

REPÚBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA

**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN E INFORMACIÓN
GEOCIENTÍFICA MINERO- AMBIENTAL Y NUCLEAR**

INGEOMINAS

**INFORMACIÓN SOBRE EL VOLCÁN CERRO
MACHÍN EN RELACIÓN CON EL PROYECTO
TÚNEL DE LA LÍNEA**

INGEOMINAS

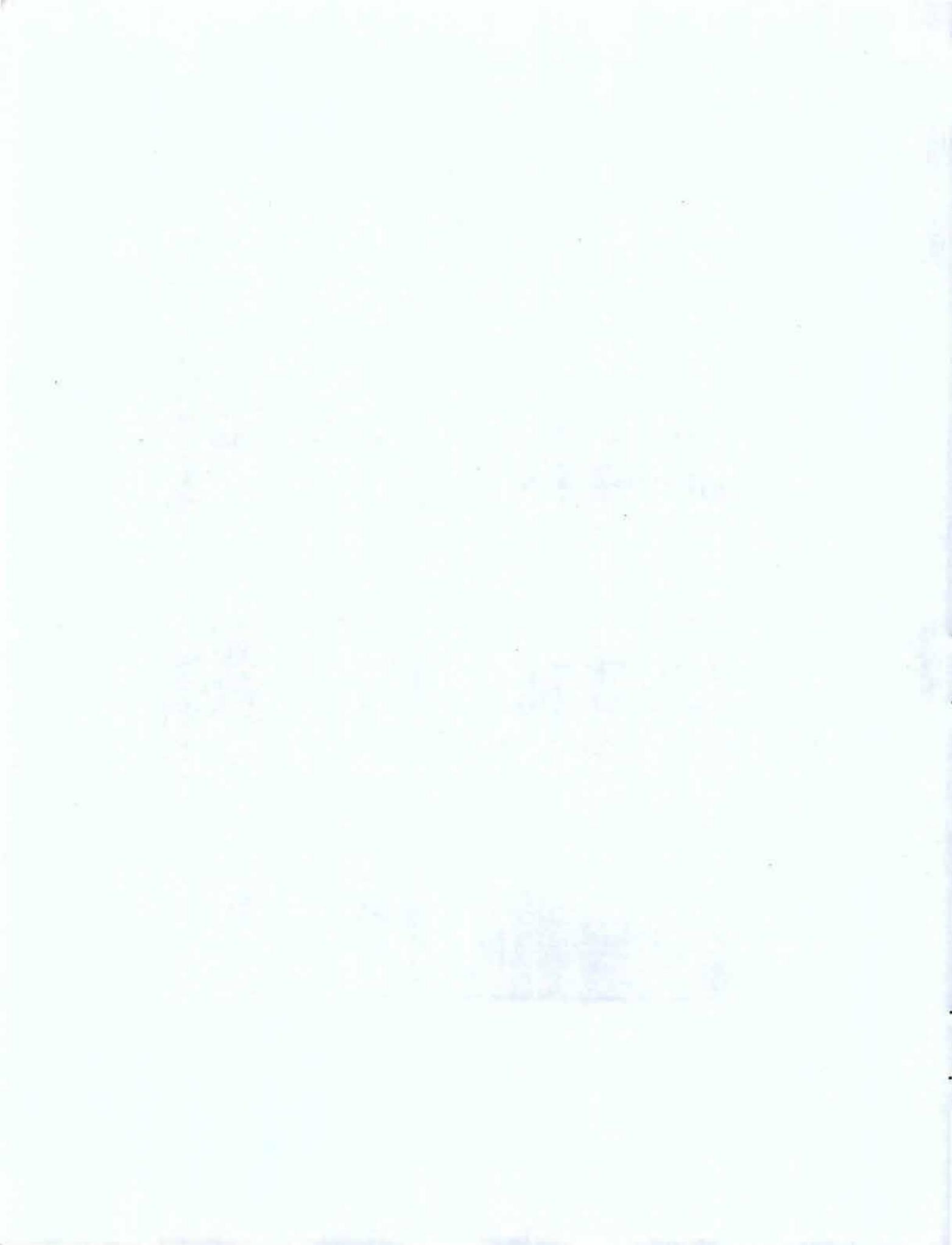
Bogotá, diciembre de 2001

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	7
Objeto	7
Localización y vías de acceso	7
2. HISTORIA GEOLÓGICA	9
Clasificación	9
Actividad volcánica del Cerro Machín	9
Tipos de erupción y distribución de productos	9
3. ESCENARIOS - EFECTOS SOBRE EL CORREDOR VIAL IBAGUÉ - ARMENIA	17
Por caídas de piroclastos	17
Por flujos piroclásticos	18
Por lahares	19
Visión integral	20
4. HISTORIA INSTRUMENTAL.....	23
5. PRONÓSTICO	27
6. ALERTAS	27
7. CONSIDERACIONES	29
8. BIBLIOGRAFÍA	31

FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización	7
Figura 2. Mapa de isópacas	10
Figura 3. Mapa de isópacas	11
Figura 4. Mapa de flujo piroclástico	12
Figura 5. Mapa de flujo piroclástico	13
Figura 6. Mapa de lahares	15
Figura 7. Diagramas de actividad sísmológica	24



1. INTRODUCCIÓN

OBJETO

Presentar información sobre el volcán Cerro Machín y su relación con el área del proyecto denominado Túnel de La Línea. Esta información debe ser analizada desde el punto de vista de las restricciones que puede ofrecer la actividad del Machín para las diferentes fases del proyecto en mención.

LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO

El volcán Cerro Machín está localizado en el flanco oriental de la Cordille-

ra Central de Colombia, en el Departamento del Tolima, Municipio de Ibagué, 7 km al nororiente de la cabecera municipal de Cajamarca, 17 km al noroccidente de la ciudad de Ibagué, 35 km al suroriente de la ciudad de Armenia (Figura 1) y 150 km al suroccidente de Bogotá. Desde Ibagué (El Boquerón), Cajamarca y Salento se puede acceder a un carretable que cruza el cono volcánico. La forma del volcán Cerro Machín se confunde con la topografía de la región y fácilmente pasa desapercibido para quienes no lo conocen.

