. Para ello es necesario un proceso que empieza con la selección y definición de los escenarios eruptivos que serán presentados en el mapa. Para ello, se utiliza el conocimiento geológico e histórico sobre las erupciones del volcán. Con esta información se realiza una calibración de modelos numéricos capaces de simular los fenómenos volcánicos de interés. Luego, dichos modelos numéricos se utilizan para simular los escenarios seleccionados bajo supuestos correspondientes a la realidad actual. Finalmente, se sintetizan los resultados obtenidos en los productos cartográficos finales.

Así, en los mapas se presentan las “zonas que tiene una determinada probabilidad de ser afectada por un determinado fenómeno volcánico en caso de ocurrir una erupción de características y tamaño determinados (escenario eruptivo) en un volcán determinado” (definición correspondiente al catálogo de objetos en preparación). En el caso del volcán Cotopaxi se presentan las siguientes zonificaciones actualizados a marzo del 2023:

- “Zona de peligros proximales” correspondientes al escenario 3. Esta zona incluye fenómenos como flujos piroclásticos, flujos de lava, proyectiles balísticos y lahares en la zona proximal al cráter.
- “Zona de peligros proximales” correspondientes al escenario 4. Esta zona incluye fenómenos como flujos piroclásticos, flujos de lava, proyectiles balísticos y lahares en la zona proximal al cráter.
- “Zonas de peligro por caída de ceniza y lapilli”, correspondientes al escenario 1.
- “Zonas de peligro por caída de ceniza y lapilli”, correspondientes al escenario 2
- “Zonas de peligro por caída de ceniza y lapilli”, correspondientes al escenario 3.
- “Zonas de peligro por caída de ceniza y lapilli”, correspondientes al escenario 4.
- “Zonas de peligro por lahar”, correspondientes al escenario 3.

Los archivos correspondientes a la zonificación indicada se pueden obtener en:

Amenaza volcánica: Peligros proximales y Lahares del volcán Cotopaxi - VEI >3:

https://alertasecuador.gob.ec/img/Peligros_proximales.zip

Amenaza por Ceniza: Escenarios.

https://alertasecuador.gob.ec/img/Ceniza_escenario_1_2.zip

https://alertasecuador.gob.ec/img/Ceniza_escenario_2_3.zip

https://alertasecuador.gob.ec/img/Ceniza_escenario_3_4.zip

https://alertasecuador.gob.ec/img/Ceniza_escenario_4_5.zip

El escenario correspondiente a cada “Zona de peligro” determina la probabilidad de ocurrencia del fenómeno en un año cualquiera. Las “Zonas de peligro por caída de ceniza y lapilli” tienen además una segunda probabilidad de 50% de ocurrencia, asociada a las condiciones de velocidad y dirección del viento a lo largo del año.

Los mapas de peligro se realizan con el objetivo de ser instrumentos que sirvan para las tomas de decisiones correspondientes a la planificación regional a largo plazo (i.e. planes de uso y gestión del suelo). También son herramientas fundamentales para la preparación de la respuesta a emergencias. En este sentido se ha sintetizado información relevante en la página de la Secretaría de Gestión de Riesgos en lo que respecta al volcán Cotopaxi como, por ejemplo, sistemas de alerta temprana, escenarios eruptivos, zonas de influencia del volcán, rutas de evacuación y zonas seguras, insumos técnicos para sistemas de información geográfica (SIG).

Se debe aclarar que los límites de las zonas de peligro volcánico son aproximados y que de ninguna manera constituyen límites absolutos. Las zonas de peligro volcánico representan la síntesis de un escenario hipotético y no una predicción de sucesos del futuro. Los fenómenos que ocurren durante una erupción volcánica pueden variar en su magnitud, su alcance, su volumen y por lo tanto, su extensión lateral y longitudinal, sin que eso pueda ser predicho con antelación ni representado en un mapa.

6.4. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE CRITERIOS DE ALERTA VOLCÁNICA

Los criterios para definir la alerta volcánica se basan en los niveles de actividad volcánica que se describen en esta sección.

Para los volcanes activos en el Ecuador que presentan agitaciones internas y fumarolas en superficie, es importante calificar su actividad acorde a los resultados de la vigilancia volcánica. El IG-EPN ha desarrollado un sistema basado en varios parámetros para caracterizar la actividad interna y superficial de los volcanes ecuatorianos. Como cada volcán tiene características propias, los niveles de “actividad interna” y “actividad superficial” no son idénticos para todos. A continuación, se describe de manera general cómo se califica la actividad de los volcanes.

La actividad interna de los volcanes ecuatorianos es evaluada con varias técnicas que tienen como objetivo detectar la presencia y el movimiento de fluidos (magma o gas) dentro del edificio volcánico. La principal herramienta utilizada a nivel mundial y para el Ecuador es la sismología, que permite detectar y caracterizar fenómenos de diferentes tipos (sismos relacionados a apertura de fracturas, movimiento de fluidos, vibraciones

sostenidas), mediante el uso de sismómetros ubicados en los flancos del volcán. También se utiliza técnicas de geodesia, que permiten observar cambios en la forma del volcán (inflación o deflación) con el uso de GPS continuos de alta resolución e inclinómetros. Existen otras técnicas complementarias, como por ejemplo la gravimetría, pero éstas (sismología y geodesia) son las más importantes para el diagnóstico de la actividad interna (Tabla 1).


	Muy alta	Anomalía muy grande respecto al nivel de base.
	Alta	Anomalía grande respecto al nivel de base.
	Moderada	Anomalía moderada respecto al nivel de base.
	Baja	Anomalía pequeña respecto al nivel de base.
	Muy baja	Similar a los niveles de base.

Tabla 1. Niveles de actividad interna

La actividad superficial se relaciona con los productos emitidos por el volcán; igualmente se utiliza varias técnicas para detectar y caracterizar los fenómenos observados en superficie. Las emisiones de gas son cuantificadas gracias a instrumentos en el campo (DOAS, Multigas) y satélites. Las emisiones de ceniza son identificadas y caracterizadas en las imágenes de las cámaras instaladas en la cercanía del volcán y también desde satélites. Las explosiones son detectadas mediante el uso de sensores acústicos instalados en el campo. El calor emitido por los fenómenos volcánicos (proyectiles balísticos, flujos de lava o piroclásticos) es evaluado con cámaras de rango infrarrojo y desde satélites. Finalmente, los lahares son detectados mediante redes de sensores sísmico- acústicos y cámaras. El IG-EPN califica la actividad superficial en función de un conjunto de parámetros de vigilancia y fenómenos en superficie (Tabla 2).

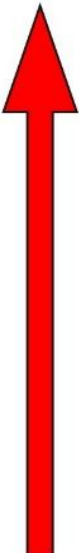
	Muy alta	Fenómenos volcánicos (proyectiles balísticos, flujos de lava y piroclásticos) con alcance mayor a los límites del volcán y/o anomalías térmicas muy grandes a extremas y/o caídas de ceniza al nivel nacional e internacional.
	Alta	Fenómenos volcánicos (proyectiles balísticos, flujos de lava y piroclásticos) limitados a los flancos del volcán y/o anomalías térmicas moderadas a grandes y/o caídas de ceniza al nivel provincial.
	Moderada	Cuando el volcán empieza un periodo eruptivo con la emisión de material líquido o sólido. La actividad superficial puede ser caracterizada por fenómenos volcánicos (proyectiles balísticos, flujos de lava y piroclásticos) limitados a la zona cercana al cráter y/o anomalías térmicas bajas y/o caídas de ceniza al nivel cantonal.
	Baja (no eruptiva)	Ocurre cuando las emisiones de gas o la temperatura de las zonas hidrotermales o del cráter superan un nivel de base preestablecido.
	Muy baja (no eruptiva)	Corresponde a fenómenos de alcance muy limitado como fumarolas y fuentes termales.

Tabla 2. Niveles de actividad interna y sus características

Adicionalmente se califica la tendencia de esta actividad en base a su evolución a corto plazo (días a semanas). La tendencia sin cambio significa que no se observan cambios

significativos, mientras que las tendencias ascendente o descendente indican que los parámetros de vigilancia han experimentado una aceleración o desaceleración en los últimos días. La tendencia es más variable que los niveles de actividad ya que dentro de un nivel pueden producirse frecuentes altos y bajos (Imagen 6).

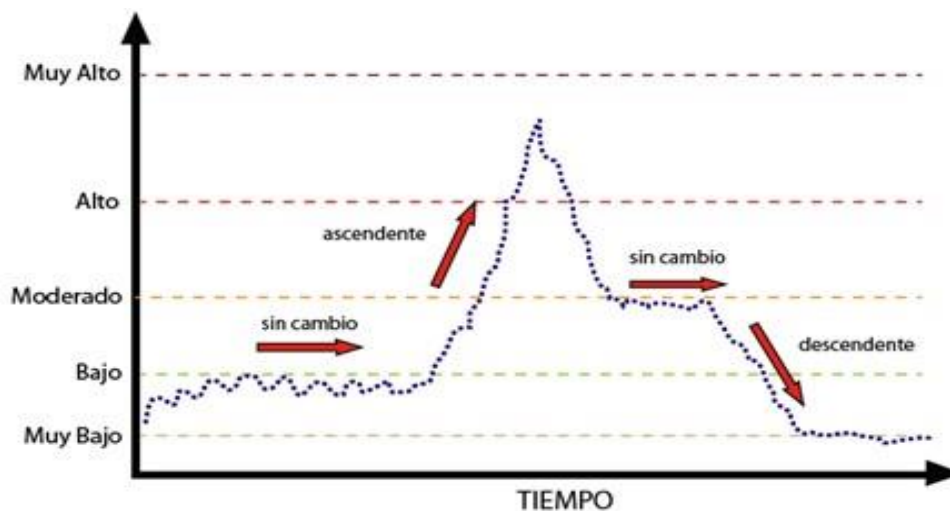


Ilustración 6. Esquema ilustrando los cambios de tendencia de un parámetro de vigilancia

6.4.1. CONSIDERACIONES GENERALES DE LA METODOLOGÍA

- Pueden presentarse cambios rápidos en el comportamiento del volcán que se podrá determinar con el monitoreo constante realizado, esta variación puede ser en ambos sentidos (la actividad eruptiva puede ascender o descender de manera súbita) los cuales estarán controlados por la actividad del volcán de acuerdo al nivel de incertidumbre asociado a un evento eruptivo y su actividad precursora (Imagen 7).

Duración de un proceso eruptivo

Precusores					Evento				
Décadas	Años	Semanas a meses	Días	Horas	Horas	Días	Semanas a meses	Años	Décadas
[Barra roja]					[Barra roja]				

Ilustración 7. Esquema de la duración e incertidumbre asociado a un evento eruptivo y

- Se debe indicar que, aunque con menores probabilidades de ocurrencia, las erupciones de mayor tamaño (escenario 4 con baja frecuencia) tendrán más altura, volumen y cubrirán más extensión que las consideradas en escenarios menores.
- Los niveles de actividad, se evalúan tomando en cuenta la tendencia que registre tanto la actividad interna y superficial: la tendencia corresponde a la variación o su ausencia respecto al comportamiento observado de manera conjunta para los parámetros de vigilancia; por lo que esta puede ser constante, en ascenso o en descenso, y equivale a ser denominadas como: sin cambios, ascendente y descendente, respectivamente. Esto se realiza de manera semanal dentro de la

evaluación general de la actividad de los volcanes que realiza el IG-EPN o cuando la situación lo amerite.

- Los cambios en los dos sentidos, así como de procesos lentos y rápidos estarán determinados por la actividad del volcán.
- Los parámetros de vigilancia volcánica constituyen una referencia para determinar los escenarios principales y en orden de probabilidad de ocurrencia.
- Estos escenarios podrán ser cambiados de acuerdo a la evolución de los parámetros que se vigilan en el volcán.
- Es importante destacar que el IG-EPN mantiene la vigilancia en el volcán Cotopaxi y registra los cambios que puedan presentarse.
- Un factor adicional considerado para la evaluación de la actividad en este volcán, está basado en la experiencia de las erupciones pasadas (Pichincha, Tungurahua, Cotopaxi) y presentes (Reventador, Sangay).
- Debido a la variabilidad del fenómeno de caída de ceniza y los efectos que puede ocasionar, la gestión de este fenómeno no es determinante para el cambio de alerta.

6.5. CRITERIOS CONSIDERADOS PARA EL CAMBIO DE ALERTA.

6.5.1. NIVELES DE ACTIVIDAD VOLCÁNICA.

Los niveles de actividad se evalúan tomando en cuenta la información receptada por el IG-EPN de la instrumentación antes mencionada, además se analiza la tendencia que registre el proceso eruptivo tanto en la actividad interna como la superficial, por lo que esta puede ser constante (sin cambios), en ascenso (ascendente) o en descenso (descendente).

Los parámetros de vigilancia volcánica constituyen una referencia para determinar los pronósticos en orden de probabilidad de ocurrencia. Los escenarios y alertas podrán ser cambiados de acuerdo a la evolución de los parámetros que se vigilan en el volcán y basado en la experiencia de las erupciones pasadas.

El IG-EPN maneja el monitoreo de la actividad volcánica con base a niveles de actividad; los cuales están determinados de acuerdo a evaluación de criterios técnicos y son definidos como:

- Muy Bajo
- Bajo
- Moderado
- Alto y
- Muy alto.

