

MAPA PRELIMINAR DE AMENAZA VOLCANICA POTENCIAL DEL VOLCAN TUTUPACA

L. FIDEL SMOLL¹ y B. ZAVALA CARRION¹

¹ INGEMMET, Av. Canadá 1470, Lima 41

INTRODUCCION

En los últimos años la Dirección de Geotecnia del INGEMMET, dentro del Programa de Riesgos Geológicos en el País, efectuó el "Inventario de Volcanes del Perú", así como el estudio denominado "Riesgo Volcánico en el Sur del Perú" (FIDEL, L., MORCHE, W. & NUÑEZ, S., 1997), dentro de los cuales se determinó la existencia de varios centenares (> 402) de estructuras entre volcanes: activos, fumarólicos, latentes, dormidos e inactivos, en diferentes estadios.

El volcán Tutupaca se encuentra localizado en el extremo norte del departamento de Tacna, provincia de Candarave coordenadas UTM 8 117 400 N y 352 100 E, presentando dos conos yuxtাপuestos, uno oriental con 5.790 m que denominaremos Tutupaca Este y otro occidental con 5.815 m al que denominaremos Tutupaca oeste. Este edificio volcánico esta signado con el código **TAR-01**, categorizado como de **fumarólico**. De acuerdo a su morfología, como de tipo **BRCN** (cono fracturado o colapsado), con un edificio de 1400 m, presentando nieve estacionalmente. Geológicamente está situado en la Cadena Volcánica Sur, de dirección andina, conocida como Cordillera del Barroso, ubicada en el segmento central de los Andes de Sudamérica que comprende la parte sur del Perú, Chile, Bolivia y NW de Argentina.

El volcán Tutupaca es considerado potencialmente activo, habiéndose registrado una (1) erupción en los últimos 100 años, concentrando el 3% de la actividad eruptiva en el Segmento B, con un IEV de 2. Haciendo una estimación del peligro, de acuerdo a la escala 0-17 puntos (según YOKOYAMA, et al, 1984), con un grado del 50%.

La estratigrafía evidencia tres Fases o Etapas Evolutivas, con quince (15) secuencias volcánicas, de edad Pleistocena a Reciente, donde, de producirse una reactivación del volcán, las principales amenazas volcánicas que se darían serían bajo la forma de: flujos de lavas, flujos piroclásticos, caídas de tefras, cenizas, avalancha de escombros, explosión lateral (blast) y lahares.

En los alrededores del volcán se encuentra, como poblado más importante, la ciudad de Candarave, capital de la provincia del mismo nombre, con cerca de 3.418 habitantes, ubicado a \pm 28 km al sur del volcán, también los centros poblados de Cairani (1.500 hab.) y Camilaca (2263 hab.); asimismo pequeños caseríos: Tacalaya, Turunturo (al sur y suroeste), Suches y Huaitire (al noroeste), principalmente rurales dedicados principalmente a la actividad agrícola y ganadera.

Obras de infraestructura de riego (canales y pequeñas bocatomas), viales: parte de la carretera asfaltada Ilo - Desaguadero, carreteras afirmadas como la de Tacna - Tarata - Candarave y carreteras vecinales, la tubería de conducción de agua y estaciones de bombeo de aguas subterráneas que abastecen las minas Toquepala y Cuajone operadas por la Southern, así como las lagunas de Aricota y Suches. Estos son los principales patrimonios existentes en sus alrededores, que podrían ser afectados de ocurrir una reactivación del volcán.

ERUPCIONES HISTORICAS

Reportes históricos de actividad volcánica para el departamento de Tacna, dan cuenta de actividad durante el Holoceno, con la ocurrencia de cuatro eventos en el volcán Tutupaca, en los años 1780, 1802, 1862 y 1902. Entre los diferentes autores mencionaremos el relato de Dean

Valdivia, en fragmentos para la Historia de Arequipa (Folletín de "El Deber", Arequipa, 1874, pag. 109-111), considera a Candarave como anexo de Ilabaya, erigido en curato por Monseñor Abad Yllana en 1776, describiéndolo: "*Es frío y produce alfalfa. A su cabeza se halla el volcán Yucamani, corpulenta y que humea y reventó en parte en 1787. El 20 de marzo de 1802 reventó el Tutupaca que por cinco meses dejó cenizas en el aire. Obscureció tanto la atmósfera en Locumba, Tacna y Arica, que varios días anduvieron con luces en la tarde.....*"