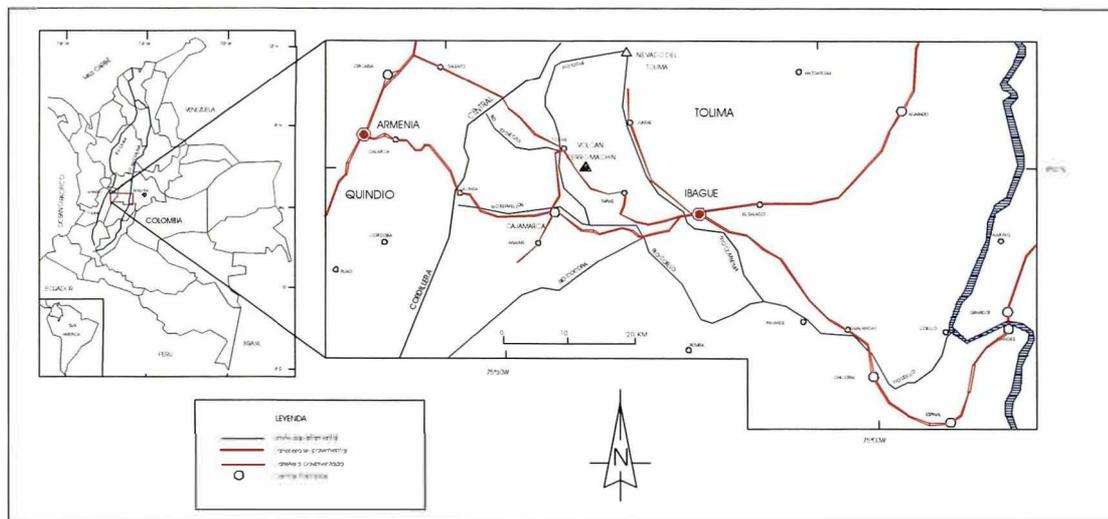


Figura 1. Mapa de localización del volcán Cerro Machín, Colombia, S. A.

2. HISTORIA GEOLOGICA

CLASIFICACIÓN

Los estudios más recientes han permitido clasificar al Cerro Machín como un volcán explosivo con varios cráteres superpuestos, aunados a una serie de domos que rellenan la estructura existente. El cráter no es una forma simple, sino una cadena de semicírculos o arcos de circunferencia con un centro principal, lugar que ocupan los domos actuales.

ACTIVIDAD VOLCÁNICA DEL CERRO MACHÍN

Existe una leyenda indígena que puede interpretarse como el relato de una erupción, pero no existe registro que indique erupciones del Machín en tiempos históricos (últimos 500 años). Mediciones hechas en madera carbonizada por erupciones del volcán demuestran que éstas han ocurrido, como mínimo, en siete (7) oportunidades en los últimos 10.000 años. El volcán Machín presenta fumarolas (orificios por donde salen gases), fuentes termales y actividad sísmica menor.

Esta información permite considerar al Machín como un volcán activo, es decir, que presenta potencialidad para producir erupciones en el futuro.

TIPOS DE ERUPCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE PRODUCTOS

El estudio de los registros geológicos dejados por el volcán Cerro Machín en los últimos 10.000 años permite identificar la ocurrencia de erupciones explosivas muy violentas. En general, han sido explosiones que han producido columnas de erupción de hasta 40 km de altura sobre el cráter. En otras oportunidades han salido domos a la superficie.

Los productos piroclásticos contenidos por las columnas de erupción fueron transportados por los vientos predominantes en el momento de la erupción y, en ocasiones, estas columnas colapsaron por acción de la gravedad y produjeron flujos piroclásticos (Figuras 2, 3 y 4).

Los domos en estado incandescente, en algunas ocasiones, colapsaron por gravedad produciendo flujos piroclásticos (Figura 5). En otras ocasiones se enfriaron dentro del cráter y se constituyeron en tapones que aumentaban los requerimientos de presión para la producción de nuevas erupciones, y hacían que estas fueran más violentas. Actualmente, tres domos hacen de tapón que obstruye el cráter volcánico.