Los niveles de actividad volcánica, a su vez, tienen correspondencia con las zonas de impacto a causa de los diferentes fenómenos volcánicos definidos en los mapas de amenaza volcánica potenciales del volcán Cotopaxi, Zonas: Norte, Sur y Este. De acuerdo a esto:

- Los niveles **Muy Bajo y Bajo**: Pueden ocurrir emisiones de ceniza asociadas a eventos aislados, similares a otros menores durante estos últimos 7 años, por ejemplo, el del 27/11/2021. Este tipo de eventos puede repetirse en el corto y mediano plazo (días a semanas), sin mostrar signos precursores.

Estos niveles de actividad implicarían posibles afectaciones a la integridad de las personas que se encuentran en los alrededores del cráter.

- El nivel **Moderado**: Actividad volcánica que podría ser el inicio de un periodo eruptivo. Ésta no necesariamente será similar en otros procesos (relativamente equivalente a la actividad del 14/08/2015). En esta etapa, la incertidumbre es demasiado alta para estimar el tamaño de este posible periodo eruptivo, así como la velocidad de los cambios que el volcán podría experimentar.

Es importante destacar que la presencia del magma en el conducto y la desgasificación indican un sistema abierto. Las emisiones de ceniza presentan plumas que son emitidas desde el cráter y alcanzan hasta alturas de 1-4 km sobre el nivel del cráter. Bajo estas condiciones, los signos premonitores de eventos eruptivos son muy sutiles e incluso inexistentes, limitando la anticipación o pronóstico de eventos mayores. En este nivel se espera actividad superficial mayor en corto a mediano plazo.

Implica un proceso eruptivo o posibilidad de una erupción capaz de afectar seriamente lugares cercanos al cráter (con amenaza a la vida en dichas áreas).

- El nivel **Alto**: relacionado con actividad interna o eruptiva, capaz de generar una erupción con columnas de emisión de gran alcance y con mayor contenido de ceniza, respecto a niveles anteriores, lo cual nos ubicaría en el Escenario 2 del mapa de peligros.

Las emisiones de ceniza presentan plumas que son emitidas desde el cráter y alcanzan hasta alturas de 4-8 km sobre el nivel del cráter. Esta actividad implicaría acciones del tipo “No acercarse al volcán en las zonas de influencia de la amenaza volcánica considerada”, es decir, se asocia a la presencia de volúmenes de magma pequeños y lahares secundarios de corto alcance (inmediaciones del Parque Nacional Cotopaxi).

Implica un proceso eruptivo o posibilidad de una erupción capaz de afectar seriamente lugares cercanos a zonas pobladas (con posible amenaza a la vida es las zonas de peligros proximales).

- El nivel **Muy alto**: Relacionado con actividad interna o eruptiva, capaz de generar flujos piroclásticos, lo cual nos ubicaría en el Escenario 3 del mapa de peligros. Las emisiones de ceniza presentan plumas que son emitidas desde el cráter y que sobrepasan los 8 km de altura sobre el nivel del cráter, con volúmenes de magma grandes y lahares primarios y secundarios de mediano alcance (Zonas distales del Parque Nacional Cotopaxi) por lo que:

Esta actividad implicaría acciones de evacuación en las zonas de influencia (o peligro) de la amenaza volcánica considerada, es decir, son aquellas donde se esperaría la generación y tránsito de lahares primarios de gran tamaño. Las zonas de influencia tienen alta probabilidad de ser afectada por flujos de lodo y escombros, o lahares, en caso de que ocurra una erupción.

Las zonas de influencia han sido definidas con base a los depósitos dejados por el flujo lahárico primario del 26 de junio de 1877 y otros lahares primarios

ocurridos durante la época histórica (Entiéndase como época histórica al período de tiempo subsecuente a la llegada de los españoles -1534).

Las futuras erupciones podrían generar lahares de volumen variable dependiendo del tamaño de la erupción. Generalmente, los lahares primarios estarían restringidos a los cauces de los ríos. No obstante, en los cauces poco profundos, en zonas relativamente planas, cuyas orillas son bajas o cuando el volumen de los lahares es muy grande, estos podrían desbordarse y alcanzar extensiones laterales importantes. La energía destructiva del lahar será mayor cerca del eje del cauce del río, mientras que, a medida que nos alejamos de él, la energía destructiva será menor. Esta actividad implica un proceso eruptivo (o erupción grande inminente) capaz de causar daños serios a áreas residenciales/pobladas (flujos piroclásticos en zonas cercanas al edificio volcánico; lahares en zonas distantes. Por ejemplo, similar a la erupción de 1877).

6.6. TABLA REFERENCIAL PARA LA RECOMENDACIÓN DE DEFINICIÓN O CAMBIO DE ESTADOS DE ALERTA EN LAS ZONAS DE INFLUENCIA EN FUNCIÓN A LOS NIVELES DE ACTIVIDAD VOLCÁNICA.

La tabla presentada a continuación relaciona: las advertencias para las zonas de influencia (o peligro), los niveles de actividad volcánica determinados a partir de métodos y sistemas de vigilancia, los fenómenos volcánicos en curso o que se anticipan, la intensidad de ellos (representados por el [Índice de Explosividad Volcánica - VEI](#)) y los niveles de alerta recomendados para las zonas de influencia (Advertencia - Nivel de alerta / acción clave y colores correspondientes)

PROTOCOLO TÉCNICO PARA EVALUACIÓN Y DEFINICIÓN DE ESTADOS DE ALERTA POR ACTIVIDAD VOLCÁNICA. – Versión 1.0

Escenario	Color de alerta	Nivel de actividad volcánica	Actividad volcánica que se anticipa	Impacto	Acciones claves
3 - 4	ROJA	MUY ALTA Erupción mayor inminente o en curso. Tiempo de ocurrencia en Horas a Días.	<ul style="list-style-type: none"> Actividad volcánica crítica con presencia de intensos y prolongados sismos. Peligro Inminente de erupción explosiva grande. Posibilidad de ocurrencia de proyectiles balísticos, flujos piroclásticos y flujos de lava. Intensa emisión de ceniza, afectando poblaciones y ciudades lejanas. Columna eruptiva sostenida con alturas mayores a 8 km sobre el nivel del cráter, aproximadamente. Caída de lapilli en las zonas cercanas al edificio volcánico. Posibilidad de flujos de lodo (lahares) de largo alcance. 	Impacto Nacional (varias provincias). Impacto importante tanto en las cercanías del edificio volcánico, como en las zonas expuestas a lahares y peligros proximales según mapa de peligros IG-EPN.	<ul style="list-style-type: none"> Activación y Ejecución de planes de respuesta (evaluación de daños, contingencia, evacuación y continuidad de servicios), por parte de las instituciones del SNDGR. Activación y articulaciones de los COE cantonales, provinciales y COE nacional. **Evacuación obligatoria de zonas expuestas a peligros letales (Zonas de peligro proximal y lahares primarios definidas en el mapa de peligros volcánicos del IG-EPN), descrito en el <u>Anexo 3</u>. Mantener y reforzar el monitoreo volcánico, conforme a la condiciones volcánicas e institucionales. Activar procesos de comunicación en crisis. Demás acciones complementarias encaminadas a la atención a la población expuesta.
2	NARANJA	ALTA Probable erupción o retorno después de etapa eruptiva. Tiempo de ocurrencia de Días a Semanas.	<ul style="list-style-type: none"> Aumento significativo de la actividad volcánica. Incremento de la actividad sísmica. Aumento de fumarolas y/o, incremento de tamaño de la columna eruptiva con alturas aproximadas entre 4 y 8 km sobre el nivel del cráter. Caída de ceniza y/o proyectiles balísticos. Posibilidad de ocurrencia de flujos de lodo (lahares). Posibilidad de generación de flujos piroclásticos. Incremento de la deformación de los flancos del volcán. 	Impacto local, en las cercanías del edificio volcánico	<ul style="list-style-type: none"> Ejecución de planes de respuesta (emergencia, contingencia, evacuación y continuidad de servicios), por parte de las instituciones del SNDGR que lo ameriten en este nivel de alerta (MSP, DAC, SNAI, EP PETROECUADOR, MINEDUC: Cambio de modalidad educativa, entre otras). Continuidad y reforzamiento de las acciones para proteger y garantizar servicios a la ciudadanía en función de sus escenarios de impacto en las provincias de Pichincha, Cotopaxi, Napo y Tungurahua. Evacuación obligatoria de la población correspondiente a grupos de atención prioritaria de las zonas expuestas a lahares primarios definidas en el mapa de peligros volcánicos del IG-EPN. Evacuación obligatoria de todas las personas asentadas en las zonas de peligro proximal, descrito en el <u>Anexo 2</u>. Activación de los planes para la protección y evacuación de medios de vida. **Evacuación voluntaria de las personas expuestas en las zonas de peligros volcánicos del IG-EPN), descrito en el <u>Anexo 3</u>. Activación sectorial de los planes de respuesta (emergencia, contingencia, evacuación y continuidad de servicios), por parte de las instituciones que conforman las MTT, GT y todos los actores de nivel cantonal y provincial involucrados. Activación de los COE cantonales y provinciales para reforzar y ejecutar actividades preparatorias y de respuesta. Mantener y reforzar el monitoreo volcánico, conforme a la condiciones volcánicas e institucionales. Reforzamiento del proceso de comunicación social. Demás acciones complementarias encaminadas a la atención a la población.

Escenario	Color de alerta	Nivel de actividad volcánica	Actividad volcánica que se anticipa	Impacto	Acciones claves
1	AMARILLA	<p>MODERADA</p> <p>Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica.</p> <p>Tiempo de ocurrencia de Semanas a Meses.</p>	<ul style="list-style-type: none"> La actividad sísmica local se incrementa. Incremento de emanación de fumarolas acompañadas de ruidos. Explosiones leves a moderadas, proyectiles balísticos lanzados alrededor del cráter. Emisiones esporádicas de ceniza con alturas aproximadas entre 1 y 4 km sobre el nivel del cráter, con posibilidad de caída de ceniza sobre zonas pobladas. Deformación leve (hinchamiento) de los flancos del volcán. Presencia de gases magmáticos (SO₂, SH₂ y CO₂). Posible ocurrencia de lahares secundarios con alcance restringido al área del Parque Nacional Cotopaxi. 	Impacto restringido a las cercanías del cráter.	<ul style="list-style-type: none"> Actualización y revisión periódica de planes de respuesta (emergencia, contingencia, evacuación y continuidad de servicios), por parte de las instituciones que conforman las MTT, GT y todos los actores de nivel cantonal y provincial involucrados. Ejecución e implementación de acciones por parte de las instituciones que conforman las MTT, GT y todos los actores de nivel cantonal y provincial involucrados, para proteger y garantizar servicios a la ciudadanía en función de sus escenarios de impacto en las provincias de Pichincha, Cotopaxi, Napo y Tungurahua. Activaciones de los COE cantonales y provinciales para articular actividades preparatorias para la respuesta. Ejecución de simulacros y simulaciones dirigidas a la población e instituciones en las provincias de Pichincha, Cotopaxi, Napo y Tungurahua. Evacuación voluntaria de la población correspondiente a grupos de atención prioritaria de las zonas expuestas a lahares primarios definidas en el mapa de peligros volcánicos del IG-EPN. Preparación de los planes de protección y evacuación de medios de vida por parte de los GAD provinciales, en coordinación con las instituciones competentes. Prohibición de acceso a zonas más altas a los 4864 msnm (Refugio José Rivas), así como las actividades de alta montaña y de ascenso al cráter del volcán. Mantenimiento y reforzamiento del monitoreo volcánico. Fortalecimiento de la comunicación social referente al peligro volcánico. Demás acciones complementarias encaminadas a la atención a la población en sectores expuestos.
No hay escenario	BLANCA	<p>Volcán activo con comportamiento estable. Sin riesgo inmediato.</p> <p>Tiempo de ocurrencia de Meses a Años</p>	<ul style="list-style-type: none"> El volcán se encuentra en estado con actividad superficial mínima. Condiciones estables. Posibles emanaciones de gases, mayormente vapor de agua. Actividad sísmica de baja intensidad. Pequeñas explosiones freáticas. 	No hay impacto fuera de los alrededores del cráter.	<ul style="list-style-type: none"> Familiarizarse y socializar a la sociedad en general el Mapa de Peligros Volcánicos del IG-EPN. Socializar en la población y dar a conocer las características de un volcán activo. (conocimiento social de la amenaza). Socializar a todas las instituciones del SNDGR y dar a conocer las características de un volcán activo. (conocimiento social de la amenaza). Mantener el monitoreo volcánico. Demás acciones complementarias encaminadas a la atención a la población en sectores posiblemente expuestos.

Tabla 3. Descripción de los fenómenos volcánicos que se relacionan con los niveles de alerta.

