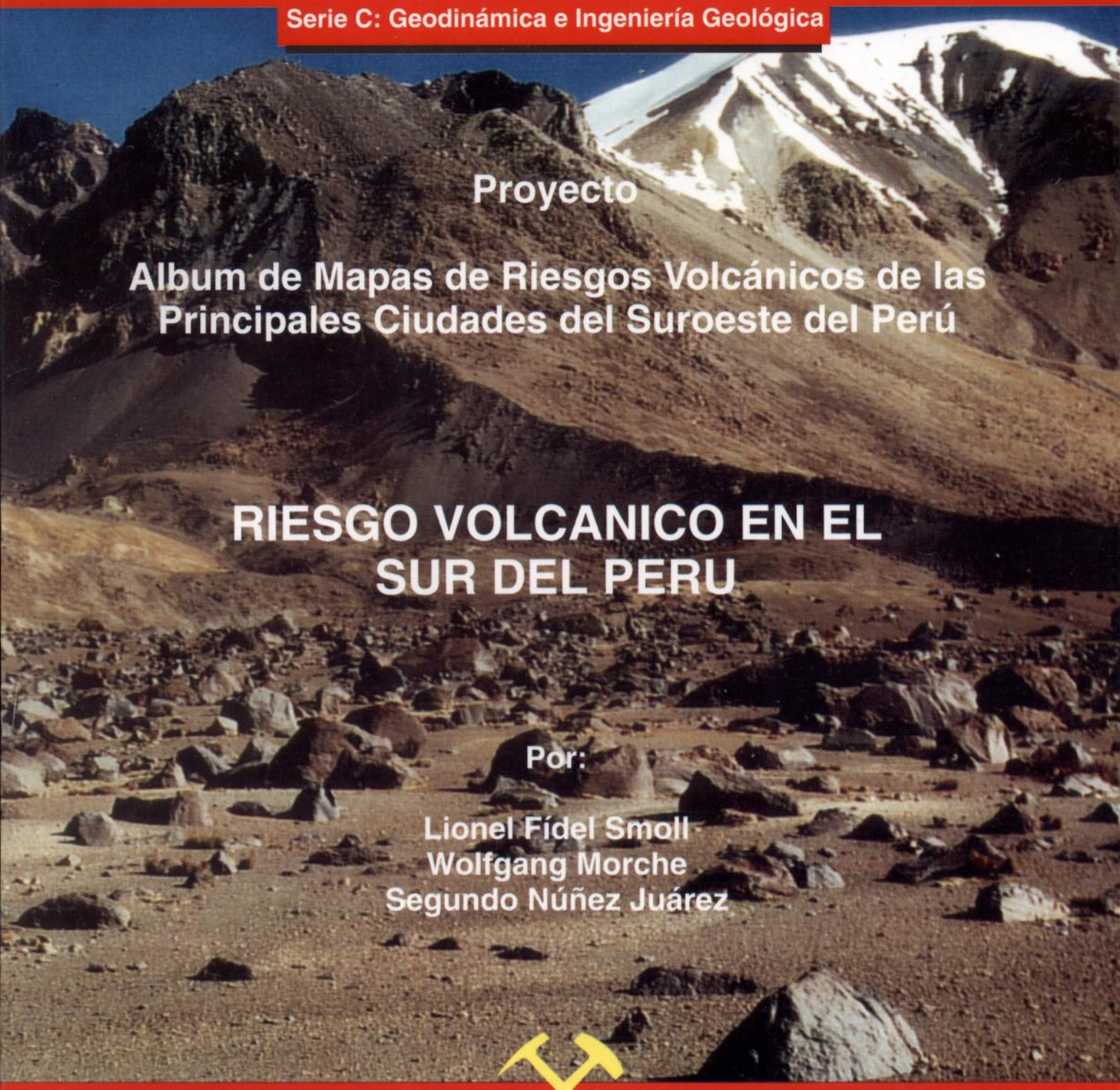
REPUBLICA DEL PERU

SECTOR ENERGIA Y MINAS

INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO

BOLETIN Nº 16

Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica



Proyecto

Album de Mapas de Riesgos Volcánicos de las Principales Ciudades del Suroeste del Perú