ESTRATIGRAFIA Y GEOQUÍMICA

Las secuencias volcánicas que constituyen el substrato pre-Tutupaca, pertenecen al volcanismo Barroso, comprendiendo a los aparatos volcánicos que presentan alto grado de erosión glaciaria, y que en los alrededores del área corresponde a los sistemas volcánicos Tacalaya, Chuquiananta (al oeste) y Nazaparco (al este), del volcán Tutupaca. Estas se encuentran expuestas hacia las cabeceras del río Callazas y en la quebrada Tacalaya; en menor proporción en las quebradas Azufre Chico y Azufre Grande. MORCHE, W. & DE LA CRUZ, N. (1994), designan a esta secuencia como piroclastos Chuquiananta (Nm-ch), asociándola a una actividad explosiva inicial de este volcán. Se caracterizan por su carácter piroclástico-sedimentario, compuesta por facies de piroclastos (cenizas, lapillis y litoclastos), intercalados con aglomerados y brechas volcánicas. Su grosor expuesto en el área varía entre 80 m (quebrada Tacalaya) hasta 130 m (río Callazas).

La estratigrafía del volcán Tutupaca evidencia quince eventos o secuencias volcánicas, de edad Pleistocena a Reciente, asociados al vulcanismo post-barroso y un volcanismo piroclástico más reciente. Los eventos volcánicos del Tutupaca, de acuerdo a su composición y disposición morfoestructural se han agrupado en tres fases o etapas evolutivas. Ver Lámina N° 1

La primera fase volcánica (Fase I) se desarrolló en el lado NW del volcán Tutupaca, y se caracteriza por ser de carácter lávica con alto contenido de Na₂O y K₂O: traquiandesitas, andesitas, la extrusión de un domo lava de composición traquiandesítica que concluyó con el establecimiento del estrato-cono Tutupaca oeste (de composición traquiandesítica) más antiguo. Las variaciones en el contenido de Na y K, pueden ser efecto de la misma diferenciación magmática, en la cual ocurren pequeñas concentraciones de estos elementos haciendo que la roca sea clasificada geoquímicamente como Traquiandesita.

La segunda fase (Fase II) del volcán también de carácter lávica dominó la parte sur, suroeste y Este del volcán Tutupaca. Su centro volcánico no se aprecia actualmente, pero se presume se ubicaría a ± 1 km al sur del cono Tutupaca este. Se reconocen en esta fase seis secuencias o eventos volcánicos, comenzando con la extrusión de lavas andesíticas, traquiandesíticas y dacíticas subhorizontales con una potencia de alrededor de 300 m. La última secuencia lávica está muy alterada hidrotermalmente. Concluyendo esta fase II volcánica se tiene una secuencia de domos alineados de composición traquiandesítica, con orientación N 30° W mostrando un control tectónico, hacia el sur del volcán. Estos cuerpos presentan una estructura cómica, con un diámetros que varían entre 0,20 y 0,60 km, algunos de forma alargada. Probablemente continúan hacia el norte, y se encuentren formando un domo-tapón en el estrato-cono Oeste. La presencia de estructuras aciculares (agujas volcánicas) en la falda NW de dicho cono, podrían corroborar esta hipótesis.

La tercera y última fase (Fase III) se desarrolla principalmente en el sector Norte y Noreste del volcán, y se caracteriza por ser de un volcanismo mixto (efusivo y explosivo), donde se formó el estrato-cono Tutupaca este que luego colapso con una explosión lateral dirigida (blast). El inicio de esta se dio con la extrusión de dos pequeñas coladas de lavas: una de composición andesítica y traquiandesítica al SW del volcán y otra más pequeña en el lado SE del volcán de composición basalto-andesítica. Luego se formó el estrato-volcán Tutupaca Este, yuxtapuesto al estrato-cono Tutupaca oeste, con emisión de flujos traquiandesíticos. Un período de tranquilidad interglacial es manifestó con el desarrollo de morrenas y depósitos fluvio-glaciares.

Posteriormente se inicia la actividad explosiva con los flujos piroclásticos de bloques y cenizas; luego flujos piroclásticos de pómez y cenizas extendidas en el sector NE del área de estudio, emplazados y canalizados en cauces y quebradas labradas por la actividad glaciaria pre-existente.