Nota: La caída de ceniza puede generar impacto regional desde el nivel de alerta amarilla

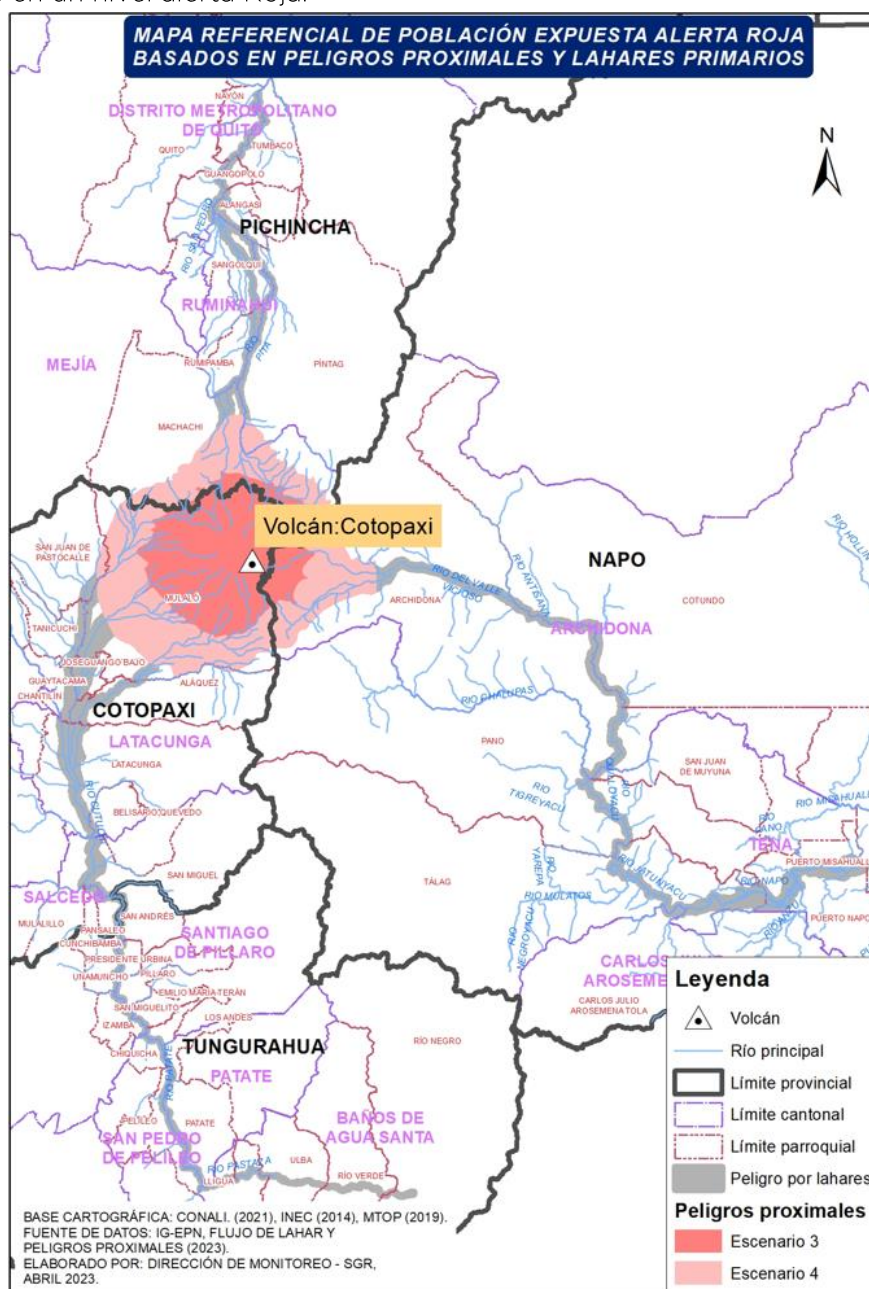
** Referencia al mapa de peligro definido por el IGEPN en un escenario VEI 3-4

En referencia al numeral 5.2, lineamiento 8; de acuerdo a la actividad volcánica el IG-EPN, definirá un área de posible afectación a ser remitida a la SGR en la comunicación previa a la declaratoria de alerta.

El mapa es una referencia para la zonificación de sectores ([Anexo 2](#)) en alerta naranja, sin embargo, conforme se desarrolle el proceso eruptivo, y dependiendo del arribo y diagnóstico de los datos al Centro Terras, el IG-EPN emitirá información a la SGR sobre las áreas posiblemente afectadas.

Zonificación referencial de mayor impacto - Alerta Roja

Conforme a lo definido en la [sección 6.6](#) del presente protocolo, donde se presenta la [tabla No 3](#) - Descripción de los fenómenos volcánicos que se relacionan con los niveles de alerta, para la alerta roja se identifican los sectores que podrían estar potencialmente afectados conforme a la zonificación definida por la capa de zonas de peligro proximal y lahares primarios definidas en el mapa de peligro para un escenario 3 y 4. A continuación se detalla el mapa zonificado y los sectores que se verían potencialmente expuestos en un nivel alerta Roja.



Mapa No. 2: Mapa referencial de población expuesta para alerta roja basado en peligros proximales y lahares primarios.

El mapa es una referencia para la zonificación de sectores en alerta roja ([Anexo 3](#)), Sin embargo, conforme se desarrolle el proceso eruptivo, y dependiendo del arribo y diagnóstico de los datos al Centro Terras, el IG-EPN emitirá información a la SGR sobre las áreas posiblemente afectadas.

Cabe indicar que las acciones de evacuación se incluirán en los planes de respuesta locales.

7. PROCESO DE COMUNICACIÓN PARA LA TRANSFERENCIA DE INFORMACIÓN DESDE IG-EPN A SGR

De acuerdo a las características del fenómeno (tamaño-impacto), se emiten diferentes insumos que forman parte de los productos del IG- EPN y son difundidos tanto como para la comunidad como para la Secretaría de Gestión de Riesgos en específico, de estos se puede citar los siguientes.

NOMBRE	OBJETIVO
Informes periódicos (diarios, mensuales o anuales)	Informes emitidos de manera especial de volcanes inactivos (pendientes).
Informes diarios	Cuando la erupción dura varios días para mantener un flujo continuo de información.
Informe breve (IGAllstante)	Informa sobre eventos especiales (p. ej., gran terremoto, enjambre sísmico, erupción) que requieren notificación inmediata
Informe Especial	Informar con detalle sobre la actividad volcánica incluyendo resultados del análisis de las diferentes técnicas de monitoreo. Informar de potenciales cambios de escenarios.
IG a la comunidad	Informar de manera rutinaria sobre eventos relacionados con emisiones: columnas eruptivas (paralelo al VONA)
Informe de cambio de nivel de actividad volcánica	Sugerir a través de un documento sobre el cambio del nivel de actividad volcánica

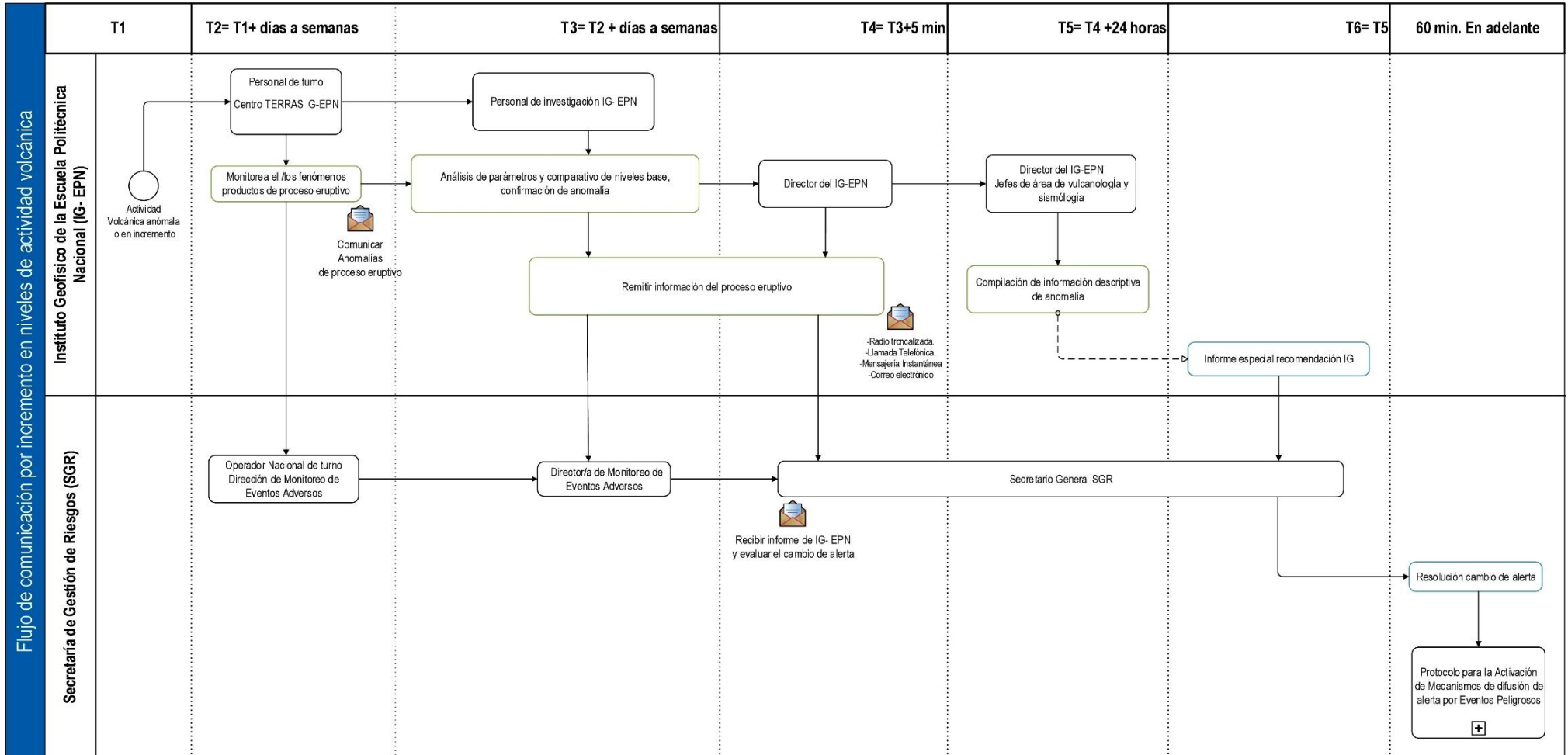
Tabla 4. Tipos de informes que emite el IG-EPN

8. CONSIDERACIONES ESPECIALES PARA LA ACTIVACIÓN DEL PROTOCOLO

- La SGR podrá considerar activar Sistemas de Alerta Temprana con diferentes mensajes en función a la información remitida por parte del IG-EPN y la exposición al momento de la declaratoria.
- Así como existen incrementos en la actividad volcánica existirán también indicadores que muestren el descenso de actividad, para lo cual de igual manera se considerará descender el nivel de alerta, los flujos de comunicación a considerarse será el mismo que para el flujo de comunicaciones por el incremento de actividad volcánica.