RIESGO VOLCANICO EN EL SUR DEL PERU

Por:

Lionel Fídel Smoll
Wolfgang Morche
Segundo Núñez Juárez

INGEMMET

Lima - Perú
Mayo, 1997

República del Perú

Sector Energía y Minas

INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO

Boletín N° 16

Serie C : Geodinámica e Ingeniería Geológica

Proyecto:
Album de Mapas de Riesgos Volcánicos de las Principales Ciudades del Suroeste del Perú

RIESGO VOLCANICO EN EL SUR DEL PERU

Por:

Lionel Fídel Smoll
Wolfgang Morche
Segundo Núñez Juárez

INGEMMET

Lima - Perú

Mayo, 1997

INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO

INGEMMET

Alberto Pandolfi Arbulú
Ministro de Energía y Minas

Juan Mendoza Marsano
Vice-Ministro de Minas
y
Presidente del Consejo Directivo del INGEMMET

Walter Casquino Rey - Roberto Plenge Cannock
Lindberg Meza Cárdenas - Nicanor Vílchez Ortiz
Gerardo Pérez Del Aguila
Consejo Directivo

Hugo Rivera Mantilla
Director Técnico

FUNCIONARIOS TECNICOS RESPONSABLES DE LA EDICION

Oscar Palacios Moncayo
Director General de Geología

Antonio Guzmán Martínez
Director de Geotecnia

Francisco Herrera Romero
Director de Información y Promoción

Impreso en INGEMMET, Primera Edición, 1997
Coordinación, Revisión y Edición
Dirección de Información y Promoción, INGEMMET
Lima - Perú

Contenido

RESUMEN 1

INTRODUCCION 3
Investigaciones en el futuro 5
Métodos de estudio del Potencial Volcánico 5

MARCO GEOTECTONICO 7
El Cinturón Volcánico activo de los Andes Centrales 7
Marco Tectónico Volcánico 9
Episodios Volcánicos desde el Mioceno superior 11
Volcanismo Mio-Plioceno: Grupo Barroso 11
Volcanismo Cuaternario 12

METODOS DE EVALUACION Y PREDICCION DEL RIESGO VOLCANICO . . 15

ASPECTOS VULCANOLOGICOS 17
Acción Volcánica 17
Productos Volcánicos y sus amenazas 18
Flujos / derrames de lava 18
Domos 22
Erupciones explosivas: piroclastos 23
Eyecciones balísticas 24
Caídas de piroclastos 24
Flujos piroclásticos 25
Nubes ardientes 26
Oleadas / ondas basales (base surges) 27

Avalanchas de escombros 28
Lahares 29
Gases volcánicos 30

AMENAZA VOLCANICA 33
Conceptos 33
Criterios de amenaza 34
Marco Socio-Económico 35
Características de los volcanes activos en el Perú 36
Mapas de amenaza 36

RIESGO VOLCANICO 61

BIBLIOGRAFIA 65

RESUMEN

El volcanismo cuaternario en América del Sur, se distribuye en tres grandes segmentos o cinturones sobre el margen occidental andino de la placa continental americana y está íntimamente ligado a los procesos geodinámicos de subducción de la placa de Nazca. En el Perú, está comprendido en el Segmento Central (CVZ Central Volcanic Zone), que contiene la Cadena de los Andes Centrales de Perú - Chile - Bolivia y NO de Argentina, región donde el volcanismo no ha sido muy activo en los últimos cien años, pero que en términos de "pronóstico eruptivo" constituye una de las regiones de mayor peligro volcánico a nivel mundial.