La unidad más joven corresponde a los productos de la explosión lateral dirigida (blast) del volcán Tutupaca este, que se emplazan en el sector noreste del área (Loma Taipicirca), extendiéndose hasta la parte inferior del cerro Angostura y morrenas frontales existentes en las cercanías de la Loma Iscaicirca, presentando bloques de hasta 5 m de diámetro, y detritus (material colapsado del Tutupaca), pómez y cenizas.

Las cenizas de naturaleza traquiandesítica y andesítica, removidas por el viento; así como las bombas de traquidacitas (de hasta 2 m de diámetro) encontradas en los alrededores del volcán, pueden estar asociadas a erupciones más recientes (años 1862 ó 1902).

Se tienen referencias que dataciones realizadas en una muestra de traquiandesita tomada en el estrato cono Tutupaca oeste, perteneciente a la Fase I, da $0,7 \pm 0,2$ M.a., otra de traquita Fase II nos da una edad de $0,26 \pm 0,2$ M.a., y para una muestra de andesita Fase III reporta una edad de $0,16 \pm 0,04$ M.a (INGEMMET, 1993, TOSDAL & otros, 1981).

Los análisis geoquímicos muestran que las lavas y los piroclastos de caída son de composición calco-alcalina-potásica. Las lavas fueron relativamente homogéneas a través del tiempo, básicamente de composición traquiandesítica, con variaciones a andesita basáltica, y por lo tanto con una viscosidad media a alta, confirmando el porque de su corto recorrido, alcanzando una distancia máxima de 15 km alrededor del cráter. Los flujos piroclásticos son de composición traquidacítica; los piroclastos de caída de composición andesítica y traquiandesítica. Petrográficamente las rocas corresponden de andesitas a dacitas.

En conclusión, todas las rocas se muestran normales en cuanto a la relación del SiO_2 con los demás elementos. Algo notorio es que las rocas tienen alto contenido en Na_2O y K_2O , razón por la cual las rocas corresponden a traquiandesitas y traquidacitas. También se puede observar que las rocas tienen valores altos en elementos como el estroncio y bario. Las composiciones geoquímicas son muy similares en las diferentes etapas del vulcanismo, notándose una pronunciada tendencia de traquiandesitas calco-alcalinas ricas en sodio y potasio. Solamente en la primera fase efusiva se aprecia una tendencia negativa en la relación de SiO_2 con el CaO , la que puede ser causada por el alto contenido de clinopiroxenos cálcicos (augita y diópsido) o por contaminación. Es posible considerar que se trata de un magma poco diferenciado, gradando de traquiandesitas a traquidacitas, con algunas rocas andesíticas en el límite. Algunas etapas de las diferentes fases efusivas son de alto contenido de piroxenos, con escasos anfíboles y biotitas, otras etapas contienen gran cantidad de anfíboles y biotitas y poco o nada de piroxenos, que pueden ser causados por una variación en el contenido de H_2O en el magma. Ver Gráfico N° 1. Se presentan algunos diagramas de acuerdo a la variación geoquímica de los productos volcánicos del Tutupaca. (Ver Gráfico N° 2)