9. FLUJO DE COMUNICACIÓN

9.1. FLUJO DE COMUNICACIÓN EN CAMBIO DE NIVEL A ALERTA AMARILLA O NARANJA

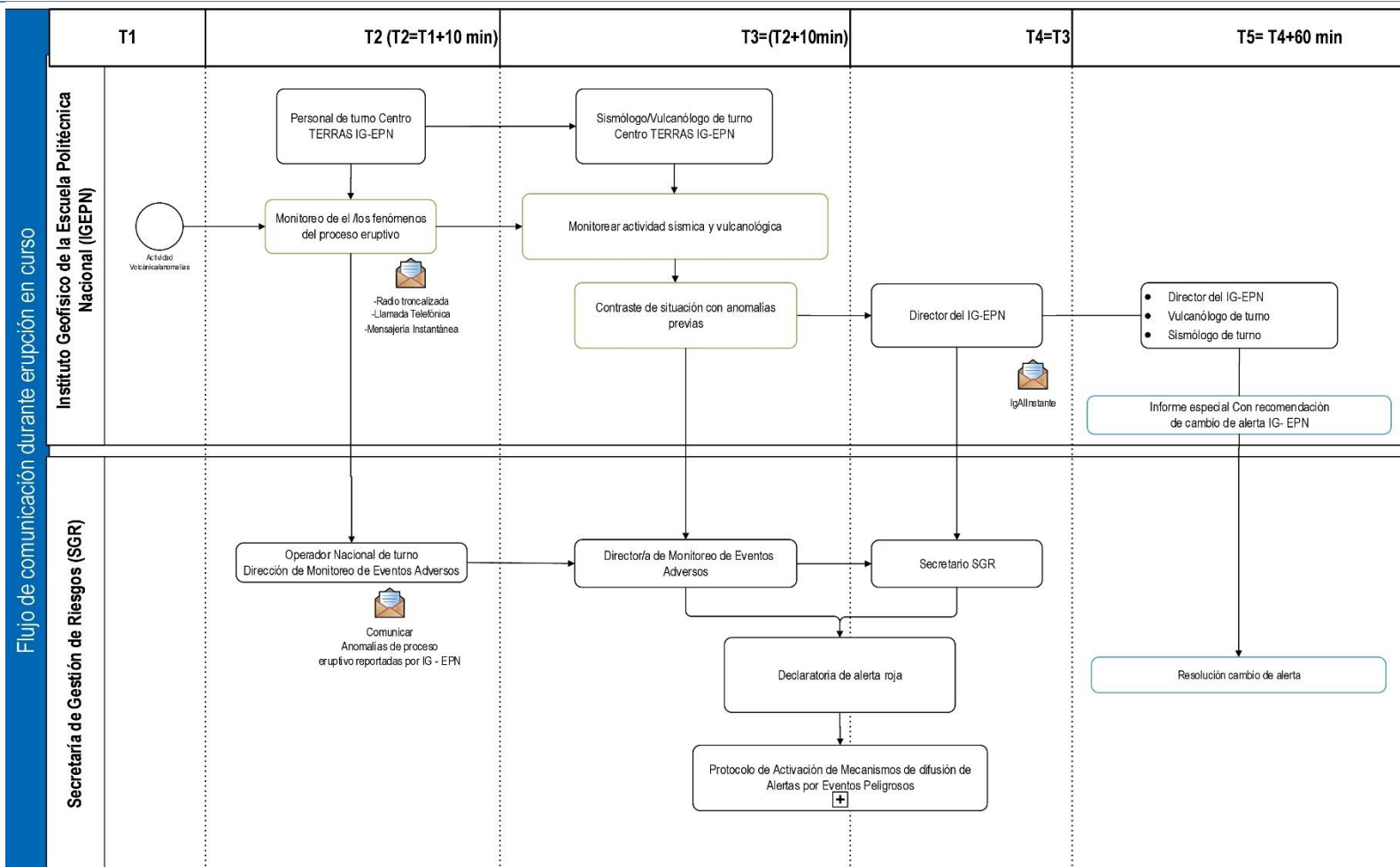


Número actividad o proceso	Actividad o proceso	Institución responsable	Responsable de la actividad	Responsable alternativo de la actividad	Descripción	Medios
1 (T1)	Vigilar la actividad volcánica	IG-EPN	Personal de turno del CENTRO TERRAS del IG-EPN	Sismólogo y/o Vulcanólogo de turno.	El IG-EPN monitorea de manera permanente la actividad volcánica mediante una red de instrumentos	CENTRO TERRAS - Redes de monitoreo
2 (T2=T1+ días a semanas)	Identificar anomalía	IG-EPN	Personal de turno del CENTRO TERRAS del IG-EPN	Sismólogo y/o Vulcanólogo de turno del IG-EPN Personal de investigación del IG-EPN	Se analizan los diferentes parámetros y se comparan con los niveles de base para el proceso eruptivo del volcán	Bases de datos de parámetros de vigilancia volcánica
3 (T3=T2 +días a semanas)	Confirmar anomalía	IG-EPN	Personal de investigación del IG-EPN	Sismólogo y/o Vulcanólogo de turno del IG-EPN	Confirmar la anomalía y comparación con otros procesos eruptivos previos del volcán	Reunión
4 (T4=T3+5 minutos)	Comunicación de anomalía	IG-EPN	Personal de turno del CENTRO TERRAS del IG-EPN	Sismólogo y/o Vulcanólogo de turno del IG-EPN	Contacto Operador Nacional SGR	Teléfono Radio Troncalizada
4 (T4=T3+5 minutos)	Comunicación de anomalía	IG-EPN	Sismólogo y/o Vulcanólogo de turno del IG-EPN	Sismólogo y/o Vulcanólogo de turno del IG-EPN	Contacto con el Director de Monitoreo	Teléfono Radio Troncalizada
4 (T4=T3+5 minutos)	Comunicación de anomalía	IG-EPN	Director del IG-EPN	Sismólogo y/o Vulcanólogo de turno del IG-EPN	Contacto con el Secretario de Gestión de Riesgos de la SGR	Teléfono Radio Troncalizada
5 (T5=T4+24 horas)	Elaboración informe especial	IG-EPN	Sismólogo y/o Vulcanólogo de turno del IG-EPN	Jefes de área de Vulcanología o Sismología Director	Compilación de la información que describe la anomalía actual y sus posibles escenarios	Ofimática
6 T6=T5	Recomendación de cambio de alerta	IG-EPN	Director del IG-EPN Sismólogo y/o Vulcanólogo de turno del IG-EPN Personal de turno del CENTRO TERRAS del IG-EPN	Jefes de área de Vulcanología o Sismología	Se remite a la SGR (Secretario de Gestión de Riesgos, DMEVA - Director, Sala Nacional - Operador de Turno) la comunicación oficial del proceso eruptivo y el Informe volcánico especial con la recomendación de cambio de alerta y posibles escenarios.	Quipux, correo electrónico

Número actividad o proceso	Actividad o proceso	Institución responsable	Responsable de la actividad	Responsable alternativo de la actividad	Descripción	Medios
7	Evaluar información y sus posibles escenarios	SGR	Comisión Técnica para evaluación de alertas de la SGR (Secretario/Subsecretarios/Asesores Técnicos/ Director de Monitoreo).		El Secretario de Gestión de Riesgos activa Comisión Técnica para evaluación de alertas de la SGR para dar a conocer la información- recomendación del IG- EPN y evaluar la información de los posibles escenarios que puedan desarrollarse ante el cambio significativo de la actividad volcánica	
8	¿Se considera cambio de nivel de alerta?	SGR	Secretaría de Gestión de Riesgos		Del análisis de la información emitida por IG-EPN y la información complementaria emitida por el comité de la SGR, se decide cambiar o mantener el nivel de alerta por actividad volcánica.	Medios electrónicos
9	¿Es necesario activar los sistemas de alarmas?	SGR	Secretario General de Gestión de Riesgos		Se dispone la activación de los sistemas de alerta temprana para comunicar a la población sobre el cambio de nivel de alerta por actividad volcánica.	Radiofrecuencia Medios electrónicos
10	Elaboración y difusión de Resolución de cambio de alerta por actividad volcánica	SGR	Coordinador Jurídico de SGR	Analista de Coordinación Jurídica SGR	Elaboración y difusión interna de la resolución tomando como base el "Informe de situación del Volcán #NombreVolcán" y se socializa al SNDGR a través de DMEVA y DIRCOM-SGR.	Medios electrónicos

Tabla 5. Actividades del flujo de comunicación ante incrementos en los niveles de actividad volcánica

9.2. FLUJO DE COMUNICACIÓN EN CAMBIO DE NIVEL A ALERTA ROJA



Número actividad o proceso	Actividad o proceso	Institución responsable	Responsable de la actividad	Responsable alterno de la actividad	Descripción	Medios
1 (T1)	Vigilar la actividad volcánica	IG-EPN	Personal de turno del CENTRO TERRAS del IG-EPN	Sismólogo y/o Vulcanólogo de turno.	El IG-EPN monitorea de manera permanente la actividad volcánica mediante una red de instrumentos	Redes de monitoreo
2 (T2= T1+ 10 minutos a 1 hora)	Identificar anomalía	IG-EPN	Personal de turno del CENTRO TERRAS del IG-EPN	Personal de investigación del IG-EPN	Observación de la actividad sísmica (10 minutos), 1 hora para observaciones provenientes de información generada por satelitales	Bases de datos de parámetros de vigilancia volcánica
3 (T3= T2 + 10 minutos a 1 hora)	Confirmar anomalía	IG-EPN	Sismólogo y/o Vulcanólogo de turno del IG-EPN	Director IG-EPN	Confirmar la anomalía y comparación con otros procesos anteriores. Se prepara la redacción del IgAllnstante	Reunión
4 (T4=T3)	Comunicación de anomalía y recomendación de alerta roja	IG-EPN	Director del IG-EPN	Sismólogo y/o Vulcanólogo de turno del IG-EPN	Comunicación de la anomalía mediante llamada al Secretario de Gestión de Riesgos de la SGR, Directora de Monitoreo, Sala Nacional, recomendando la declaratoria de alerta roja	Secretario General de Gestión de Riesgos
5 (T5=T4 + 5 minutos)	Proceso información interinstitucional y a la comunidad	IG-EPN	Personal de turno del CENTRO TERRAS del IG-EPN	Sismólogo y/o Vulcanólogo de turno del IG-EPN	Se emite el IgAllnstante con información de la anomalía	Correo electrónico Redes sociales: Facebook, Twitter, Telegram, página web
6	Declaratoria e nivel de alerta roja	SGR	Secretario General de Gestión de Riesgos	Subsecretario General de Gestión de Riesgos	Se declara nivel de alerta roja	Secretario General de Gestión de Riesgos
7 (T6=T5 + 5 minutos)	Recomendación cambio de alerta	IG-EPN	Director IG-EPN	Jefes de área de Vulcanología o Sismología	Se envía la comunicación oficial	Quipux, correo electrónico
8	Activar los sistemas de alerta temprana	SGR	Director/a de Monitoreo de la SGR		Ejecución de "Protocolo para activación de mecanismos de difusión de alerta por eventos peligrosos"	

Número actividad o proceso	Actividad o proceso	Institución responsable	Responsable de la actividad	Responsable alternativo de la actividad	Descripción	Medios
9	Evaluar información y sus posibles escenarios	IG-EPN	Director Vulcanólogo de turno Sismólogo de turno		Comité Científico IG - EPN Reunión de evaluación	
10	Proceso Información Interinstitucional	IG-EPN	Comité Científico Reunión de evaluación		Emite de manera oficial el informe especial con la recomendación para el cambio de alerta por el fenómeno volcánico al SGR.	Quipux Correo
12	¿Se considera cambio de nivel de alerta?	SGR	Secretaría de Gestión de Riesgos	Secretario General de Gestión de Riesgos	Del análisis de la información emitida por IG-EPN, se decide cambiar o mantener el nivel de alerta por actividad volcánica.	Medios electrónicos
13	Elaboración y difusión de Resolución de cambio de alerta por actividad volcánica	SGR	Coordinador Jurídico de SGR	Analista de Coordinación Jurídica SGR	Elaboración y difusión interna de la resolución tomando como base el "Informe de situación del Volcán #NombreVolcán" y se socializa al SGR a través de DMEVA y DIRCOM-SGR.	Medios electrónicos

Tabla 6. Actividades del flujo de comunicación en erupción en curso.

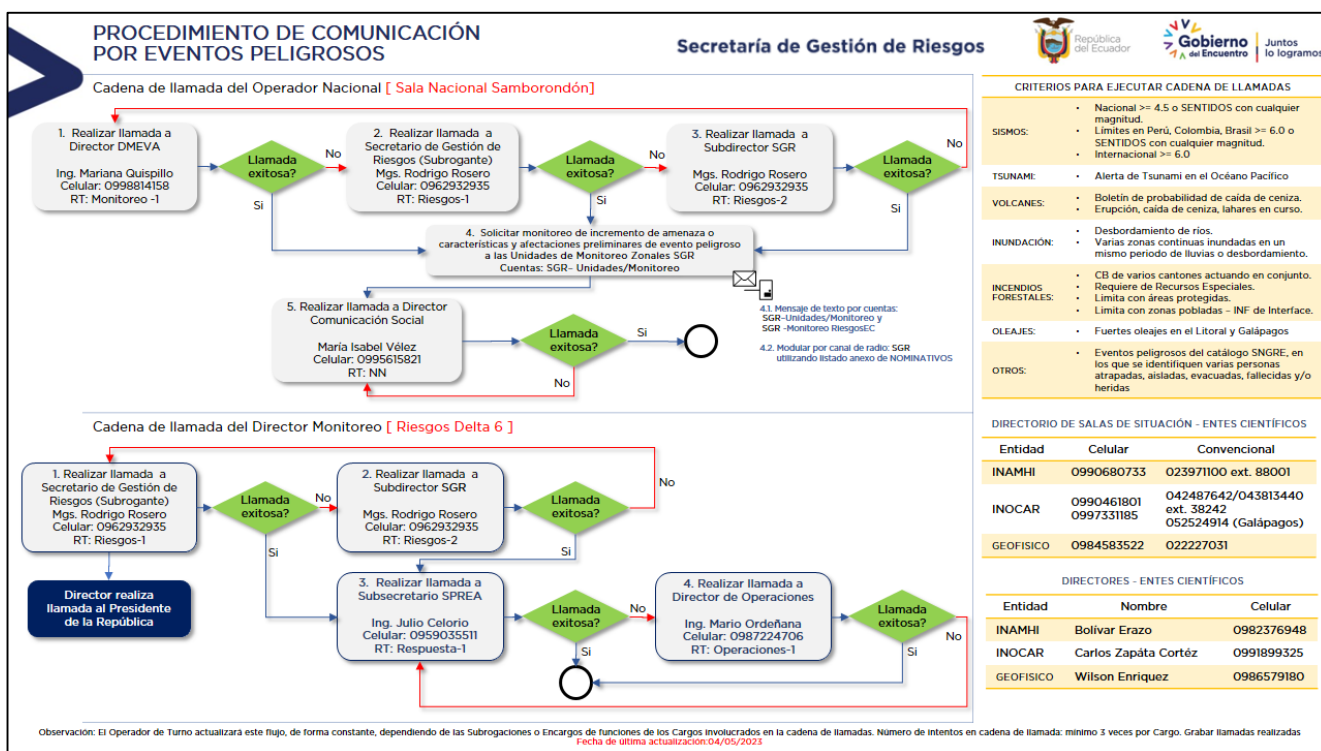
10. FLUJO DE COMUNICACIÓN INSTITUCIONAL

SISTEMAS DE COMUNICACIONES SGR.

La SGR ejecuta una cadena de llamadas, la cual involucra 3 objetivos importantes para la atención de un evento de alto impacto. Durante esta cadena de llamadas se busca:

- Autorizar y emitir alerta a la población a través de los mecanismos disponibles.
- Notificar al Presidente de la República o su delegado sobre la situación a nivel país.
- Activar la respuesta institucional de la SGR y activar a las instituciones del SNDGR documentado en Informes de Situación.