En el Perú se han reconocido e inventariado más de 400 estructuras volcánicas pliocuaternarias, la mayor parte poco reconocibles por encontrarse en un estado muy avanzado de destrucción a causa de los agentes de meteorización. Históricamente cuatro volcanes han tenido actividad durante los últimos 100 años, con aproximadamente 10 fases de erupciones. Sin embargo de casi todos ellos, faltan conocimientos básicos respecto a su actividad en el pasado, base elemental para la predicción al futuro.

Las regiones con actividad volcánica en el país se concentran, entre los paralelos 15°30' y 17°28' de Latitud Sur, donde se localizan los 14 volcanes potencialmente activos, todos ellos en línea paralela a la costa, entre los cuales llama la atención la actividad de los volcanes Sabancaya, Ubinas y Misti. Entre estos también es importante mencionar a los volcanes-nevados Coropuna y Ampato, ya que de activarse sólo el calentamiento de sus hielos podrían provocar efectos catastróficos, por flujos de lodo o lahares a lo largo de los valles de Majes, Sihuas y Colca respectivamente.

INTRODUCCION

En el marco del "Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales DIRDN 1990 - 2000" proclamado por las Naciones Unidas, el INGEMMET ha recibido del Ministerio de Energía y Minas, el encargo de elaborar un "Atlas de mapas de Riesgos Volcánicos en el Sur del Perú", trabajo encomendado a la Dirección de Geotecnia dentro del Programa "Inventario Nacional de Riesgos Naturales".

Hasta el presente, todavía, hay poca conciencia de los posibles riesgos volcánicos en el país; los estudios e investigaciones hasta ahora están dirigidos, por su impacto obvio, a los efectos de los sismos, deslizamientos, huaycos, inundaciones fluviales y desertificaciones.

La poca atención a los riesgos volcánicos resulta de la dinámica específica de la actividad volcánica, que puede ser extremadamente discontinua, con largas fases de aparente tranquilidad, para ser interrumpidas en forma sorprendente y muy peligrosa a la vez.

Recordemos, por ejemplo, a la erupción paroxismal del Volcán Huaynaputina en el año 1600 (la erupción histórica más explosiva de Sudamérica), que ocurrió aparentemente sin mayores signos premonitores y cuyos efectos hoy en día significarían pérdidas humanas e ingentes pérdidas económicas en el Sur del Perú. Este volcán debe ser considerado como activo en el sentido geológico, con la posibilidad inherente de futuras erupciones de la misma magnitud; debido a que los volcanes tienen la tendencia de repetir su actividad en su estilo, frecuencia y magnitudes de erupción, durante su "tiempo de vida", el cual puede comprender cientos de miles de años.

Esta primera compilación nos permite obtener la información base, de los riesgos volcánicos que se podrían presentar en una posible reactivación volcánica y tiene por finalidad establecer la vulnerabilidad debido a la actividad volcánica en el Sudoeste del País. Está conceptuado como un banco de datos abierto (open file), que en el futuro pueda ser completado, mediante mayores investigaciones y estudios de las estructuras volcánicas en el país.

Como parte del plan estratégico en la prevención y mitigación de desastres naturales en el Perú, este trabajo debe servir para desarrollar futuras investigaciones y elaborar reco-

Página en blanco

mendaciones para que las autoridades gubernamentales establezcan programas de mitigación ante los peligros volcánicos que amenazan esta región.

La Región Andina de América del Sur constituye una de las áreas de mayor actividad volcánica y sísmica de la tierra, donde, como parte del llamado "anillo de fuego" circumpacífico, se han reconocido tres grandes segmentos volcánicos activos (Zona Volcánica Septentrional, Central, y Meridional respectivamente), que representan alrededor del 10%, tanto de los volcanes activos como de las erupciones históricas registradas en el mundo.