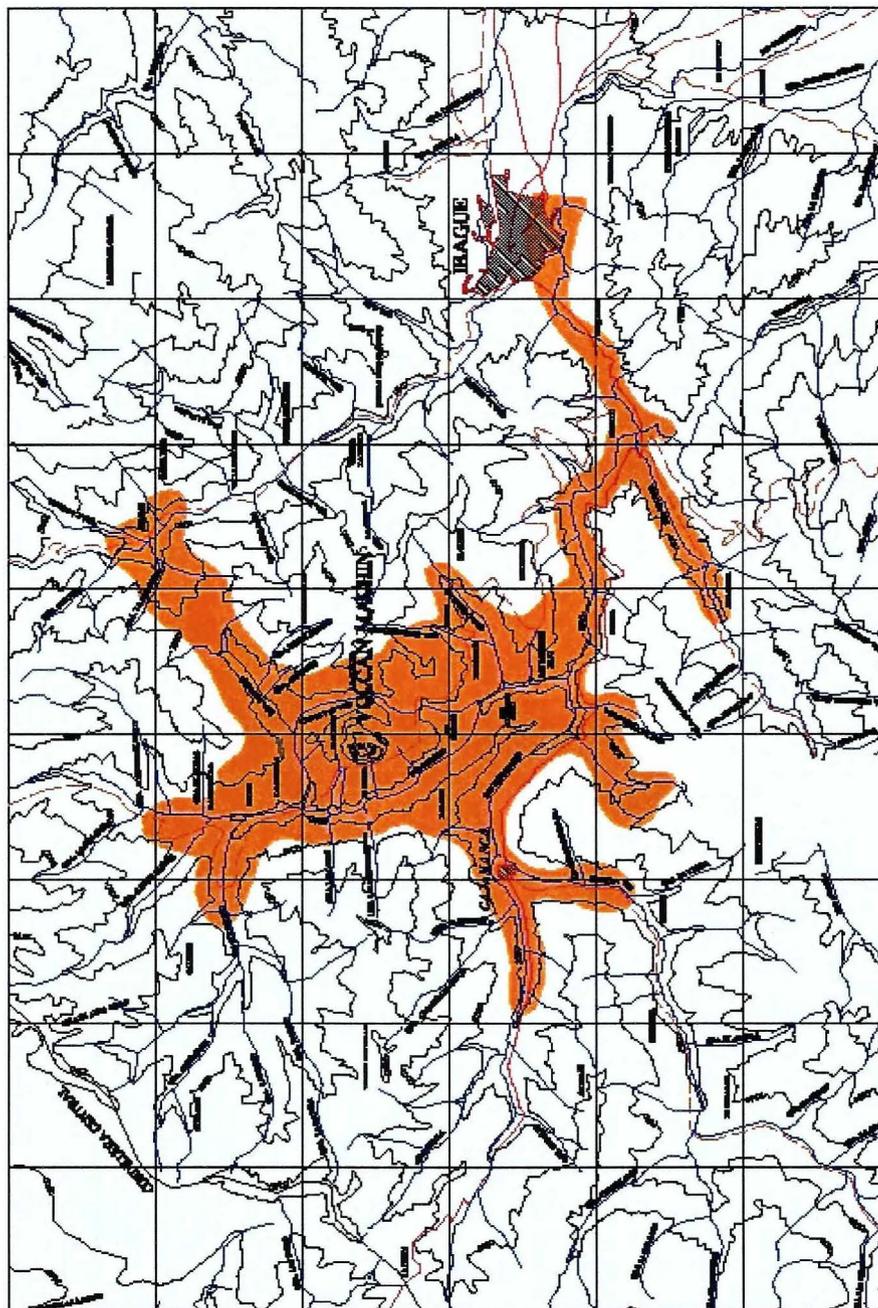


Figura 4. Mapa de distribución del depósito de flujo piroclástico El Boquerón, producido por erupción del volcán Cerro Machín, ocurrida hace más de 5.000 años. Nótese su presencia en Ibagué, al superar la barrera de El Boquerón, y en el río Combeima, al superar la barrera topográfica ofrecida por las cabeceras de la quebrada San Juan.

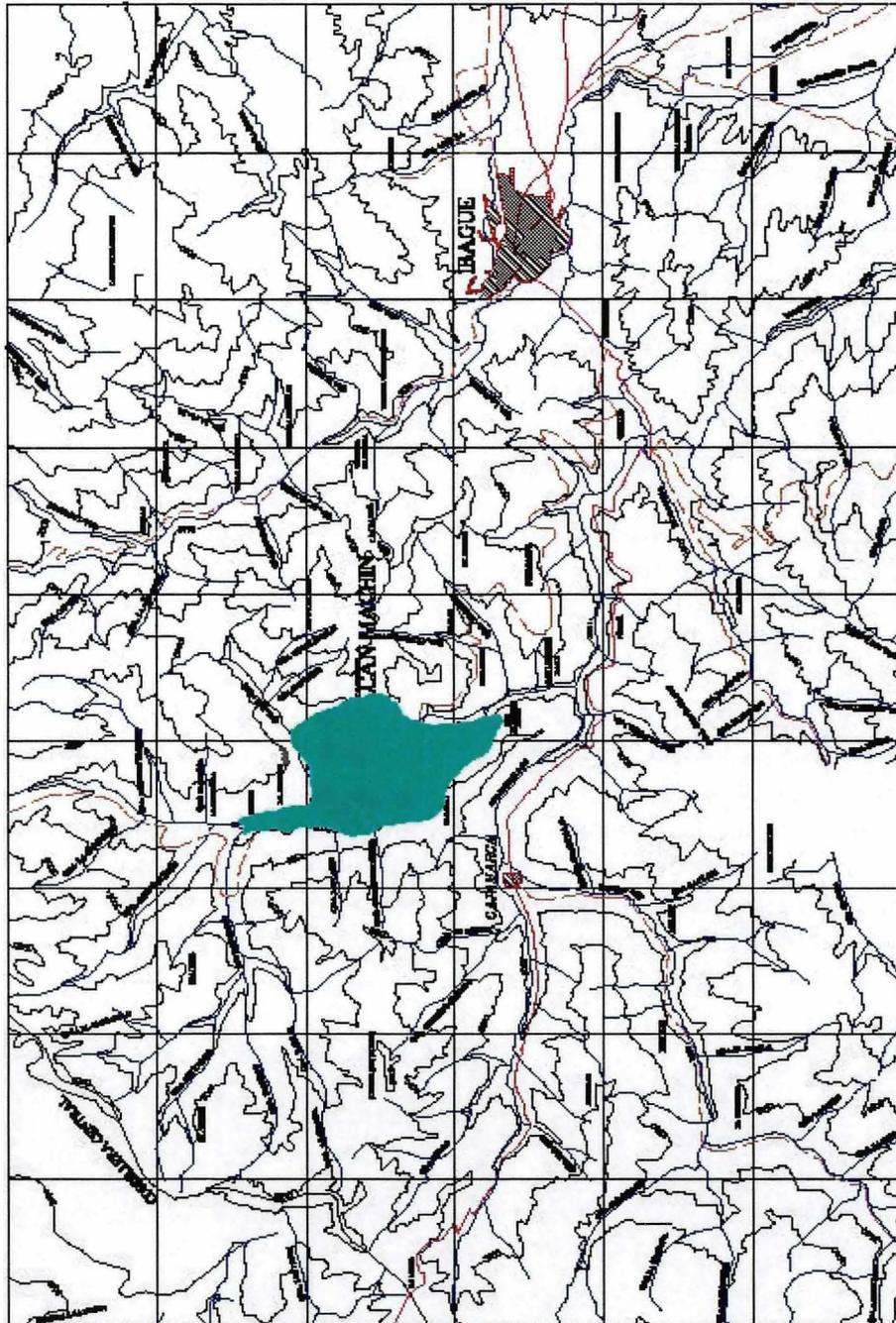


Figura 5. . Mapa de distribución del depósito de flujo piroclástico El Guaco, producido por erupción del volcán Cerro Machín, ocurrida hace 2.500 años. Nótese su dispersión restringida al río Toche, sin que alcanzara la confluencia con el río Bermellón, ni superado barreras topográficas importantes como fue el caso del flujo de El Boquerón.