Página Web: <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/informes-de-situacion-actual-por-eventos-adversos-ecuador/>



DIRECTORIO:

Autoridad Principal:	Cargo:	Secretario/ Secretaria de Gestión de Riesgos
	Nombres:	Ing. Cristian Torres.
	Celular:	+593 99 9624474
	Convencional Directo:	+593 42593500 Ext. 4000 Samborondón +593 42593500 Ext. 4040 Quito
	Satelital:	+881632623921
	Correos electrónicos:	secretaria.riesgos@gestionderiesgos.gob.ec
Sala Situacional Principal:	Sala Situacional Samborondón, Edificio Integrado de Seguridad Samborondón (TURNOS ROTATIVOS)	
	Conmutador:	+593 42593500 Ext. 1605
	Celular Técnico de turno:	+593 9670004151

	Skype:	salanacionalguayaquil
	Telegram:	+593 9670004151
	Página:	www.gestionderiesgos.gob.ec
	Correos electrónicos:	saladesituacion@gestionderiesgos.gob.ec sala.nacional@gestionderiesgos.gob.ec
Sala Situacional Back-up:	Sala Situacional Quito, Edificio Integrado de Seguridad Itchimbia, piso 1 (TURNOS ROTATIVOS)	
	Conmutador:	+593 42593500 Ext. 1608
	Skype:	sala.nacional
	Correos electrónicos:	saladesituacion@gestionderiesgos.gob.ec sala.nacional@gestionderiesgos.gob.ec
Otros contactos:	Director de Monitoreo de Eventos Adversos:	Ing. Mariana Quispillo Moyota
	Celular:	+593 998814158
	Satelital:	+881632667906
	Convencional Directo:	+593 42593500 Ext. 1608
	Correo electrónico:	director.monitoreo@gestionderiesgos.gob.ec
	Responsable de Sala de Situación y Monitoreo Samborondón:	Stalin Jiménez Martínez
	Convencional Directo:	+593 42593500 Ext. 1606
	Celular:	+593 987320516
	Correo electrónico:	stalin.jimenez@gestionderiesgos.gob.ec

SISTEMAS DE COMUNICACIONES IG-EPN.

Autoridad Principal:	Cargo:	Director del Instituto Geofísico
	Nombres:	Dr. Mario Ruiz
	Celular:	+593 98 452 4695
	Convencional Directo:	022225655 ext. 7000
	Correo electrónico:	mruiz@igepn.edu.ec
Sala Situacional Principal:	Centro de Procesamiento, Información y Alerta Volcánica y Sísmica (TERRAS) Ladrón de Guevara E11-253, Facultad de Ingeniería Civil 6to. Piso Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional Campus Ing. José Rubén Orellana Quito-Pichincha. (TURNOS ROTATIVOS)	
	Fax:	+593 2 222 70 31
	Convencional Directo:	+593 22227031 / +593 2 2236629
	Conmutador:	+593 2 225655 Ext. 1

	Teléfono satelital:	-----
	Celular Centro TERRAS:	+593 9 84 58 35 22
	Sismólogo de Turno	+593 9 98 85 51 34
	Vulcanólogo de Turno	+593 9 84 58 35 33
	Skype:	monitoreo_ig
	Facebook:	@InstitutoGeofísico
	Twitter:	@IGecuador
	Telegram:	<i>Sismos&Volcanes</i> /GEPNReportescanal
	Página:	www.igeqn.edu.ec
	Correos electrónicos:	ig@igeqn.edu.ec sismologos@igeqn.edu.ec vulcanologia@igeqn.edu.ec
Otros contactos:	Jefe Área de Sismología	Dra. Mónica Segovia
	Celular:	+593 9 96 43 97 66
	Convencional Directo:	02 222 56 55 ext. 7024
	Correos electrónicos:	msegovia@igeqn.edu.ec
	Jefe área de Vulcanología	Msc. Patricia Mothes
	Celular:	+593 991374911
	Correos electrónicos:	pmothes@igeqn.edu.ec
	Radio frecuencia:	Geofísico / 142.125141.125

11. REFERENCIAS

- Alvarado, A., Ruiz, M., Mothes, P., Yepes, H., Segovia, M., Vaca, M., Ramos, C., Enríquez, W., Ponce, G., Jarrín, P., Aguilar, J., Acero, W., Vaca, S., Singaicho, J. C., Pacheco, D. & Córdova, A. (2018). Seismic, volcanic, and geodetic networks in Ecuador: Building capacity for monitoring and research. *Seismological Research Letters*, 89(2A), 432-439.
- Bernard, B., Battaglia, J., Proaño, A., Hidalgo, S., Vásconez, F., Hernandez, S., & Ruiz, M. (2016). Relationship between volcanic ash fallouts and seismic tremor: Quantitative assessment of the 2015 eruptive period at Cotopaxi volcano, Ecuador. *Bulletin of Volcanology*, 78(11), 80. <https://doi.org/10.1007/s00445-016-1077-5>.
- Bernard, B., Ramón, P., García, L., Hernández, S., Vásconez, F. J., Viracucha, G., & Hidalgo, S. (2022). Volcanic event management in the Galápagos Islands, Ecuador. *Volcanica*, 5(1), 209-225.
- Biass, S., Bonadonna, C. (2011). A quantitative uncertainty assessment of eruptive parameters derived from tephra deposits: the example of two large eruptions of Cotopaxi volcano, Ecuador. *Bull Volcanol* 73, 73-90. <https://doi.org/10.1007/s00445-010-0404-5>
- Biass, S., Frischknecht, C., & Bonadonna, C. (2012). A fast GIS-based risk assessment for tephra fallout: the example of Cotopaxi volcano, Ecuador-Part II: vulnerability and risk assessment. *Natural hazards*, 64(1), 615-639.
- Gregg, C., Houghton, B. & Ewert, J. (2015). *Volcano warning systems: Chapter 67*.
- Hall, M. L., Mothes, P.A., Samaniego P., et al (2004) Mapa Regional de los Peligros Volcánicos Potenciales del Volcán Cotopaxi – Zona Sur.
- Hall, M., & Mothes, P. (2008). The rhyolitic-andesitic eruptive history of Cotopaxi volcano, Ecuador. *Bulletin of Volcanology*, 70(6), 675-702. <https://doi.org/10.1007/s00445-007-0161-2>.
- Mothes, P., Pedro Espín, Minard L. Hall, et al (2016) MAPA REGIONAL DE PELIGROS VOLCÁNICOS POTENCIALES DEL VOLCÁN COTOPAXI, ZONA NORTE
- Newhall, C. G., & Self, S. (1982). The volcanic explosivity index (VEI) an estimate of explosive magnitude for historical volcanism. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 87(C2), 1231-1238. <https://doi.org/10.1029/JC087iC02p01231>.
- Pistolesi, M., Rosi, M., Cioni, R., Cashman, K. V., Rossotti, A., & Aguilera, E. (2011). Physical volcanology of the post-twelfth-century activity at Cotopaxi volcano, Ecuador: Behavior of an andesitic central volcano. *Geological Society of America Bulletin*, 123(5-6), 1193-1215. <https://doi.org/10.1130/B303011>.
- Ramírez, J., Vásconez, F. J., López, A., Valencia, F., Quilumba, F., Vásconez-Müller, A., Hidalgo, S. & Bernard, B. (2022). Impact of volcanic ash from Cotopaxi-2015 and Tungurahua-2016 eruptions on the dielectric characteristics of suspension insulators, Ecuador. *Journal of Applied Volcanology*, 11(1), 7.
- Ramón, P., Vallejo, S., Mothes, P., Andrade, D., Vásconez, F. J., Yepes, H., Hidalgo, S. & Santamaría, S. (2021). Instituto Geofísico-Escuela Politécnica Nacional, The Ecuadorian Seismology and Volcanology Service. *Volcanica*, 4(S1), 93-112.
- Tadini, A., Azzaoui, N., Roche, O., Samaniego, P., Bernard, B., Bevilacqua, A., Hidalgo, S. & Gouhier, M. (2022). Tephra fallout probabilistic hazard maps for

Cotopaxi and Guagua Pichincha volcanoes (Ecuador) with uncertainty quantification. Journal of Geophysical Research: Solid Earth.

- Vásconez F., Sierra D., Almeida M., et al (2017) Mapa regional de peligros volcánicos potenciales del potencial del volcán Cotopaxi, Zona Oriental.
- Referencia Glosario de términos SGR 2020.
- Manual del COE 2017.
- Cashman, K. y Rust, A. (2016). Introducción: Parte 2: Ceniza volcánica: Generación y variaciones espaciales. En Volcanic Ash: Hazard Observation (págs. 5-22). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100405-0.00002-1>
- <https://www.igeppn.edu.ec/publicaciones-para-la-comunidad/39-los-peligros-volcanicos-asociados-con-el-cotopaxi/file>

12. ANEXOS

12.1. Anexo 1. Configuración de la red de vigilancia del volcán Cotopaxi en abril 2023

El número, tipo y distribución de instrumentos puede variar en función las necesidades de la vigilancia y del impacto que pudiera ocurrir durante el proceso eruptivo, u otros factores externos (ej. Vandalismo, tormentas eléctricas, etc.)

La distribución de las redes de monitoreo dentro de las diversas técnicas de vigilancia con las que cuenta el volcán Cotopaxi a la fecha de la firma de este protocolo se presenta en el siguiente mapa:

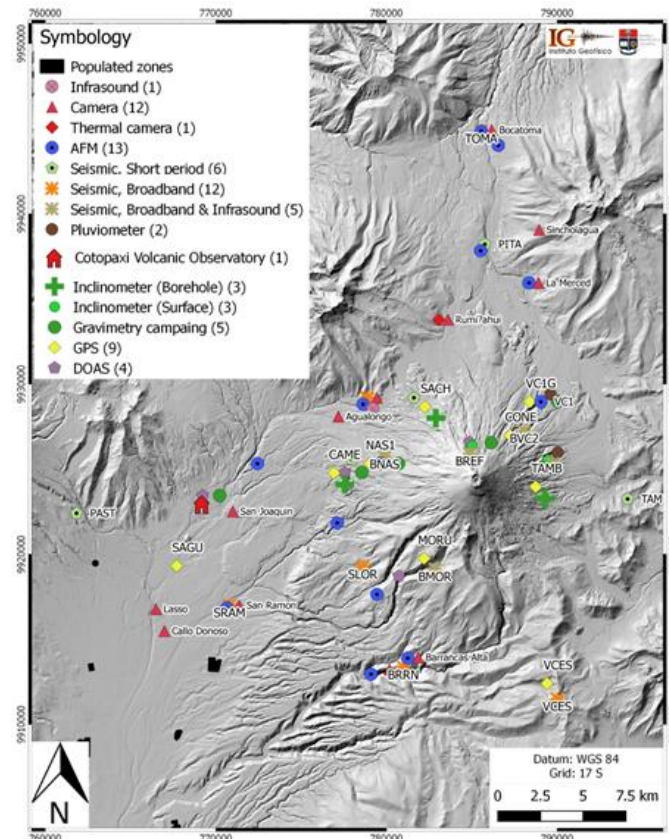


Ilustración 8. Mapa de la red de vigilancia del volcán Cotopaxi (Fuente: IG-EPN)

Una característica importante a considerar es la respuesta de los sensores instalados directamente sobre el volcán (instrumentos In Situ) y aquellos dispositivos disponibles dentro de la vigilancia satelital (constatación de satélites como Sentinel 1 o Sentinel 5P, que analizan datos radar o de concentraciones de gases volcánicos, respectivamente dentro de grandes regiones). Como parte del apoyo a la red de vigilancia, se han formado:

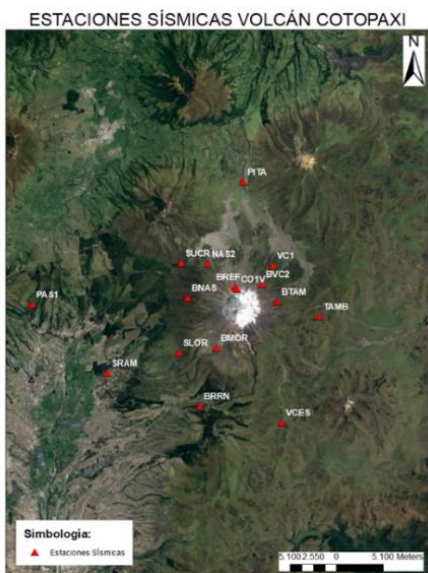
- **Observadores volcánicos:** son personas voluntarias capacitadas para informar de manera oportuna al IG- EPN si existe caída de ceniza en donde se encuentran ubicados, a su vez, realizan mediciones de volumen por medio de la instrumentación (cenizómetro) creada para esta actividad y remiten al instituto científico técnico las muestras de lo recolectado de manera periódica para posteriores análisis.
- **Vigías:** realizan sus actividades en coordinación con el instituto técnico científico, el SIS ECU911 y la SGR, éstos se encuentran distribuidos en las parroquias cercanas al volcán, quienes remiten información al instante e in situ de las condiciones físicas

del volcán a través de los medios de comunicación establecidos para dicha actividad.

Técnica de vigilancia volcánica	Tipo de red	Instrumentación
Sismicidad	In situ	-Estaciones sísmicas banda ancha -Estaciones sísmicas de período corto
Infrasonido	In situ	-Microbarómetro -Micrófono
Geodesia	In situ	Sistemas de Posicionamiento Global Continuos (cGPS) Inclinómetros
	Sensores remotos	-Sentinel 1 - imágenes SAR -TerraSAR-X - imágenes SAR -CosmoSKYMED - imágenes SAR
Geoquímica	In Situ	DOAS MULTIGAS
	Móvil	MULTIGAS DOAS
	Sensores remotos	-TROPOMI (Sentinel 5) -OMI -OMPS
Detección de Lahares	In Situ	-AFM -Sismómetros de banda ancha -Cámaras visuales
Observación visual: gases y ceniza	In Situ	Cámaras de vigilancia diurna/nocturna Cámara infrarroja
	Sensores remotos	FIRMS GOES 16 MIROVA

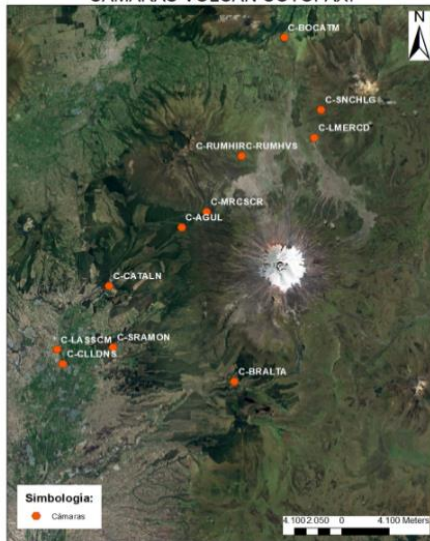
Tabla 7. Listado de estaciones de las redes de vigilancia en el Volcán Cotopaxi.