Aunque, por lo general, las consecuencias desastrosas derivadas de las erupciones volcánicas en comparación con otras catástrofes naturales, son limitadas o de poca recurrencia (menos de 600,000 víctimas directas e indirectas a nivel mundial, desde el año 1600 a. d. J. C. hasta la actualidad, BLONG, 1996), episodios recientes han provocado cuantiosas víctimas e ingentes pérdidas económicas, y una extensa devastación ambiental estimada en más de 29,000 víctimas, 830,000 refugiados y más de 3 mil millones de dólares en daños materiales en los últimos 20 años, SIMKIN y SIEBERT, 1994.

Las erupciones del Nevado del Ruiz (Colombia, 1985), Lonquimay (Chile, 1989), Pinatubo (Filipinas, 1991), Hudson (Argentina, 1991) y Mayon (Filipinas, 1993) lo demuestran y también caracterizan la actividad volcánica. El "tiempo de vida" de un centro eruptivo geológicamente activo, puede comprender varios cientos de miles de años, caracterizados por largos lapsos de aparente tranquilidad hasta dormido, e interrumpido por períodos y fases de erupciones a veces muy cortas (semanas, meses) pero desastrosos. Por ejemplo el Volcán Sabancaya, antes de su reciente fase eruptiva desde 1986, no fue ni siquiera registrado en el compendio internacional "Volcanoes of the World" (SIMKINS et al., 1981). El 75% de las erupciones más grandes ocurridas desde el año 1800 hasta la actualidad, ocurrieron en volcanes que no tenían erupciones históricas (SIMKIN y SIEBERT, 1994).

En 1985 el volcán Nevado del Ruiz, en Colombia, dió la primera señal de alarma de una activación volcánica; iniciándose, entonces un programa de vigilancia y como resultado del mismo se logró monitorear los flujos de lodo (lahares). Sin embargo, pese a ello constituye una experiencia desafortunada y trágica, pues no se realizaron las coordinaciones del caso con la población de Armero, ciudad ubicada en las faldas del Ruiz para una evacuación oportuna de sus pobladores y el efecto fue de 23,000 muertos evitables y gran parte de la ciudad destruida.

Teniendo en cuenta las experiencias pasadas, debemos estar preparados para afrontar este tipo de fenómenos, cuando ocurran en el país.

INVESTIGACIONES EN EL FUTURO

El análisis de la historia de la actividad de un volcán durante un lapso de muchos miles de años, de la dinámica de su actividad eruptiva y producción a través de sus depósitos, así como la determinación de las características de la fase presente en la vida de un volcán; constituyen la base para la predicción general de erupciones volcánicas y posibles desastres.

En base a los datos obtenidos y los modelos derivados, se puede deducir el número, frecuencia, ritmo, tipo, carácter y energía de las erupciones que pueden ocurrir en el futuro.

Además del análisis volcanológico es de primordial importancia la determinación de las edades de las distintas fases de erupciones mediante dataciones radiométricas, tefrocronología, etc.

METODOS DE ESTUDIO DEL POTENCIAL VOLCANICO

- Cartografía geológica - geomorfológica detallada de las estructuras volcánicas.
- Estudio estratigráfico de las secuencias piroclásticas en los alrededores, documentando la historia eruptiva del volcán y las magnitudes de las fases explosivas.
- Dataciones de los suelos y restos orgánicos dentro de los depósitos piroclásticos para determinar las edades de los eventos.
- Análisis de las facies proximales, determinando la alternancia e importancia relativa de fases efusivas con relación a las fases explosivas del volcán.
- Muestreo de los productos (lavas, piroclastos) para determinar el carácter y evolución de la composición magmática.
- Estimación de los volúmenes de material erupcionado y tasas de producción del sistema eruptivo para diferentes fases en su desarrollo, este trabajo se realiza mediante mapas, paleoreconstrucciones e isopacos de tefra.

En el Perú actualmente además del INGEMMET, se encuentran los grupos de trabajos del Instituto Geofísico del Perú (IGP) y de la Organización Francesa (ORSTOM), trabajando en el campo de la evaluación del riesgo volcánico y su mitigación.