Las erupciones del volcán Cerro Machín produjeron o indujeron la formación de lahares (Figura 6). Estos lahares se formaron porque durante el transporte de los materiales, éstos se mezclaron con agua existente en el cráter (lagos cratéricos), en la superficie del cono volcánico (humedales) y en las corrientes fluviales. También, se indujo su formación por presas naturales construidas por el depósito de los materiales, presas que luego cedieron para generar los lahares. Al tiempo, las erupciones explosivas favorecen la ocurrencia de lluvias que, al caer a la superficie, encuentran materiales sueltos, situados en laderas, que facilitan su erosión y mezcla para formar lahares. Los lahares formados en el flanco occidental de la Cordillera Central aún no han sido identificados.

La distribución geográfica de los productos volcánicos originados por el volcán Cerro Machín puede observarse en las figuras 2 - 6. Los piroclastos o fragmentos de roca fueron transportados de varias maneras a diferentes distancias y sitios. Por ejemplo, los piroclastos más grandes toma-

ron trayectorias de proyectiles balísticos y cayeron a distancias de hasta 10 kilómetros horizontales desde el cráter. Los fragmentos de roca más pequeños fueron transportados por el viento, desde la columna de erupción; cayeron y se depositaron a distancias de decenas e incluso centenares de kilómetros. Las acumulaciones de estos materiales alcanzaron espesores cercanos a 2 m, a distancias de 10 km del Machín.

Los flujos de piroclastos o flujos piroclásticos avanzaron velozmente siguiendo principalmente los cauces de los ríos Coello, Cocora, Bermellón y Anaime; en ocasiones, estos flujos superaron barreras topográficas tales como la Cuchilla de San Lorenzo (Figura 2) y El Boquerón, y rellenaron totalmente los valles en un área de 15 km de diámetro alrededor del cráter, hacia la cuenca del río Coello. La mayor parte de estas acumulaciones de piroclastos fueron transportadas posteriormente por el agua de las lluvias, y de ríos y quebradas de la cuenca del Coello, y formaron lahares que llegaron al río Magdalena.

3. ESCENARIOS - EFECTOS SOBRE EL CORREDOR VIAL IBAGUÉ - ARMENIA

POR CAÍDAS DE PIROCLASTOS

Durante algunas de las erupciones explosivas del volcán Cerro Machín, los vientos transportaron los fragmentos de la columna de erupción, en términos generales, hacia el occidente, como puede verse al seguir el eje de los mapas de isópacas de las erupciones denominadas P+1 y P+2 (figuras 2 y 3) y hacia el suroccidente en otras erupciones. Estos mapas contienen isolíneas de igual espesor de acumulación de piroclastos. Los fragmentos más gruesos cayeron más cerca del cráter volcánico, mientras los más finos fueron llevados a grandes distancias. Sobre el área del trazo actual de la carretera Ibagué - Armenia fueron acumulados piroclastos de caída entre la quebrada Cajones y Armenia. Los espesores medidos variaron entre 1 cm en el sector de la quebrada Cajones (cota 1.600 m) y 115 cm en cercanías del Portal Bermellón. Estos espesores son mínimos porque el mapa de isópacas fue construido teniendo en cuenta solamente la explosión mayor o paroxismal y al tiempo con ésta ocurrieron otras explosiones de magnitudes menores, cuyo espesor total pudo superar al de la principal o paroxismal; además, los depósitos pudieron ser erosionados parcialmente.

Los fragmentos piroclásticos mayores no se integran a la columna de erupción propia-

mente dicha, sino que son proyectados balísticamente. Fragmentos hasta de 10 cm de diámetro mayor fueron proyectados balísticamente hasta 10 km de distancia desde el cráter del volcán Cerro Machín, y cayeron inmediatamente al oriente del Portal Bermellón.

La densidad de los fragmentos piroclásticos varía entre 0,5 y 2,5 g/cm³, pero el valor dominante es 1. Los valores menores corresponden a vidrio muy poroso (pómez) y los mayores a fragmentos de domos y rocas del basamento.

De producirse emisión, caída y acumulación de piroclastos similares a los producidos, estos podrían causar los efectos siguientes sobre la zona del actual trazo de la vía Ibagué - Armenia:

- Acumulación de piroclastos de caída, de decímetros hasta más de un metro. Estos piroclastos caerán calientes y sus depósitos no serán consolidados, sino que quedarán sueltos y muy expuestos a la erosión, especialmente si caen sobre laderas desprotegidas y en cauces de corrientes fluviales.
- Oscurecimiento y dificultades respiratorias por presencia de partículas finas suspendidas en el aire, entre la Inspección de Policía de Coello y Armenia.

- Obstrucción de drenajes artificiales y naturales.
- Daños por sobre carga en estructuras livianas y líneas de conducción eléctrica.
- Daños por corrosión a elementos metálicos.
- Daños por impacto de proyectiles balísticos.
- Incendios.
- Lluvias por efecto de partículas que hacen de núcleo para formar gotas en la atmósfera.
- Contaminación de aguas.
- Daños a la vegetación y desprotección del suelo.

POR FLUJOS PIROCLÁSTICOS

La mayoría de los flujos piroclásticos producidos por erupciones del volcán Cerro Machín se originaron por el colapso de columnas de erupción. Al colapsar la columna, los piroclastos calientes engloban aire durante su caída y avanzan a grandes velocidades sobre la superficie en busca de las depresiones ofrecidas por los valles de los ríos y quebradas los cuales ocupan. La dirección dominante de flujo ha sido por la cuenca del río Coello (Figura 4), debido a la presencia del Cerro Frunces que ha hecho de barrera topográfica que impide el paso hacia la cuenca del río Combeima, la cual sólo ha sido alcanzada avanzando aguas arriba por la quebrada San Juan.