Detalle de instrumentación, cabe recalcar que esta instrumentación es la que al momento se utiliza y podría aumentar o disminuir en función de las necesidades de monitoreo del volcán:



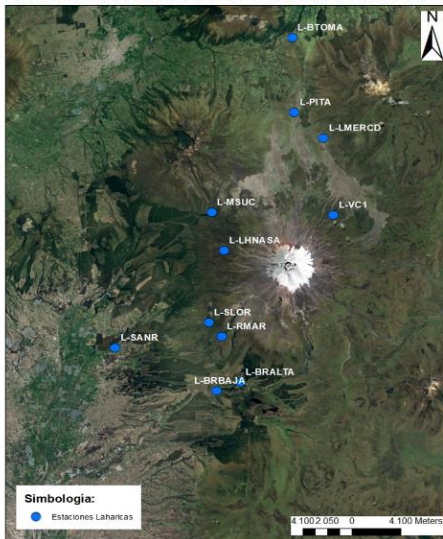
ESTACIONES SÍSMICAS		
esta_code	esta_nombre	Distancia Km
BMOR	MORURCO	7,170
BNAS	NASA	6,135
BREF	REFUGIO COTOPAXI	0,907
BRRN	BARRANCA ALTA	13,844
BTAM	TAMBO	4,011
BVC2	VOLCÁN COTOPAXI 2	2,164
COIV	REFUGIO	0,685
NAS2	NASA	4,782
PITA	PITA	11,944
SLOR	SAN LORENZO	10,022
SRAM	SAN RAMON	17,576
SUCR	MARISCAL SUCRE	7,415
TAMBO	TAMBO	8,934
VC1	VOLCAN COTOPAXI 1	4,258
VCES	EL MORRO (COTOPAXI)	15,483
PAS1	PASTOCALLE	23,194

CÁMARAS VOLCÁN COTOPAXI



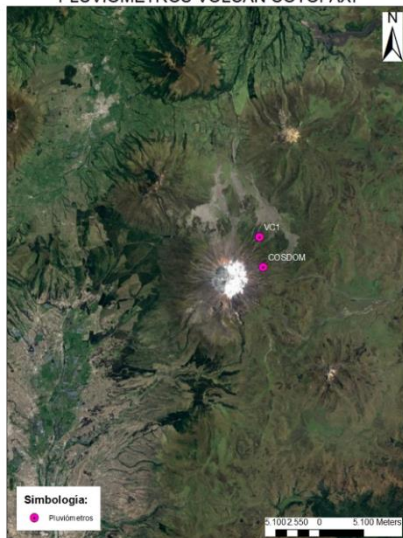
CÁMARAS		
esta_code	esta_nombre	Distancia Km
C-SRAMON	SAN RAMON	17,576
C-SNCHLG	SINCHOLAGUA	12,526
C-AGUL	AGUALONGO	9,091
C-BOCATM	BOCATOMA	18,685
C-BRALTA	BARRANCA ALTA	13,249
C-CATALN	CATALINA - SAN JOAQUIN	15,726
C-CLLDNS	CALLO-DONOSO	22,107
C-LASSCM	LASSO	21,937
C-LMERC	LA MERCED	9,925
C-MRCSR	MARISCAL SUCRE	7,415
C-RUMHIR	RUMIÑAHUI TERMICA	8,819
C-RUMHVS	RUMIÑAHUI NORMAL	8,819

ESTACIONES LAHARICAS VOLCÁN COTOPAXI



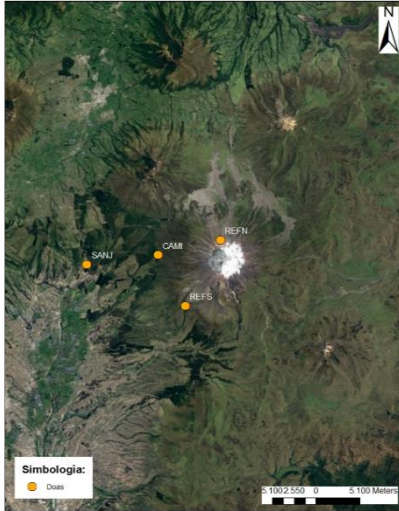
LAHARICAS (AFM)		
esta_code	esta_nombre	Distancia Km
L-BRBAJA	BARRANCA BAJA	14,73
L-VC1	VOLCAN COTOPAXI 1	4,27
L-BTOMA	TOMA-BOCA	18,68
L-PITA	PITA LAHARES	11,94
L-LHNASA	NASA	5,81
L-MSUC	MARISCAL SUCRE	7,37
L-RMAR	RANCHO MARÍA	10,27
L-SANR	SAN RAMÓN	17,49
L-SLOR	SAN LORENZO	9,96
L-BRALTA	BARRANCA ALTA	13,25
L-LMERC	LA MERCED	9,94

PLUVIÓMETROS VOLCÁN COTOPAXI



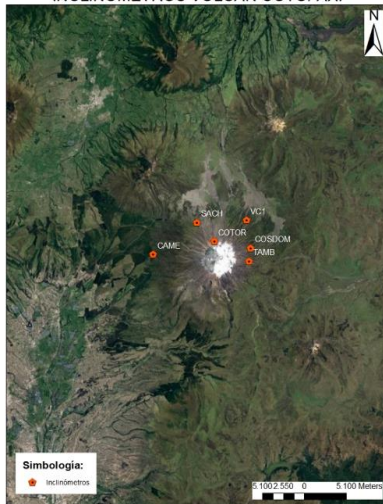
PLUVIÓMETROS		
esta_code	esta_nombre	Distancia Km
COSDOM	LAGUNA SANTO DOMINGO	3,82
VC1	VOLCAN COTOPAXI PLUVIOMETRO	4,26

DOAS VOLCÁN COTOPAXI



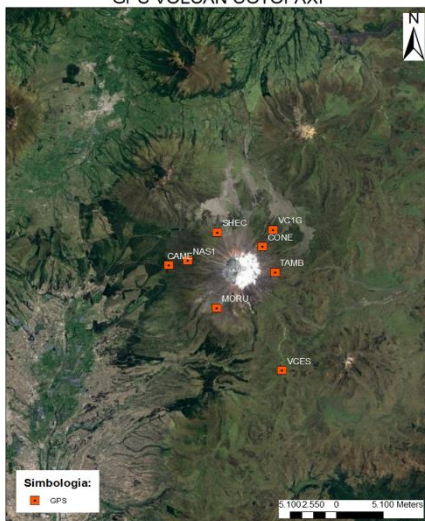
DOAS		
esta_code	esta_nombre	Distancia Km
CAMI	CAMI COTOPAXI	8,30
REFN	REFUGIO NORTE - VOLCÁN COTOPAXI	0,91
REFS	REFUGIO SUR - VOLCÁN COTOPAXI	9,12
SANJ	SAN JOAQUIN	16,67

INCLINÓMETROS VOLCÁN COTOPAXI



INCLINÓMETROS		
esta_code	esta_nombre	Distancia Km
COTOR	COTOPAXI REFUGIO	0,71
VC1	COTOPAXI VC1	4,17
SACH	COTOPAXI SACHA	3,68
CAME	CAME	8,29
TAMB	COTOPAXI TAMBO	4,26
COSDOM	LAGUNA SANTO DOMINGO	3,82

GPS VOLCÁN COTOPAXI



GPS		
esta_code	esta_nombre	Distancia Km
TAMB	TAMBO	4,26
MORU	MORURCO	7,19
CONE	CONE VC2	2,25
SHEC	SACHA	3,68
CAME	CAME COTOPAXI	8,29
NAS1	NASA	6,13
VC1G	VC1	4,25
VCES	VCES	14,61

Tabla de vulnerabilidades y limitaciones de la red de vigilancia

El volcán Cotopaxi cuenta con una red de vigilancia que se extiende hasta unos 23 km de distancia que sirve para el monitoreo de los parámetros del comportamiento del volcán (Figura No. 01). Esta red de vigilancia puede dividirse en estaciones cercanas o del anillo interno y estaciones lejanas:

- < 8 km de distancia del cráter: estaciones cercanas
- > 8 km de distancia del cráter: estaciones lejanas

En el caso de que ocurra una erupción que genere flujos piroclásticos, las estaciones ubicadas dentro del anillo interno podrían verse afectadas seriamente y dejar de transmitir información, ocasionando incertidumbres en el monitoreo y seguimiento de la erupción.

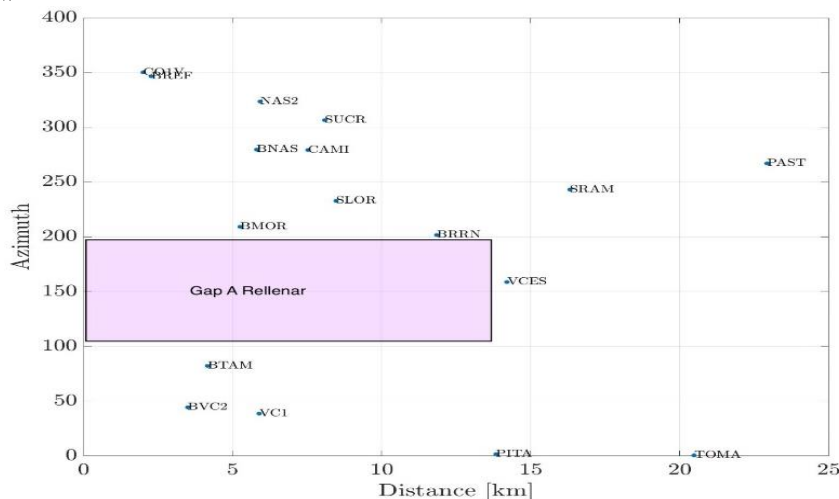


Ilustración 9. Distancia y dirección con respecto al cráter de las estaciones de la red de sísmica del Volcán Cotopaxi.

A continuación, se describe el propósito, la tasa de información que manejan, ventajas y desventajas de cada una de las redes que se usan, así como las actividades que se realizan para la vigilancia del volcán Cotopaxi y como sus vulnerabilidades específicas.

Sistema	Observaciones	Tasa de registro	Tiempo de procesamiento	Ventajas	Desventajas	Vulnerabilidades específicas
Red sísmica	Se registra eventos internos en el volcán	< 1 s	Automático: - 3 min; Manual - localización: 7 min; Manual clasificación: 3 d	(1) La clasificación espectral permite identificar si ocurren fracturas, movimientos de fluidos, tránsito de lahares. En todos los casos se puede diferenciar intensidades.	(1) Requiere estar cercana a la fuente (en los flancos del volcán) para registrar eventos pequeños (la mayoría en Cotopaxi). (2) Las estaciones de período corto están limitadas en frecuencia y amplitud.	(1) Las caídas de ceniza pueden cubrir los paneles y limitar la transmisión de registros.
Red de infrasonido	Se registra perturbaciones de presión en la atmósfera	< 1 s	Automático: - 3 min; Manual - análisis: 10 min	(1) Permite identificar explosiones	(1) La identificación depende de las condiciones atmosféricas	(1) Para Cotopaxi, tanto vientos como temperatura a nivel del cráter y posiblemente topografía limitan la capacidad de registro de eventos tipo 2015 y 2022
Red lahares	Se registra el tránsito de flujos de lodo y lahares	< 1s (sin transmisión)	Automática: 1 m		(1) Requiere estar cercana a la fuente (- 100 m) para registrar el tránsito del flujo, con el riesgo implícito de perder los equipos.	(1) Las caídas de ceniza pueden cubrir los paneles y limitar la transmisión de registros.