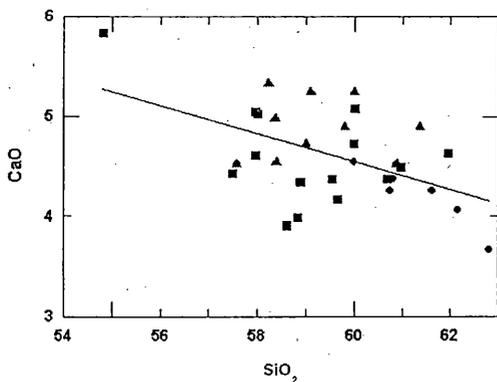
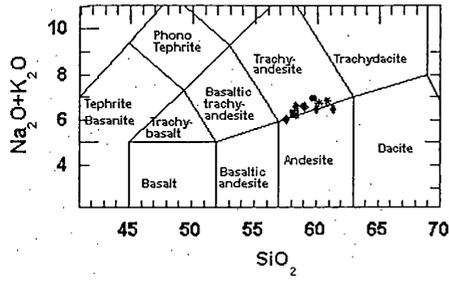
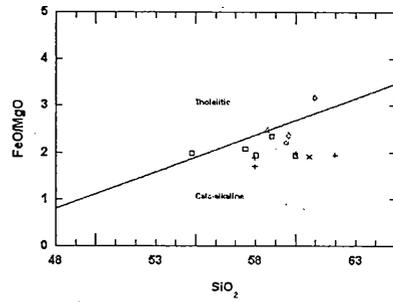
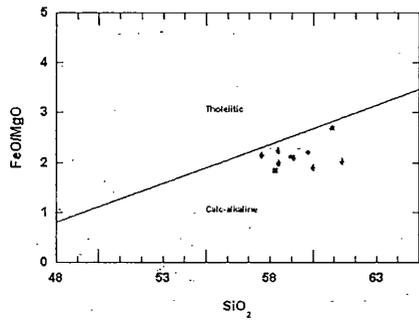
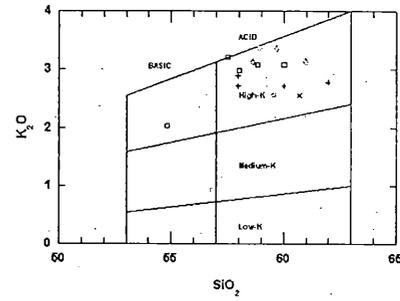
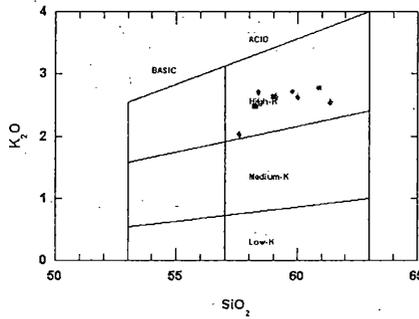
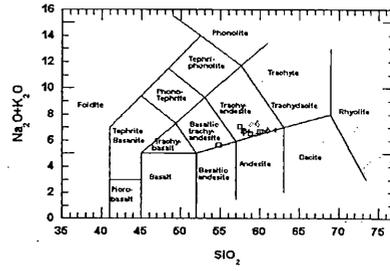


GRAFICO N° 1

I FASE (Efusiva)



II FASE (Efusiva)



III Fase (Efusiva y Explosiva)

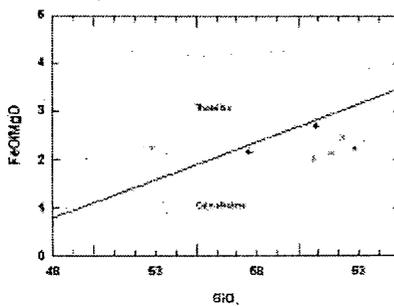
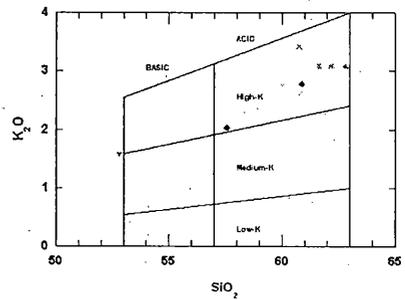
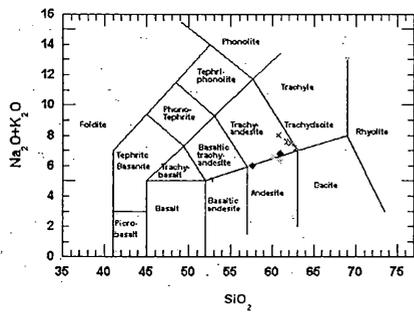


GRAFICO N° 2

ASPECTOS ESTRUCTURALES

Los rasgos estructurales más importantes están alineados a los sistemas principales denominados Fallamiento Andino y Fallamiento Antiandino e incluyen, fallamientos con actividad neotectónica, fracturas y lineamientos.

El Fallamiento Andino está relacionado al emplazamiento de los principales aparatos volcánicos (estrato-conos y domos), así como a las manifestaciones geotermales. Pertenecen a este sistema la: falla Tacalaya que limita los volcanes Tutupaca y Chuquiananta, y tiene relación con las fuentes termales que afloran hacia el sur de la falla; las fallas Banco, Falla Azufre Grande coinciden con zonas de alteración argílica (parte superior de las quebradas del mismo nombre) mientras la parte inferior de la quebrada presenta fumarolas y manantiales termales. A este sistema se asocia un alineamiento N30°-35° W, en el cual se emplazaron domos traquiandesíticos (secuencia terminal Fase II), expuestos en la falda sur del volcán. La estructura regional principal asociada al fallamiento Andino es la falla de Incapuquio situada a 45 Km al Sur del volcán Tutupaca.