Hacia la cuenca del río Coello, estos flujos piroclásticos pudieron haber viajado a velocidades del orden de 150 km / h, a temperaturas mayores a 300 °C; se alejaron del cráter a distancias hasta de 15 km y acumularon espesores hasta de 100 m. A su paso causaron arrasamiento total de todo lo que encontraron, sobrepasaron barreras topográficas de hasta 400 m de altura y rellenaron principalmente las cuencas de los ríos Toche (Coello), Bermellón y Anaime. También, por lo menos uno de ellos sobrepasó la barrera de El Boquerón e ingresó al área de la actual zona urbana de la ciudad de Ibagué.

El otro tipo de flujo piroclástico generado en la historia geológica del Machín se debió al colapso de domos, ocurrido en menos oportunidades y con magnitudes mucho menores que las de colapso de columna de erupción. El colapso de los domos ha sido hacia el río Toche y han avanzado a velocidades menores que los anteriores, por distancias que han impedido que lleguen siquiera a la confluencia de los ríos Toche - Bermellón (Figura 5), a temperaturas cercanas a los 300 °C y rellenan el valle del río hasta 50 m de altura.

La formación, viaje y acumulación de flujos piroclásticos del volcán Cerro Machín similares a los registrados podría causar los efectos siguientes sobre la zona del actual trazo de la vía Ibagué - Armenia, en el sector comprendido entre Ibagué y unos 5 km al oriente del Portal Bermellón:

- Arrasamiento total. Para identificar el área expuesta a este efecto debe ser tenido en cuenta que el flujo piroclástico durante su avance puede tener una altura hasta 10 veces mayor que el espesor del depósito acumulado.

- Incendios.
- Enterramiento y relleno de depresiones.
- Socavación lateral y de fondo en cauces.

- Obstrucción total de drenajes y formación de presas en los cauces de todos los ríos y quebradas.
- Acumulación de piroclastos con espesores de hasta 100 m. Estos piroclastos caerán calientes y sus depósitos no serán consolidados, sino que quedarán sueltos y muy expuestos a la erosión, especialmente si caen sobre laderas desprotegidas y en cauces de corrientes fluviales.

- Producción de explosiones freáticas dentro de los depósitos calientes.

- Oscurecimiento y dificultades respiratorias por presencia de partículas finas suspendidas en el aire.

POR LAHARES

Los lahares asociados a las erupciones del Machín se produjeron por dos mecanismos principales. Primero, por transición desde flujos piroclásticos que van enfriando y enriqueciéndose en agua a medida que avanzan por los valles de los ríos y quebradas. Segundo, por ruptura de presas dejadas por flujos piroclásticos y por depósitos de caída.

En ambos casos ocurre mezcla de agua con los fragmentos volcánicos producidos en la erupción y con otros fragmentos, volcánicos o no, que son tomados en el camino

del lahar gracias al efecto erosivo que socava los lados y el fondo de los cauces. El agua disponible para la mezcla es ofrecida principalmente por ríos y quebradas, así como por las lluvias.

Los mayores volúmenes de lahares transitaban a velocidades de varias decenas de km / h por la cuenca del río Coello y se depositaron en el valle del río Magdalena. El resto de lahares viajaron por la cuenca del Combeima y por la cuenca del Cauca (originados por lluvias que arrastraron cenizas de caída depositadas en el flanco occidental de la Cordillera Central).

Los depósitos dejados por lahares conformaron los denominados abanicos de Espinal y Guamo, y cubren un área un poco mayor de 1.000 km² con espesores comprendidos entre 1 - 2 m en las partes planas y abiertas de los valles y 50 m en los cauces y lugares encañonados. Estos lahares cubrieron el paisaje y rellenaron valles de la cuenca del Coello, la rebozaron e invadieron otras cuencas como las de los ríos Luisa, Guaduas, Cucuana y Saldaña (Figura 6). También, avanzaron por el río Magdalena hasta las cercanías de Nariño (Cundinamarca); lo represaron y desviaron su curso hacia el oriente.

Durante cada erupción se formaron numerosos lahares y su ocurrencia pudo durar hasta varios años, si se toma como referencia lo ocurrido con volcanes similares a finales del Siglo XX (Chichonal en México y Pinatubo en Filipinas), los cuales produjeron depósitos del orden de kilómetros cúbicos de volumen.

La formación, viaje y acumulación de lahares del volcán Cerro Machín similares

a los registrados podría causar los efectos siguientes sobre la zona del actual trazo de la vía Ibagué - Armenia:

- Arrasamiento.
- Socavación lateral y de fondo de cauces y estructuras localizadas dentro y cerca de éste.
- Enterramiento.
- Represas e inundaciones.

VISIÓN INTEGRAL

El escenario para una erupción futura del volcán Cerro Machín está dado por el conocimiento que se tiene de su historia y evolución geológica y geomorfológica, la morfología actual del edificio volcánico y de su área de influencia, así como el estado actual de su actividad. La historia y evolución geológica y geomorfológica (procesos morfogenéticos) fueron descritas en los apartes precedentes. Los registros sismográficos, la composición química de aguas termales y gases volcánicos y la deformación del edificio volcánico indican que, en la actualidad, se tiene un volcán con síntomas de actividad en estado de reposo (actividad mínima), es decir, sin señales que indiquen una crisis volcánica cercana. El edificio volcánico del Cerro Machín es muy pequeño, en altura y volumen, se encuentra parcialmente destruido y su cráter está obstruido por tres (3) domos.

Teniendo en cuenta los factores conocidos para la elaboración de un escenario eruptivo potencial del volcán Cerro Machín, se podría plantear una erupción muy violenta,

como las ocurridas en el pasado del volcán. El factor de incremento de la violencia de la erupción estaría dado por el taponamiento del conducto volcánico por domos que dificultarán la salida del material volcánico a la superficie y por el alto contenido de gases en materiales volcánicos muy viscosos.