Sistema	Observaciones	Tasa de registro	Tiempo de procesamiento	Ventajas	Desventajas	Vulnerabilidades específicas
Red de gases	Se registra desde tierra la generación de gases	- 15 min	Manual: 1 - 2 d	(1) Permite identificar el tipo de gases (SO ₂ es de origen exclusivamente volcánico) y cuantificarlos.	(1) No se registran datos durante la noche. (2) Los registros son afectados por la nubosidad y por la presencia de ceniza en la atmósfera, produciendo sub y sobre estimaciones de los flujos de SO ₂ . La velocidad y dirección del viento es un factor que no se puede medir a nivel de la pluma de gas y genera una variabilidad en las medidas que puede llegar hasta un 30%.	(1) Las caídas de ceniza pueden cubrir los paneles y limitar la transmisión de registros.
Red GPS / inclinómetros	Se registra desplazamiento muy lento de la superficie	15 s	Manual: 2 d	(1) Tiene mejor resolución que deformación satelital		(1) Las caídas de ceniza pueden cubrir los paneles y limitar la transmisión de registros.
Red Satelital	Se registra emisiones de gases, ceniza, alertas térmicas, y cambios lentos de la superficie terrestre	Gas - ceniza 10 min (retraso 20 - 30 min); Térmica s 12 h; Deformación 11 d	Gases: Manual 10 - 30 min; Térmica: automático; Deformación: Manual 3 d	(1) Es independiente del funcionamiento del IG-EPN. (2) Deformación (Insar): radar no está afectado por nubosidad. (3) Funcionamiento 24/7.	(1) Existen efectos atmosféricos adversos que requieren ser corregidos en el procesamiento. (2) El IG-EPN no tiene control sobre estos equipos.	(1) Dependiente del acceso a Internet; (2) Dependiente del funcionamiento de servidores externos.
Red de cámaras fijas	Se registran imágenes del volcán tanto en el rango visual como infrarrojo.	Rango visual < 3 min; rango infrarrojo o -1 min.	Infrarrojo: Manual: 1 - 2 d	(1) Las imágenes térmicas se registran también en la noche.	(1) Influye la nubosidad.	(1) Las caídas de ceniza pueden cubrir los paneles y limitar la transmisión de registros.
Red de cenizómetros	Se cuantifica la masa de los depósitos y se determina la tipología.	7 - 30 d	Manual: 3 - 4 d	(1) Permite conservar muestras pequeñas de ceniza hasta el mantenimiento sin efecto de removilización por lluvia o viento	(1) Frecuencia baja (días a semanas) del muestreo; (2) Contaminación posible por animales y vegetación; (3) sin transmisión de datos	(1) Vandalismo
Vuelos tripulados	Se mide y determina tipo de gases, se registra imágenes térmicas	7 - 15 d	Manual: 1 - 2 d	(1) Se tiene medidas directas en la pluma de gas.		(1) La realización de los vuelos depende de condiciones climáticas
Vuelos de drones	Se registran imágenes del volcán tanto en el rango visible como infrarrojo.	1 - 30 d	Manual: 1 - 2 d	(1) Permite hacer observaciones directas del cráter con distancia de seguridad; (2) permite medir la temperatura del cráter y de los campos fumarólicos; (3) permite modelizar la morfología del cráter	(1) No funciona si el volcán está nublado; (2) Necesita acercarse a menos de 5 km del cráter (zona de balísticos en caso de erupción VEI≥2); (3) Tiempo de vuelos individuales limitado a 15-20 minutos	(1) Vientos superiores a 10 m/s y lluvia; (2) Acceso al volcán
Red de transmisión	Se transmite en tiempo real la información de estaciones en tierra	< 1 s				(1) Impacto de rayos es estaciones y/o repetidoras. (2) Caídas de ceniza sobre paneles solares. (3) Vandalismo y/o robo de equipos. (4) Daños provocados

Sistema	Observaciones	Tasa de registro	Tiempo de procesamiento	Ventajas	Desventajas	Vulnerabilidades específicas
						por animales.

Unidades: s (segundos), min (minutos), h (horas), d (días).

Tabla 8. Características, ventajas, desventajas y vulnerabilidades de las redes y actividades para la vigilancia

Vulnerabilidades sistémicas

Se deben considerar las siguientes vulnerabilidades que poseen todas estas redes y actividades antes mencionadas:

- Un terremoto en las cercanías a Quito puede dejar fuera de operación el edificio del IG-EPN (semanas a meses). La atención del Instituto, se enfocaría en los daños en la capital.
- Un terremoto en la sierra centro; puede provocar caídas de repetidoras y deslizamientos en caminos usados en mantenimiento de estaciones, retrasando los procesos de mantenimiento correctivo y preventivo.
- Interrupción de servicios de internet que limite la capacidad de transmitir información, especialmente durante el desarrollo de un episodio importante.
- Generación de una erupción tipo VEI 2, con formación de flujos piroclásticos, que derritan parcialmente el glaciar y afecte a un grupo local de estaciones.
- Generación de una erupción mayor (VEI ≥ 3) con flujos en diferentes direcciones que elimine las estaciones cercanas. El anillo sísmico externo está formado especialmente por estaciones de período corto, por lo que la calidad de información disminuiría y no necesariamente sería comparable con datos precedentes.
- Problemas económicos: Puede provocar incumplimiento en servicios contratados, como el servicio satelital, limitando el arribo de datos. También puede generar malestar en el personal de vigilancia (por ejemplo, Centro Terras), decayendo el grado de atención a los parámetros de observación.
- Cambios de autoridades como alcaldes, prefectos, gobernadores, funcionarios de la SGR, y otros; concedores del proceso eruptivo y de estrategias a implementarse, pueden limitar la comunicación IG-EPN - autoridades frente a una erupción importante, aunque en principio esto no afecta al sistema de vigilancia.
- Otros factores externos como vandalismo, tormentas eléctricas, conmoción social pueden impactar la vigilancia.

12.2. Anexo 2. Sectores potencialmente expuestos a peligroso proximales en un nivel de alerta naranja.

Provincia	Cantón	Parroquia	Localidad
Napó	Archidona	Archidona	Hacienda Ami
			Hacienda Chictapamba
			Hacienda El Tambo
			Hacienda El Valle
			Hacienda Yanahurco
Cotopaxi	Latacunga	Mulaló	Albergue Cotopaxi
			Ashingua
			Barrancas
			Canchicera
			Caspi
			Caspi (Control)
			Colcas
			Cruz Pata
			Decoflor (Hacienda San Agustín Del Bosque)
			Gualaya
			Hacienda Alto Yerovi
			Hacienda Baños
			Hacienda Elitio De Troya
			Hacienda La Rinconada
			Hacienda Los Nevados
			Hacienda San Agustín De Callo
			Hacienda San Bartolo
			Hacienda San Elías
			La Carbonería
			La Ovejera
			Llanuras De Callo Grande
			Macalo Chico
			Macalo Grande
			Mariscal Sucre
			Pucunero
			Rancho María
			Refugio José Rivas
			Salatín
			San Agustín De Callo
			San Bartolo
			San Elías
			San Joaquín
			San Ramón
Santa María			
Ticatín			
San Francisco			
San Juan De Pastocalle	San Francisco Del Chasquí		
	Santa Rita		
	Parque Nacional Cotopaxi		
Pichincha	Mejía	Machachi	Proaño
			San José De Pedregal

Los sectores detallados son referenciales conforme a la información de la zonificación indicada en siguiente enlace:

https://alertasecuador.gob.ec/img/Peligros_proximales.zip

Amenaza Volcánica realizada con base al mapa de peligro del IG-EPN actualizado a marzo 2023 y sectores poblados INEC 2014. Los GAD Cantonales en conjunto con las instituciones pertinentes deberán ser revisados y/o actualizados con la información local, conforme a la situación en territorio.

12.3. Anexo 3. Sectores potencialmente expuestos a peligro proximal en un nivel de alerta roja.

Provincia	Cantón	Parroquia	Localidad
Cotopaxi	Latacunga	Mulaló	Albergue Cotopaxi
			La Carbonería
			La Ovejería
			Mariscal Sucre
			Rancho María
			Refugio José Rivas
			Albergue Cotopaxi
			Ashingua
			Barrancas
			Canchicera
			Caspi
			Caspi (Control)
			Colcas
			Cruz Pata
			Decoflor (Hacienda San Agustín Del Bosque)
			Gualaya
			Hacienda Alto Yerovi
			Hacienda Baños
			Hacienda Elitio De Troya
			Hacienda La Rinconada
			Hacienda Los Nevados
			Hacienda San Agustín De Callo
			Hacienda San Bartolo
			Hacienda San Elías
			La Carbonería
			La Ovejería
			Llanuras De Callo Grande
			Macalo Chico
			Macalo Grande
			Mariscal Sucre
			Pucunero
			Rancho María
		Refugio José Rivas	
		Salatilin	
San Agustín De Callo			
San Bartolo			
San Elías			
San Joaquín			
San Ramón			
Santa María			
Ticatilin			
		San Juan De Pastocalle	San Francisco
			San Francisco Del Chasqui
			Santa Rita
Napo	Archidona	Archidona	Hacienda Ami
			Hacienda Chictapamba
			Hacienda El Tambo
			Hacienda El Valle
Pichincha	Mejía	Machachi	Hacienda Yanahurco
			Parque Nacional Cotopaxi
Cotopaxi	Latacunga	Aláquez	Proaño
			San José De Pedregal
			Colaya De Ávila Pazmiño
			El Puente
			El Tingo
			Hacienda De Lourdes
			Laigua De Bellavista
			Laigua De Maldonado
		Laigua De Vargas	
		Santa Mónica	
		Guaytacama	Guaytacama
			Agua Clara
		Joseguango Bajo	Barrio San Francisco
			Hacienda Las Margaritas

Provincia	Cantón	Parroquia	Localidad
			Hacienda San Francisco
			Hacienda San Juan
			Hacienda San Patricio
			Hacienda Yerovi
			Tandalivi
		Latacunga	Bellavista
			Colaisa
			La Calera
			La Pradera
			Laigua Santo Domingo
			Los Sauces
			Salache Rumipamba
			San Francisco
			San Rafael
			San Silvestre
			Tiobamba
		Mulaló	Barrio Callo Mancheno
			Callo Boyero
			Callo Mancheno
			Hacienda Campo Lindo
			Hacienda Hato Verde
			Hacienda Las Retamas
			Hacienda Rumipamba San Isidro
			Hacienda San Eduardo
			Hacienda Santa Anita
			Hacienda Santa María De Limache
			Hacienda Santa Susana
			Mulaló
			Rancho Saquimala
			Rumipamba De Villacis
		Rumipamba San Isidro	
		Rumipamba-Espinoza	
		San Antonio De Limache	
		Tolugche	
		San Juan De Pastocalle	Cuilche Progreso
			Hacienda Antonio José
			Hacienda Rafaelito
			La Moya
			Rumipamba
		Tanicuchi	San Francisco Del Chasqui
			El Progreso
			Hacienda Elsa
			Indulac
			La Avelina
			Lasso
			Piedra Colorada
			Playa De Lasso
Rio Blanco Alto			
Pansaleo	Nagsiche		
	Panzaleo		
San Miguel	Chipualo		
	Rumipamba De La Universidad		
Napó	Tena	Ahuano	Salache Barbapamba
			Barrio Balsa Chicta
			Barrio Galapagos
			Barrio Nuevo Horizonte
			Barrio Pacaychicta
			Barrio Pangayacu
			Barrio San Venancio
			Campococha
			Colonia Simón Bolívar
			Comunidad El Zancudo
			Isla Anaconda
			Isla Franciscana
			Isla San Rafael
			La Punta
			La Punta De Ahuano
			Pusuno Bajo

Provincia	Cantón	Parroquia	Localidad
		Puerto Misahuallí	Muyuna
			Pucachipta
			San Pedro De Auca Parte
			Unión Venecia
			Venecia Derecha
		Puerto Napo	Alto Atahualpa
			Asociación San Pablo De Nuevo Oriente
			Atahualpa
			Balsayacu
			El Ingles
			Isla Del Oriente
			Las Minas
			Quilloyacu
			San Carlos
			Sindy
		Yutsupino	
		Tálag	5 De Enero
			Bajo Talag
			Centro Talag
			El Cando
			Ichurcu
			Ilayacu
			Jatunyacu
			Limonchicta
			Nueva Jerusalem
			Pumarumi
			San Carlos
San Luis			
Shiguayacu			
Zapallo			
Pichincha	Distrito Metropolitano De Quito	Alangasí	
		Conocoto	
		Guangopolo	
		Tumbaco	
	Mejía	Machachi	
		Rumipamba	
	Rumiñahui	Sangolquí	
Tungurahua	Baños De Agua Santa	Lligua	
		Ulba	
	Patate	Patate	

Los sectores detallados son referenciales conforme a la información de la zonificación indicada en siguiente enlace:

https://alertasecuador.gob.ec/img/Peligros_proximales.zip

Amenaza Volcánica realizada con base al mapa de peligro del IG-EPN actualizado a marzo 2023 y sectores poblados INEC 2014. Los GAD Cantonales en conjunto con las instituciones pertinentes deberán ser revisados y/o actualizados con la información local, conforme a la situación en territorio.

12.4. Anexo 4. Formato del Informe IG al Instante.



Instituto Geofísico



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

Campus Ing. José Rubén Orellana

IGAl instante Informativo VOLCÁN COTOPAXI N° 2023-041

Quito, lunes 10 de abril de 2023

Desde las 05h00 TL, a través de las cámaras de vigilancia del volcán Cotopaxi, se observa una columna de ceniza que alcanza 1100 m sobre la cumbre y se dirige hacia el oeste. Esta emisión puede ser observada en imágenes satelitales (GOES-16). La nube tiene contenido bajo de ceniza y podría generar caída de ceniza en las zonas ubicadas al Sur-oeste del volcán. Este fenómeno ha sido cada vez más frecuente dentro del actual periodo eruptivo. Se recomienda tomar las medidas pertinentes y recibir información de fuentes oficiales. El IG-EPN se mantiene vigilando el evento e informará oportunamente en caso de detectar cambios en los parámetros de monitoreo.




Foto: Cámara Rumiñahui. Emisión de vapor y poca ceniza. 10/04/2023 06h51 TL.

El Instituto Geofísico se encuentra monitoreando y cualquier novedad será informada.