El fallamiento Antiandino representado por fallas de dirección NE-SW, de poca extensión, entre las cuales se puede mencionar: Falla Vilacollo, la Falla Tutupaca y la Falla Quilcata.

También se han localizado, un sistema de fallas gravitacionales, producto de la actividad neotectónica del área, que afectan depósitos cuaternarios morrénicos y fluvio glaciares. Así como también la falla activa de Chulibaya, producto de esfuerzos de extensión norte-sur (Sebrier, et al, 1982), localizada a 7 km al sur de la falla de Incapuquio (20 km al SW de la Laguna de Aricota). Ver Lámina N° 2.

EVALUACION PRELIMINAR DE LAS AMENAZAS VOLCANICAS

La evaluación de la amenaza volcánica, debe hacerse no solo a partir del reconocimiento y distribución de productos recientes, sino también ha de tomarse en cuenta los datos geológicos que lleven a relacionar dichos productos con la evolución magmática del volcán. El mapa presentado en este trabajo se elaboró teniendo como base los datos de campo y los trabajos anteriores (L. Quispesivana 1994 y W. Morche 1994) y la actualización de este mapa, se preparará después de tener mayor información sobre dicha evolución. La morfología actual también sirvió para identificar zonas favorables para la canalización de algunos productos volcánicos.

Amenaza por flujos de lava: El registro geológico nos indica que en el Tutupaca, la máxima distancia alcanzada por un flujo de lava fue 15 km, según la morfología actual afectaría las partes altas del volcán para bajar luego por las quebradas Azufre Grande, Azufre Chico, Zuripujo, Talpicirca, y el río Tacalaya. Hacia el Norte, sólo la quebrada Taipicirca, tienen protección morfológica, donde las lavas rellenarían las depresiones existentes.

Pueden ser afectados poblados menores que se localizan en los alrededores del volcán, como Tacalaya (río Tacalaya) y Quilcata, las tuberías de agua de la SPSC que atraviesan las quebradas de Zuripujo, Azufre Grande y Azufre Chico, así como la red vial existente en las cercanías del volcán.

Amenaza por flujos piroclásticos: En el área de influencia del volcán Tutupaca se han identificado flujos piroclásticos, producto de las erupciones históricas. Son de dos tipos: Flujos de bloques, ceniza y flujos de pómez.

Una erupción explosiva de tipo vulcaniano o pliniano produce flujos de bloques, y ceniza y flujos de pómez. Estos pueden ser canalizadas por las quebradas alrededor del volcán y especialmente en los sectores SW y NE. En las quebradas Tutupaca, Azufre Grande, Azufre

Chico, qda. Zuripujo, Pahipatía y quebrada Taipicirca se nota la presencia de estas coladas en longitudes de hasta 5 km.

Amenaza por explosiones lateralmente dirigidas (blast): Al considerar los riesgos asociados a las zonas próximas al volcán, las explosiones laterales o dirigidas ("blast") son la mayor amenaza. Estas pueden definirse como expulsiones de relativamente corta duración donde el componente lateral del momento es elevado debido a las grandes sobrepresiones que se desarrollan en la boca de emisión, ya sea por deslizamientos o por cualquier otra razón (Kiefer, 1981). Las explosiones así formadas generan una corriente de densidad (flujos y/o oleadas piroclásticas) que se mueve a velocidades excepcionalmente altas (mayores a 100 m/s).

La erupción histórica del año 1802, fue provocada por una explosión lateralmente dirigida (blast), producida por el colapso explosivo de un domo, destruyendo la cara NE del cráter Tutupaca este; erosionando y rellenando la quebrada Taipicirca, flanqueadas al norte, por morrenas laterales, sobrepasándolas por sectores (hasta golpear con el C° Angostura, a 5 km); o doblar hacia el noreste, por la quebrada Taipicirca, arrojando sus materiales (ceniza, flujos piroclásticos, ceniza y bloques de hasta 5 m de diámetro) hasta las Pampas de Pahipatia, a unos 10 km del volcán, Ver Foto N° 1. En comparación con otras explosiones lateralmente dirigidas que se tienen en el registro histórico, ésta es de pequeña magnitud, siendo el del Monte Santa Elena (EEUU) en 1980, uno de los de mayor magnitud en los tiempos históricos, afectando un amplio sector que se extiende entre 25 a 35 km desde el volcán.