El material volcánico, para poder salir a superficie y producir una erupción, debe vencer la presión que ejercen las rocas que están en su camino. Cuando un cuello volcánico está libre de obstrucciones hasta la superficie o dichas obstrucciones son menores, se habla de un volcán con cráter abierto y por allí pueden ser emitidos los materiales volcánicos con menor dificultad que cuando ese conducto está obstruido. En el caso del Machín, el cráter está taponado y para que se produzca la erupción el tapón debe ser eliminado.

Los materiales volcánicos al interior del Cerro Machín son muy viscosos y muy ricos en gases. La presión de los gases son los que vencen la presión de las rocas en su camino a superficie. La presencia de los domos como tapón del conducto volcánico obligan al ejercicio de grandes presiones de los gases sobre ellos para destruirlos. La rotura de los domos para la erupción es denominada voladura de tapón. La voladura del tapón hace confrontar súbitamente las grandes presiones de los gases volcánicos con la presión atmosférica. Como la diferencia es tan grande, se favorece la rápida expansión de los gases y la ocurrencia de una erupción muy violenta.

Una erupción bajo estas condiciones podría causar los siguientes efectos principales en el área de influencia inmediata de la carretera Ibagué - Armenia:

➤ **Sector Ibagué - Cajamarca**

- Vía cubierta entre la quebrada Cajones y Cajamarca por depósitos de caída de cenizas con espesores cercanos a 1 m.
- Vía cubierta por depósitos de flujos piroclásticos de decenas de metros de espesor.
- Oscurecimiento por presencia de partículas piroclásticas finas en el aire. Estas partículas provienen de piroclastos de caída y de flujos piroclásticos.
- Vegetación y estructuras arrasadas al paso de flujos piroclásticos.
- Socavación basal y lateral de cauces por lahares y flujos piroclásticos.
- Socavación de estructuras de puentes localizadas en o cerca de cauces al paso de lahares.
- Fenómenos de remoción en masa originados por acumulación de piroclastos sueltos en laderas.
- Incendios.
- Obstrucción total de drenajes y formación de presas en puentes con luces bajas.

➤ **Sector Cajamarca - Armenia**

- Vía cubierta por acumulaciones de piroclastos de caída con espesores ligeramente superiores a 1 m, entre

Cajamarca y el Portal Bermellón. Hacia Armenia los espesores disminuirían hasta algo más de 30 cm.

- Vía cubierta por depósitos de flujos piroclásticos de decenas de metros de espesor hasta unos 5 km al oriente del Portal Bermellón.
- Oscurecimiento por presencia de partículas piroclásticas finas en el aire. Estas partículas provienen de piroclastos de caída y de flujos piroclásticos.
- Vegetación y estructuras arrasadas al paso de flujos piroclásticos hasta unos 5 km al oriente del Portal Bermellón.
- Socavación basal y lateral de cauces por lahares y flujos piroclásticos.
- Socavación al paso de lahares en estructuras de puentes localizadas en o cerca de cauces.
- Fenómenos de remoción en masa originados por acumulación de piroclastos sueltos en laderas.
- Incendios.
- Represas en puentes con luces bajas.

Teniendo en cuenta las experiencias en los volcanes Chichonal y Pinatubo, la acción de los fenómenos volcánicos puede durar años, lo cual tendría como consecuencia el aislamiento total o parcial de la región hasta por años.

Es de aclarar que los problemas comenzarán cuando el volcán empiece a presentar

síntomas de terminación de su estado de reposo, es decir, que podría reactivarse y causar erupciones. A pesar de contar con planes de contingencia, va a presentarse incertidumbres sobre cierre de la vía, sobre evacuación de poblaciones, sobre pronósticos de erupciones, entre otras.

Con el conocimiento que se tiene actualmente del volcán Cerro Machín es muy difícil predecir cuándo ocurrirá y cómo será la próxima erupción. No se tiene conocimiento sobre el sistema volcánico interno y en los 10.000 años de actividad han ocurrido como mínimo siete (7) erupciones

mayores de las cuales se encontraron registros geológicos.

Una herramienta utilizada para saber las fechas en las cuales ocurrieron tales erupciones son las dataciones radiométricas por el método ^{14}C . Para este fin fueron datadas 30 muestras de madera carbonizada o paleosuelos. Las dataciones radiométricas indican que en los últimos 10.000 años los intervalos menores entre erupciones son del orden de 400 años y los mayores de 3500 años. La última erupción ocurrió hace 850 años. Con estos datos no se puede calcular con ninguna certeza cuándo será la próxima erupción.

4. HISTORIA INSTRUMENTAL

ADQUISICIÓN Y TOMA DE DATOS

INGEOMINAS inició el monitoreo sistemático de la actividad del volcán Cerro Machín a partir de 1987 con la materialización y toma de medidas de una red para determinar las deformaciones del edificio volcánico.

Se realizó un muestreo sismológico con tres estaciones portátiles en septiembre de 1987, pero sólo hasta diciembre de 1989 fue instalada una estación sismológica permanente a 1.6 kilómetros al sur de la cima. En 1992, la estación se trasladó a la superficie de uno de los domos centrales, a pocos metros del campo fumarólico principal, sitio en el cual continúa en operación. Esta señal se transmite por telemetría (vía radio) al Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales.

En el mes de septiembre de 1992 se realizó una primera campaña de campo al volcán con el fin de conocer la composición química de los fluidos emanados de su interior.

➤ Sismología

La sismicidad volcánica del Machín se caracteriza, en general, por dos tipos de even-

tos sísmicos, uno asociado con la actividad de los fluidos en los conductos volcánicos y otro relacionado con la ruptura de roca generada por los cambios de esfuerzos y presiones debidas a la actividad pasiva de los fluidos volcánicos.

La sismicidad registrada desde el inicio del monitoreo muestra predominancia de sismos volcánico - tectónicos (VT), sobre sismos de largo período y tremor (LP), tanto en el número (Figura 7) como en la energía sísmica liberada por ellos.

Es necesario instalar, por lo menos, tres nuevos equipos sobre las faldas del volcán de tal manera que se obtengan localizaciones más precisas de los sismos volcánicos que suceden allí.