VALLEJO S, LEMA V
Instituto Geofísico
Escuela Politécnica Nacional

Anexo 5. Tiempos de arribos aproximados

- Tiempo de Arribo Aproximadamente Drenaje Río Cutuchi

Al sur de Latacunga las condiciones del Río Cutuchi son distintas. En primer lugar, ya están unificados todos los aportes de los ríos Aláquez y el Pumacunchi que concentran en un solo cauce, el del Río Cutuchi. Dado que el cauce está mayormente profundo, las velocidades pueden tener mayor variación. Sin embargo, existen ocasionalmente orillas bajas donde el flujo puede rebosar del cauce y extenderse lateralmente; por ejemplo, en Rumipamba antes de Salcedo, el flujo fácilmente ha salido del cauce frecuentemente e inundado la planicie de "Rumipamba de las Rosas", así como una mayor parte del asentamiento urbano de Salcedo. Sin embargo, después que se entra el cañón del río Cutuchi en el sector sur de Panzaleo, hay poca oportunidad de salir de este tremendo barranco. Debido a la naturaleza confinada del cañón del Río Cutuchi ahí, las velocidades pueden mantenerse mayormente altas (10-15 m/s), por ejemplo en la sección entre Nagsiche a Guapante. Valle abajo entre Guapante y Quillán se encuentra un tramo del río sumamente estrecho y confinado y nuevamente entre Quillán y Patate (Puente Clementina). Al entrar al valle de Patate, en el sector de Guadalupe, se ensancha el cauce, lo que resulta en una disminución de la velocidad. Sin embargo, dado que seguramente hay una enorme incorporación de muchas rocas y materiales preexistentes en el flujo (proceso llamado "bulking"), se mantienen volúmenes importantes.

Tabla: Parámetros del Flujo Lahárico del 1877

Vale recordar que una velocidad de 20 m/s (metros/segundo) corresponde a una velocidad de 72 km/h (kilómetros/hora); 15 m/s = 54 km/h; 10 m/s = 36 km/h y 5 m/s = 18 km/h.

A./ Cortes Cercano Del Volcán Y Con Pendientes Fuertes								
Quebrada/ Río	Nombre del sitio (UTM)	Distancia desde el Cráter (km)	Calado del flujo (m)	Área de perfil del cauce con huella del lahar de 1877 (m2)	Caudal pico de lahar (m3/s)	Tiempo aprox. de arribo (min)	Velocidades (m/s)	Posibles Áreas de Seguridad
1./ Río Cutuchi	Bocatoma (717252)	14	28	3458	57000	15	16	H. San Joaquin
2./Río Cutuchi	Cruce Camino (707245)	15	20	3242	47640	16	15	H. San Joaquín
3./Pucu Huaicu/Cutuchi	(717238)	13	10	800	7900	15	10	Caspi/San Agustín
4./Cutuchi	Hda. San Joaquín-Colcas	17	13	5000	50000	19	10 (la velocidad disminuye debido a la anchura del cauce y la menor pendiente)	Caspi/S. Agustín
5./Q. San Diego	Ticatilin Alta (782176)	10	12	510	10200	8	20	Lomas altas cercanas
6./Q. Sapuimala	San Ramón (716179)	18	17	1000	18000	16	17	San Agustín; Macala Grande
7./Q. Burrohuac U	Ticatilin Bajo (745168)	17	11	900	12000	14	13	H. San Elías
8./Q. Barrancas	Hda. Barrancas (774132)	20	7	500	6500	18	13	Hda Barrancas, Langualó Grande
9./Q. Aláquez	Desembocadura del cañón- Hda Colaya (685058)	30	5	1200	6100	50	5	Aláquez, Tandaleví

B./ Corte Distante Del Volcán Y Con Pendientes Menores								
Quebrada/Río	Nombre del sitio (UTM)	Distancia desde el Cráter (km)	Calado del flujo (m)	Área de perfil del cauce con huella del lahar de 1877 (m ²)	Caudal pico de lahar (m ³ /s)	Tiempo aprox. de arribo (min)	Velocidades (m/s)	Posibles Áreas de Seguridad
10./Río Cutuchi	Hda. San Agustín de Callo (684198)	23	9	7125	46316	33	7	Caspi Cuilche Salas
11./Río Cutuchi	Lasso	27	24	4171	36200	37	9	Áreas al oeste de Lasso
12./Saguimala y Buruhuaicu Unidos	Mulaló, Hda. Rumipamba	23	16	3550	24600	27	7	Mulaló Alto
13./ Río Cutuchi- con Saguimala	La Avelina- José Guango Bajo	32	8	6664	35200	47	8	José Guango Bajo
14./Río Cutuchi	Latacunga Norte	47	16	3000	32300	60 (1hora)	11	El Calvario-Pujillí
15./Río Cutuchí	Latacunga-Sur-Tiobamba	51	21	2400	30630	66	13 (la velocidad aumenta al restringirse al cañón)	Salache y Illuchi
16./Río Cutuchi	Salcedo (846677)	62	20	2050	30000	79 (1H19m)	14	Lomas altas cercana
17./Río Cutuchí	Panzaleo/Balneario Nagsiche (666828)	64	30	---	---	82 (1H22m)	16 (cañón estrecho y mayor pendiente)	Panzaleo Alto
18./Río Cutuchi	Guapante (707793)	75	20	2200	28600	99 (1H39m)	10-12	Tigualo/Presidente Urbina
19./Río Cutuchi	Puente Cu[apachón (703689)	83	15	---	---	111 (1H51m)	10-12 (el cañón es estrecho y recto)	Pillaro ó Ambato
20./Río Cutuchi	Puente Quillán	88	20	1440	17700	118 (1H58m)	12	
21./Río Cutuchi	Playa de Quillán	90,5	18	1560	15600	122 (2H02m)	10	Alemánia de Quillán
22./Río Patate	Hda. Guadalupe-Fam. Chavez	109	7	1050	8400	161 (2H41m)	7-8 (el cauce es amplio y plano.)	Guadalupe Centro
23./Río Pastaza	Puente San Martín	122	60	675	8100	192 (3H12m)	10-15 Pendiente fuerte, cauce angosto	
24./Río Pastaza	Ulba- lado norte del Río Pastaza- puente Lligñay	129	12	1250	10000	207 (3H27m)	8-10	Santana

Discusión

Este modelaje fue realizado con dos programas (Hec-1 y Lahar-1), el último desarrollado por ingenieros de la EPN-Quito. En los dos programas los resultados son muy similares. Las secciones de control fueron realizadas en el campo con equipos topográficos y los límites de alcance de los lahares históricos fueron mapeados en los sitios. Los datos sobre los niveles del lahar de 1877 son representativos de un lahar futuro que funda aproximadamente unos 10-25% de la capa glaciaria actual en el volcán. Estos niveles son referentes y siempre hay que tener la perspectiva que futuros eventos laháricos podrían ser más pequeños o más grandes.

Conclusiones

En las erupciones pasadas del Cotopaxi han estado caracterizadas por la ocurrencia de fenómenos eruptivos peligrosos, tales como derrames de lava, sismos y temblores de origen volcánico y flujos piroclásticos. Sin embargo, en el caso

que se repitan estos fenómenos, es poco probable que afectaren en forma directa a la población.

Los gases volcánicos y el vapor caliente que salen del cráter o de otros lugares de la cima del volcán pueden representar un peligro para los andinistas, por lo que deben evitar entrar en contacto directo con dichos gases.

En lo que se refiere a la caída de ceniza, fenómeno que siempre acompaña a las erupciones, el Valle Interandino inmediatamente al oeste del volcán típicamente ha recibido acumulaciones de ceniza de hasta 10 centímetros, que representa un grave peligro para los habitantes. Con espesores de ceniza de esta magnitud podrían resultar en el colapso de los techos y casas. La evacuación de personas y ganado y la pérdida de cosechas son unos otros de los problemas causados por este evento, lo que requerirían la ayuda del gobierno

El volcán Cotopaxi ha experimentado en numerosas ocasiones flujos de escombros que han descendido con gran velocidad el río Cutuchi y sus afluentes que nacen en los flancos del volcán, y luego forman los ríos Patate y Pastaza con el resultado de arrasar todo que se encuentre en su camino.

Los valores de los parámetros laháricos dados en la tabla precedente sirven como guía y podrían representar un evento futuro con un margen de error de aproximadamente 20%. Por otro lado, es posible que el lahar que eventualmente baje por dichos cauces pueda tener un volumen bastante menor que los valores mostrados. Sin embargo estos valores son bastante representativos de los tres eventos laháricos que llegaron a los valles de Latacunga, Salcedo, Patate y de Agoyán en tiempos históricos.

En las zonas urbanas mayormente planas como las orillas del río Cutuchi en Latacunga, San Felipe y Salcedo, vale destacar que un flujo de uno o dos metros más alto que lo previsto podría inundar un área mayor de lo indicado, dado el poco relieve de la zona. Por otro lado, la incorporación de un número importante de árboles, casas, puentes y otros objetos grandes tendría el efecto de aumentar el volumen del flujo y podría producir represas temporales que causarían una mayor extensión lateral del área inundada.

Es muy importante subrayar que el tiempo de arribo de los lahares a Latacunga es de alrededor de 40 a 60 minutos desde su generación en el volcán y posiblemente solo 30 minutos desde la primera alerta dada por los instrumentos. Obviamente, las zonas pobladas más cercanas al Cotopaxi, por ejemplo las de Mulaló, Lasso, San Ramón, tendrían mucho menos tiempo para reaccionar y salir.

Finalmente se debe considerar que el depósito de los flujos de lodo y escombros no se endurece rápidamente, dado el alto contenido de agua, permaneciendo mucho tiempo con una textura similar a la del concreto fluido. Luego del gran lahar que destruyó la ciudad de Armero (Colombia) en noviembre de 1985, la planicie de lodo y materiales que cubrió la ciudad no fue transitable sino hasta semanas y en algunas partes hasta meses después de la erupción. Por esta razón no se debe tratar de caminar ni conducir un vehículo sobre un depósito lahárico fresco. Como consecuencia de esta característica y de la frecuente destrucción de los puentes sobre los drenajes, muchas zonas pobladas quedan prácticamente aisladas por la dificultad o imposibilidad del transporte terrestre. En este caso será fundamental contar con la alimentación, agua potable y alojamiento necesarios para abastecer a las poblaciones aisladas.

• Tiempo de Arribo Aproximadamente Flanco Norte

Río	Nombre del sitio (UTM)	Distancia desde el Cráter (km)	Calado del flujo (m)	Área de perfil del cauce con huella del lahar 1877 (2)	Caudal pico m³/s)	Tiempo aprox. de arribo (min)	Velocidades (m/s)	Posibles Áreas de Seguridad
Salto	Coop. Loreta Pedregal (836425)	17	7- 8		---	12	20-25	Hda. Santa Ana (hacia al oeste)
Pita	EMAAP- Boca- Toma (855454)	20	10-15	3000-4000	60000	15	18	Flancos de Pasochoa, Hda. Sta. Rita
Pita	La Caldera (871500)	25	33	3500	65000	20	16-19	Flancos de Pasochoa
Santa Clara	La Caldera-Tanipamba (872504)	25,3	8	1600	16000	21	10-12 (la velocidad disminuye debido a la anchura cauce)	Flancos de Pasochoa
Santa Clara	Rumpamb a	27	7	1500	8600	24	10	Hda. El Carmelo
Santa Clara	LaMoca (Pajonal)	29	14	1000	11000	28	10-12	Hda. El Carmelo
Santa Clara	Barrio San Fernando	34	7	800	5600	40	7-9	Barrio El Vínculo
Santa Clara	Selva Alegre	37,5	8-10	700	5000	47	7-10	Barrios Cercanos
Santa Clara	El Ejido Sangolquí bajo	40	8-10	700	4.200	52	5-7	Mercado de Sangolquí
Santa Clara	Centro de San Rafael	43,5	8	---	---	62	5-7 (pendientes bajas)	S. Pedro de Taboada
Aguas Abajo Del Sitio Denominado "La Caldera" En El Río Pita								
Pita	EMAP/Hda. Valencia	31,5	31	3800	63000	28	17	Las lomas aledañas
Pita	Sta. Teresa	33	30	3500	61000	30	17	Las lomas aledañas
Pita	Cantera Cashapamba (879633)	36	22	3000	54000	33	17	Las lomas aledañas
Pita	Puente Río Pita-Excafé	41	23	3400	46000	38	13	Barrio Concepción, y las lomas aledañas al oriente.
Pita	Cuatro Esquinas- San Rafael Urb.	45	5-8	5000	17000	46	5-7	Conocoto, La Merced, Alangasí
San Pedro	La Armenia (840695)	48	22	2000	12000	54	5-6	San Juan de Armenia, Cooperativa Montserrat
San Pedro	Guangopolo-riberas del río (838725)	52	11	1300	12000	62 (1h02m)	9 (mayor pendiente)	Ingaloma Plaza de Guangopolo, La Toglla
San Pedro	Tumbaco- Club Nacional	60	15	2400	16800	80 (1h20M)	6-8 ITI/S	Tumbaco Cumbayá, Universidad San Francisco.
San Pedro	Central Hidroeléctrica Nayón (884824)	72	25	---	---	113 (1h53)	5-7 (el cauce es muy angosto pero presenta muchas curvas)	Nayón
Guayllabamba	Quisaya (10km al norte del Volcán Pululagua)	117	9	---	---	201 (3h21)	7-9 (el cauce es profundo, recto y presenta una pendiente alta)	
Guayllabamba	Las Golondrinas	217	5-8			478 (7h58)	5-7 (hasta llegar a la unión con el Río Blanco se mantiene una velocidad alta, dado que el cañón es hondo y estrecho)	Centro del pueblo
Esmeraldas	Viche	283	4-5			698 (11h36)	3-5 (el cauce está semi encañonado)	Lomas altas aledañas
Esmeraldas	Ciudad de Esmeraldas	326	3-4			1056 (17h36)	2-3 (la pendiente es baja y el cauce es muy ancho)	Lomas altas aledañas

Fuente: Mothes et al., 2002