Si se volviera a producir tal evento (de la misma magnitud), en el cono Este, la explosión y generación sería por todo el flanco Este del volcán. Dada la escasa población en ésta área, la pérdida de vidas humanas sería solo de los que transitan por las carreteras del sector. También se verían comprometidas las tuberías de agua para las minas de Cuajone y Toquepala. En el estrato cono Oeste del volcán Tutupaca, existen las condiciones para que se produzca una explosión lateralmente dirigida: intenso fracturamiento del aparato volcánico, presencia de napa freática, y evidencias de la presencia de un domo-tapón en su interior (Ver Foto).

Para establecer las zonas de peligro, para estos eventos, se utiliza como modelos los eventos históricos (R. TILLING, 1993). Para este caso se recomienda utilizar las grandes explosiones dirigidas, tales como aquellas del volcán Bezymianny en 1956 y Mount Santa Elena en 1890; estas explosiones afectaron cientos de km² en un amplio sector, en un radio de 25 a 35 km desde el volcán. Así las zonas de peligro para tales eventos pueden ser círculos de 35 km de radio con centro en el volcán (R. TILLING, 1993). CRANDELL & HOBLITT (1986), sugieren un círculo con radio de 10 km (más 5 km adicionales de seguridad) alrededor del volcán, para los fragmentos balísticos.

Amenaza por caídas de tefra y proyectiles balísticos: Los datos sobre las erupciones históricas muestran que las emisiones de ceniza, que se distribuyen alrededor del volcán, no son de mucha potencia; pero que en la erupción de 1802 (explosión lateral dirigida) se reporta que oscureció los cielos de Tacna y Arica, al Sur del volcán. En los alrededores del volcán, hasta 3.0 km en dirección SSE y NNE, se han localizado bombas en formas de tartas y bombas de traquidacitas hasta de 2.0 m de diámetro, decreciendo según la distancia.

La zonificación de la amenaza por piroclastos de caída se basa en las erupciones históricas, por lo cual el área afectada se ha dividido en tres zonas que tienen una dirección predominante SSE, a partir del volcán. La zona de amenaza alta es aquella en donde las proyecciones balísticas se producirán y donde la acumulación de tefra posiblemente llegue a un metro, se ha tomado como distancia máxima 5 km; por lo tanto ésta sería la zona más afectada. Zona de amenaza media hasta 40 km al SSE, donde, dependiendo del tipo de erupción, la acumulación de tefra podría llegar hasta 15 cm. Zona de amenaza baja, de acuerdo a los reportes de erupciones históricas, se deja abierta tanto al SSE como al NNE; en esta zona las acumulaciones de tefras son menores.

Amenaza por emplazamiento o destrucción de domos: Los eventos eruptivos pasados, en el área del volcán Tutupaca, dieron lugar al emplazamiento de domos tipo 'domo-lava' andesíticos (Cerro Banco) y en forma de pequeñas extrusiones, como alineamiento de domos andesíticos de dirección NE (control tectónico), al sur del volcán. También por la presencia de depósitos de flujos de bloques y ceniza localizados hasta 5.0 km de extensión en las cabeceras de las quebradas Zuripujo, Azufre Grande y Tutupaca. Por estas razones cabe la posibilidad de formación de domos y su posterior explosión o colapsamiento. Así como el crecimiento de ellos acompañados por explosiones de tipo pliniano. Se han localizado estructuras aciculares ("agujas de lava" ó talus apron) en la cara sur del estrato cono oeste que podrían ser apéndices de un domo tipo Peleleano (BLAKE, S., 1989) dentro de la estructura del volcán.

Amenaza por avalancha de escombros: Las avalanchas de escombros se producen por el debilitamiento progresivo del aparato volcánico, ya sea por la alteración hidrotermal, erosión, intrusión, intenso fracturamiento y otros procesos, que desarrollan superficies de cizalla, las cuales actúan como superficies de deslizamiento. Dentro de este contexto el volcán Tutupaca, en sus dos estrato conos presentan indicios de ocurrencia de morfologías típicas de colapso de conos por avalanchas con fuerte actividad hidrotermal e intenso fracturamiento de sus estructuras.