➤ Deformación

La red de deformación localizada en el volcán Cerro Machín consta de inclinómetros secos, vectores cortos de nivelación y bases para EDM. Esta red se viene ocupando regularmente, con excepción de las líneas de EDM, desde 1987 con algunas interrupciones. Las mediciones indican cambios muy pequeños que indican estabilidad del volcán.

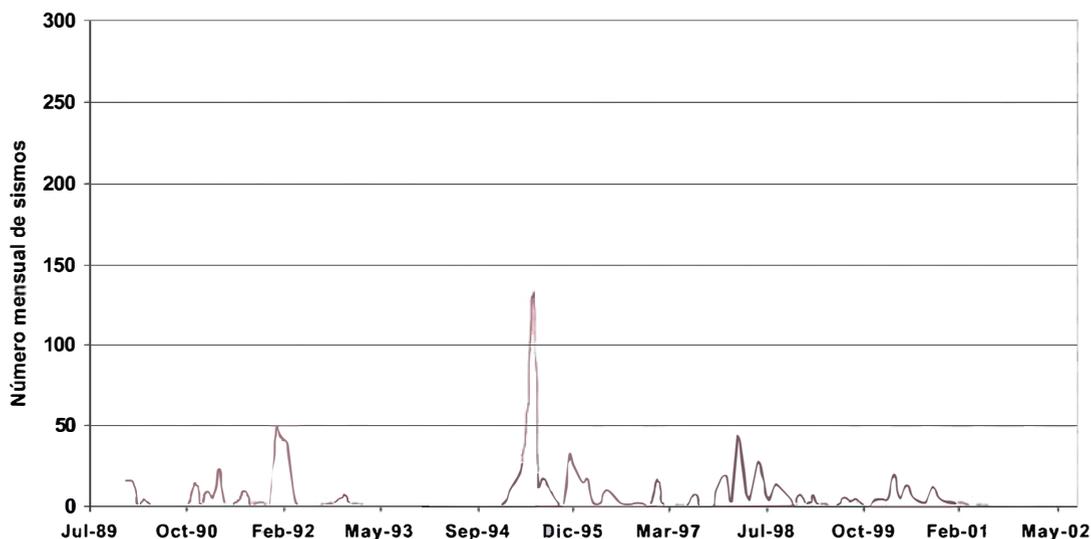
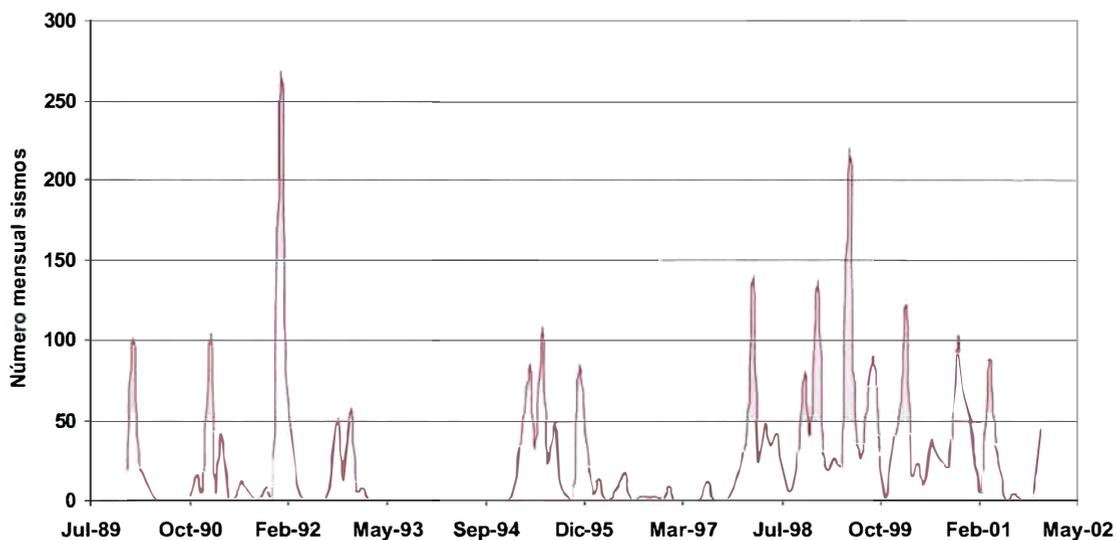


Figura 7. Ocurrencia mensual de los sismos VT (arriba) y de los sismos LP (abajo) registrados en el volcán Machín entre diciembre de 1989 y noviembre de 2001. Nótese que mientras los sismos LP, con un promedio mensual de 6 eventos, sólo han superado una vez los 60 eventos por mes (133 en mayo de 1995), los sismos VT, con un promedio mensual de 24 eventos, han alcanzado un valor máximo de 268 eventos por mes (diciembre de 1991). La aparente nula sismicidad en algunos meses significa mal funcionamiento de la estación sísmica en estos períodos.

➤ **Geoquímica**

En 1992 el INGEOMINAS realizó una primera campaña geoquímica al volcán Cerro Machín, con el fin de efectuar mediciones de los fluidos en la fumarola La Macha y a las fuentes termales Estatuas, La Estrella, La Piscina, Puente Tierra y San Juan. Los resultados obtenidos, hasta ahora, no presentan indicadores de aporte de material a la superficie desde su sistema magmático (profundo).

➤ **Conclusiones**

La actividad sísmica con predominio de sismos VT y una ocurrencia muy baja de eventos LP, los pequeños cambios en las medidas de deformación, así como la es-

tabilidad en temperatura y composición de los gases fumarólicos implica una actividad muy baja general de los sistemas magmático e hidrotermal del volcán, especialmente del primero. El estado del volcán Cerro Machín se puede catalogar como estable, sin mostrar una tendencia de reactivación.

Sin embargo, debe completarse la red sísmológica a un mínimo de 4 estaciones para poder hacer localizaciones confiables de los sismos. La red de deformación debe complementarse con estaciones cercanas y mayor cubrimiento. Debe hacerse análisis de isótopos de carbono 13, deuterio y oxígeno 18 para dilucidar la procedencia de los fluidos volcánicos que son emitidos por fumarolas y fuentes termales del Machín.