MAPA PRELIMINAR DE AMENAZA VOLCANICA POTENCIAL

De acuerdo a los estudios anteriores, se elaboró un Mapa Preliminar de Amenazas del Volcán Tutupaca (según recomendaciones de R. TILLING, 1993), zonificando la amenaza volcánica potencial del volcán Tutupaca en tres tipos: Lámina N° 3.

I. Grado de Amenaza Alta: Area delimitada por los registros históricos de flujos de lava y flujos piroclásticos. Los eventos más probables de producirse en esta zona son: caídas de cenizas con acumulaciones hasta un metro en las cercanías del volcán y hasta 15 cm fuera de la misma, posibles impactos de proyección balística (bombas y bloques), explosión lateral (blast), flujos piroclásticos (flujos de bloques y cenizas y flujos de pómez), flujos de lava: (río Tacalaya y quebradas Azufre Grande y Azufre Chico, Zuripujo); flujos de lodo (lahars), acumulación de gases volcánicos, onda de choque, sismos de origen volcánico.

II. Grado de Amenaza Media: Area comprendida entre el límite de la amenaza alta y un círculo de 35 km, alrededor del volcán, delimitándose el área de posible afectación en un explosión dirigida (blast). Los eventos más probables de ocurrencia en esta zona son: caída de cenizas con acumulaciones entre 5 y 15 cm, corrientes de densidad, producto de una explosión lateral (blast), flujos de lodo, onda de choque.

III. Grado de Amenaza Baja: Area comprendida entre el límite de la amenaza media y las parábolas hacia el SSE y NNE, de acuerdo a la dirección del viento. Los eventos más probables de ocurrencia en esta zona son: caída de cenizas con acumulaciones del orden centimétrico y milimétrico, posibles inundaciones en el río Ilabaya-Locumba, producto de los posibles represamientos de material volcánico en las partes altas; onda de choque hasta 40 km del volcán.

Los alcances de la vulnerabilidad en la posible área de influencia del volcán Tutupaca, en los aspectos de densidad poblacional y obras de infraestructura (Láminas N° 4 y 5).

ESTADO ACTUAL DEL VOLCAN TUTUPACA

Sismicidad: La Sismicidad para el departamento de Tacna da cuenta de sismos con intensidades de hasta IX en la escala de Mercalli Modificada (ALVA HURTADO; 1984), habiendo ocurrido en los últimos 400 años, doce grandes eventos: 1582, 1600 (Epicentro: Omate), 1604, 1833, 1868 (epicentro: Arica) y 1877 (epicentro: Iquique), 1878 (epicentro: Tarapacá), 1906, 1908, 1934, 1948 y 1951. Los epicentros de los sismos superficiales más importantes ocurridos en el área de influencia del volcán Tutupaca. Estos en su mayoría están asociados a deformaciones

corticales, es decir sismicidad netamente tectónica (Lámina N° 2). Los pobladores de los caseríos o poblados menores de las cercanías del volcán indican no percibir vibraciones sísmicas, siendo raros en el área

Actividad hidrotermal: Actualmente, se expresa ésta actividad con la presencia de 50 manifestaciones de fuentes termales entre manantiales y fumarolas, con temperaturas entre 20 a 86°C en un radio de 13 km. Al SSE del volcán. Adicionalmente, se encuentran zonas de alteración argílica, sinter de sílice y carbonatos, brechas hidrotermales y solfataras inactivas con azufre. La recarga de los acuíferos es por la infiltración de aguas de lluvia que migran a través de fallas y fracturas a unidades geológicas permeables.

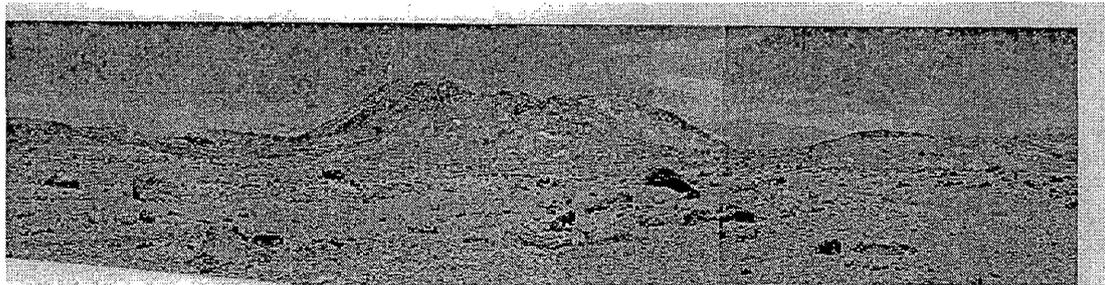
CONCLUSIONES

- La evolución del volcán Tutupaca ha tenido una migración de sus centros de emisión, migrando de norte a sur, para luego migrar hacia el norte y culminar con una explosión lateral dirigida (blast).
- El Sistema Volcánico Tutupaca se construyó básicamente en tres Fases o Etapas Evolutivas (con alrededor de 15 secuencias o eventos)
- Según la literatura vulcanológica, la mayor amenaza y riesgo es generada por los volcanes con magmatismo calco-alcalino y condiciones hidrogeológicas favorables al desarrollo de erupciones freatomagmáticas. Esta situación hace que el Tutupaca sea una gran fuente de amenazas.
- El volcán Tutupaca es un estrato volcán cuya actividad más reciente ha sido principalmente de tipo explosivo, dando productos de flujos: flujos de bloques y ceniza, flujos de pómez, además de materiales de caída como cenizas y proyectiles balísticos. El volcán Tutupaca en la actualidad esta en actividad fumarólica.
- La formación de domos debe tenerse en cuenta en las amenazas de futuras erupciones del volcán Tutupaca. Se tienen indicios de la presencia de domos-tapón, como el del Tutupaca oeste; el cual nos indicaría la eventualidad de una futura erupción.
- Las áreas más afectada en caso de una futura erupción serían las relacionadas con el cono este, es decir al NNE y al SSE. En caso de una posible explosión lateral (blast) del cono oeste, las áreas más afectadas serían las ubicadas entre el WNW y el SSW del volcán. Encontrándose las localidades de Candarave, Cairani, Camilaca, Huanahuara y los poblados menores de Tacalaya, Turun Turun, Quilcata, Laduyo y Huallani.

REFERENCIAS

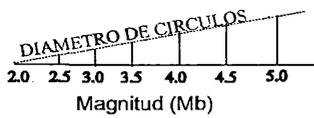
- ARAÑA José (1993).- La Vulcanología Actual. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid. Ed. CSIC.
- CRANDELL D. R., BOOTH B., KUMADINATA K., SHIMOZURO D., WALKER & G. P. L., WESTERCAMP D. (1984).- Source-book for volcanic-hazards zonation. UNESCO
- FIDEL S. L., MORCHE W. & NUÑEZ J. S (1997).- Inventario de Volcanes del Perú. Bol. N° 15, Serie C, INGEMMET. Riesgo Volcánico en el Sur del Perú. Bol. N° 16, Serie C, INGEMMET.
- INGEMMET-ELECTROPERU (1994).- Estudio Geovolcánico e Inventario Sistemático de Manifestaciones Geotermiales del Lote Tutupaca (Informe Interno, Tomos: I, II y III)
- MONSALVE M. L., PULGARIN B. L. (1993).- Mapa Preliminar de Amenaza Volcánica Potencial del Volcán Purace. INGEOMINAS. Revista Ingeominas N° 2, 1993
- MORCHE W. DE LA CRUZ N. (1994).- Geología y Petrografía de los Volcanes Pleistocénicos Yucamané y Tutupaca (Tacna). Resúmenes Extendidos, VIII Congreso Peruano de Geología, pag. 209-213
- TAVERA H. & SALAS H. (1999).- Análisis del Enjambre Sísmico de la Localidad de Calacoa en Mayo de 1999 (Región Omate - Moquegua). Instituto Geofísico del Perú (IGP)
- TILLING R. (1993).- Los Peligros Volcánicos. Organización Mundial de Observatorios Vulcanológicos (WOVO). Asociación Internacional de Vulcanología y Química Interior de la Tierra (IAVCEI). UNESCO - USAID - U.S. Geological Survey. 1993

FOTO 1: Cara norte del volcán Tutupaca Este, se observa la cicatriz dejada por la explosión lateral dirigida (blast) ocurrida en 1802 y los materiales dejados por esta en las lomas de Taipicirca (cabecera de la qda. Taipicirca), grandes bloques de hasta 5.0 m de diámetro, cenizas y pómez.





PROFUNDIDAD DE SISMOS



- Falla
- Lineamientos
- N — Falla Neotectónica
- A — Falla Activa
- ▲ Volcan

ASPECTOS ESTRUCTURALES Y
SISMICOS DEL AREA DE ESTUDIO

LAMINA N° 02