5. PRONÓSTICO

Para los tomadores de decisiones, la fecha de la próxima erupción es de gran valor, sin embargo, con el conocimiento actual del Machín no es posible predecir cómo, qué tan grande y cuándo será esa próxima erupción. Para lograrlo debería instrumentarse adecuadamente y así conocer cómo es el sistema volcánico interno, debido a que, hasta el momento, sólo se tiene conocimiento del aspecto externo, edificio y productos. De la parte interna sólo se sabe que presenta un nivel de actividad muy bajo y así lo revelan los sismos y la química de aguas y gases.

Para tener un conocimiento confiable para hacer predicciones o pronósticos debe garantizarse la instrumentación permanente, que permita la acumulación de información y conocimiento en el tiempo. Así se tendrán modelos confiables sobre el comportamiento del sistema volcánico activo. El análisis de la información brindada por la instrumentación será mejor a medida que el lapso sea mayor, si se tiene en cuenta que la edad del Machín es del orden de 10.000 años. Las investigaciones petrológicas permitirán complementar el análisis de la información instrumental para poder construir modelos de condiciones fisicoquímicas del sistema volcánico actual.

6. ALERTAS

Con el conocimiento e instrumentación actuales sobre el volcán Cerro Machín, las alertas que podrían ser suministradas estarían basadas en la interpretación de señales anómalas a su comportamiento en estado de reposo. Se espera que, como en

los volcanes Chichonal y Pinatubo, esas señales aparezcan meses antes del comienzo de las erupciones. Las señales principales esperadas serán sismos sentidos, apertura de grietas y gran incremento de la actividad fumarólica.

7. CONSIDERACIONES

Los volcanes de carácter activo como el Machín, fuera de ser generadores de recursos, son una amenaza natural para las comunidades e infraestructura ubicadas en su área de influencia. En el pasado, el Machín hizo erupción, por lo menos, en siete (7) ocasiones, y cubrió de materiales un territorio amplio en los departamentos de Tolima, Quindío, Risaralda, Valle del Cauca y Cundinamarca.

A pesar que el volcán Cerro Machín se constituye en una amenaza, en el momento no existen indicios que permitan esperar en tiempo corto la ocurrencia de una crisis volcánica. Tampoco es posible hacer pronósticos sobre las erupciones futuras. Sin embargo, la cercanía del Machín a importantes centros urbanos y de infraestructura plantea la necesidad de elaborar diferentes escenarios de efectos como consecuencia de una posible erupción. Considerando el escenario de una gran erupción, como algunas sucedidas en el pasado, éste implica grandes volúmenes de material volcánico emitido. El movimiento de tales volúmenes de material en el interior del volcán se vería reflejado en aparición de claras señales premonitorias.

La vigilancia volcánica permanente sobre el Machín debe ser garantizada. La instrumentación actual ofrece una información mínima de su actividad, por tanto, se requiere fortalecer la red de vigilancia de manera que pueda ser mejor conocido el interior del sistema volcánico. El conoci-

miento actual del funcionamiento interno del volcán es limitado y sólo permite saber cuándo son superados los niveles base de actividad en estado de reposo establecidos con cierta precariedad. La superación de esos niveles no permite conocer el porqué y, por tanto, si significan desestabilización que pueda desembocar en una crisis eruptiva o simples comportamientos que no superan los indicadores reales (?) de actividad en estado de reposo.

Una erupción similar a las hasta ahora identificadas en los estudios geológicos del Machín causaría daños graves a la infraestructura vial Ibagué - Armenia, vía que la podría dejar inhabilitada por largo tiempo. Todo el tramo quedaría sepultado y obstruido por acumulaciones de cenizas con espesores hasta de decenas de metros. Los puentes actuales sufrirían graves daños o destrucción total. Además, la vía Bogotá - Buenaventura quedaría interrumpida por daños en puentes en el tramo Girardot - Ibagué causados por el paso de lahares. Sin embargo, este primer gran escenario, basado en un buen nivel básico de conocimiento del volcán Cerro Machín, merece ser actualizado en la medida que se posea un mejor conocimiento de la historia y de los componentes del sistema, es decir, cada que se resuelvan las incertidumbres que quedan pendientes. Al ser resueltas tales incertidumbres, el escenario actualizado permitirá la toma de decisiones más acertadas, lo cual deberá verse reflejado en un impacto positivo en la sociedad.

8. BIBLIOGRAFIA

- CEPEDA, H.; MURCIA, L. A.; MONSALVE, M. L.; MÉNDEZ, R. A.; NUÑEZ, A. 1995. Volcán Cerro Machín, Departamento del Tolima, Colombia: Pasado, Presente y Futuro. INGEOMINAS, informe interno inédito. 48 p. Popayán.
- CEPEDA, H.; MUÑOZ-CARMONA, F.; VELÁSQUEZ, E. 1999. El volcán Cerro Machín. La prevención de desastres y el ordenamiento territorial. INGEOMINAS, 22p. Bogotá.
- CORTÉS, G. P. 2001. Estudio Geológico de los depósitos de lahar asociados a la actividad eruptiva del volcán Cerro Machín. INGEOMINAS, Informe interno, inédito, 96 p. Manizales.
- CORTÉS J. G. P. 2001. Lahares asociados a la actividad eruptiva del volcán Cerro Machín, Colombia. 8 Congr. Col. Geol. Memorias, 12 p. Manizales.
- INGEOMINAS, 2001. Sinopsis General del Monitoreo de la Actividad del Volcán Cerro Machín (1987 - 2001). Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales, informe interno, 15 p, Manizales.
- MÉNDEZ, R.A. 2001. Informe sobre la geología y estratigrafía de flujos piroclásticos asociados al volcán Cerro Machín. INGEOMINAS, Informe interno, inédito, 36 p. Manizales.
- RUEDA, H. 2000. Depósitos de caída piroclástica asociados a la actividad del volcán Cerro Machín. Caracterización y evaluación de su amenaza potencial. Tesis grado, U. Caldas, inédita, 122 p. Manizales.