La red de observación internacional de la actividad volcánica (SEAN), incluye a los volcanes activos del Perú. Información actualizada se puede obtener por INTERNET.

En la primera parte del presente documento en forma resumida se describe el contexto geotectónico-magmatológico del volcanismo andino; en una segunda parte, se ilustra sus formas, productos y amenazas inherentes, en la tercera parte se describe el marco del riesgo volcánico para la población del Sur del Perú.

MARCO GEOTECTONICO

EL CINTURON VOLCANICO ACTIVO DE LOS ANDES CENTRALES

Durante los últimos 40 millones de años, desde el Eoceno-Oligoceno hasta la actualidad, el volcanismo andino a lo largo de una franja paralela a la costa, ha presentado varios ciclos de mayor o menor actividad cuyos depósitos y estructuras han permitido reconocer migraciones progresivas y oscilantes hacia el Este, que pueden interpretarse como reflejos de la velocidad de subducción (p.ej. LÉFÈVRE, 1973).

En el Plio-Pleistoceno la actividad volcánica se restringe a tres grandes segmentos (ver Figura N° 1) separados por zonas sin volcanismo aparente:

- Andes Septentrionales (Colombia-Ecuador, NVZ),
- Andes Centrales (Perú-Chile-Bolivia-NO de Argentina, CVZ) y
- Andes Meridionales (Chile-Argentina, SVZ).

Estos segmentos volcánicos, están íntimamente asociados a la segmentación que presenta el plano de subducción de las placas de Cocos, Nazca y Farallón. Ver Figura N° 2 (HUAMAN, 1995).

El volcanismo activo del Perú, en el presente, está ausente en el norte de la prolongación de la dorsal de Nazca, probablemente es un límite de la segmentación de la placa subducida y constituye el límite norte de la actual CVZ.

En los tres grandes segmentos o cinturones, se han reconocido un total de 129 volcanes activos, con un registro de 515 erupciones históricas ocurridas desde el año 1500 hasta la fecha (DE SILVA y FRANCIS, 1991, SIMKIN y SIEBERT, 1994).

El cinturón de los Andes Centrales (Perú, Chile, Bolivia y NO de Argentina, CVZ) se extiende entre los 15°30' y 27°15' de Latitud Sur con una longitud aproximada de 1,360 km. Durante los últimos cien años, se registran 11 volcanes en diferentes estados de actividad entre fumarólicos hasta violentamente explosivos (SIMKIN y SIEBERT, 1994), estos son:

SEGMENTOS VOLCANICOS ACTIVOS EN SUD AMERICA

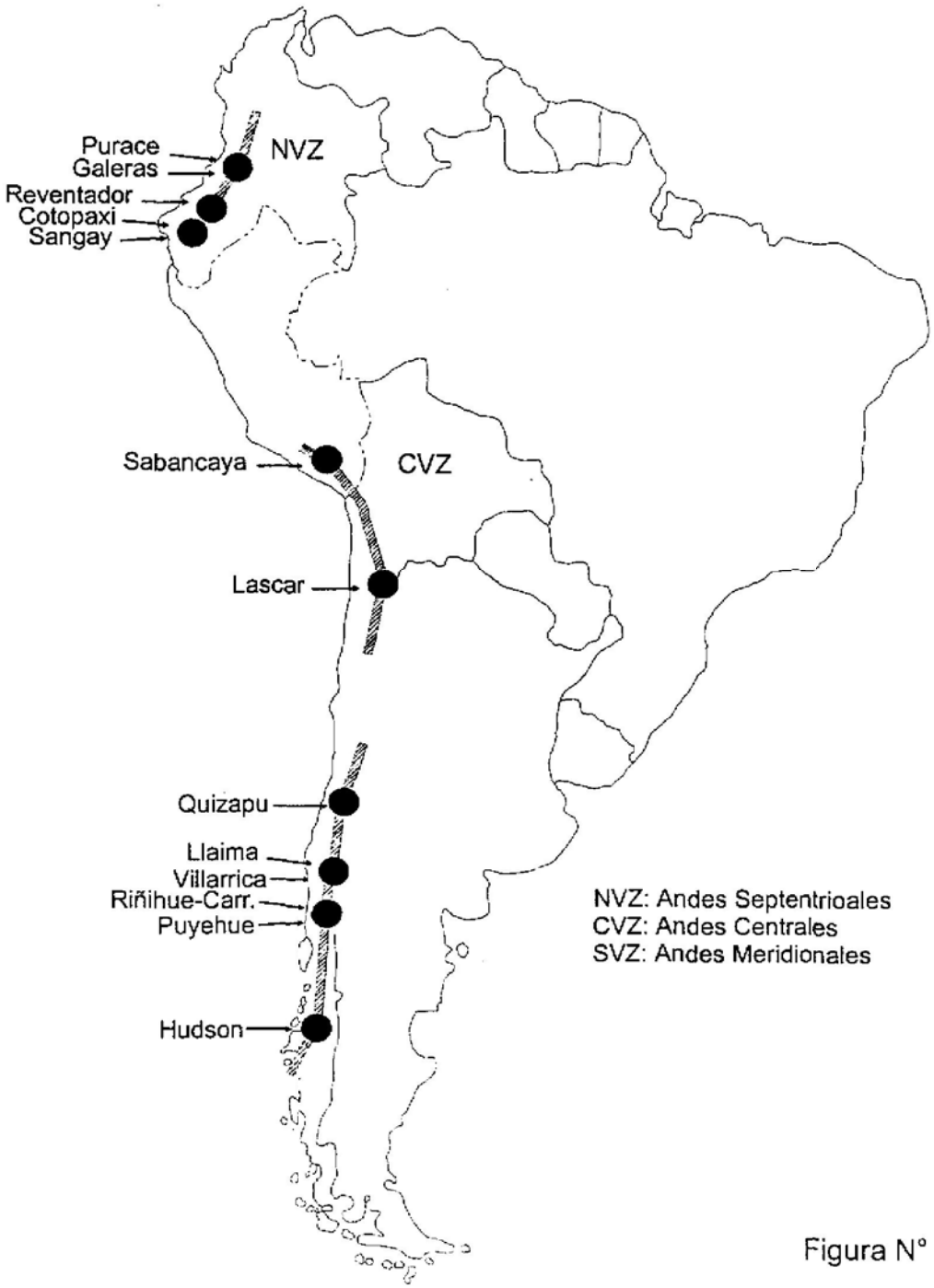


Figura N° 1

Perú	Chile	Argentina
Sabancaya	Tacora	Aracar
Misti	Guallatiri	
Ubinas	Isluga	
Tutupaca	San Pedro	
	Putana	
	Lascar	

El único volcán que ha tenido una actividad significativa respecto a duración y volumen erupcionado en esta región durante los últimos cien años es el volcán Lascar, situado en la Cordillera altiplánica chilena. Esta región ha tenido en el pasado una significativa actividad eruptiva, registrándose en ella el mayor número de aparatos volcánicos y calderas gigantes. Su bajo vigor eruptivo durante los últimos cien años, no debe confundirse con la alta peligrosidad que tienen los volcanes de carácter andesítico - dacítico.

MARCO TECTONICO VOLCANICO

Los grandes rasgos morfoestructurales presentes actualmente en la cadena andina, se modelan desde fines del Cretáceo hasta la actualidad, a causa de la actividad magmática-volcánica predominantemente desde las intrusiones de cámaras magmáticas gigantes del Batolito de la Costa a lo largo del margen occidental del continente sudamericano. En el Cenozoico predomina la actividad volcánica-magmática en forma de episodios discretos, después de la fase tectónica compresiva Incaica (hace 40 a 45 m.a.), controlados aparentemente por la evolución discontínua de un régimen tectónico más o menos compresivo (p.ej. SEBRIER et al., 1988).

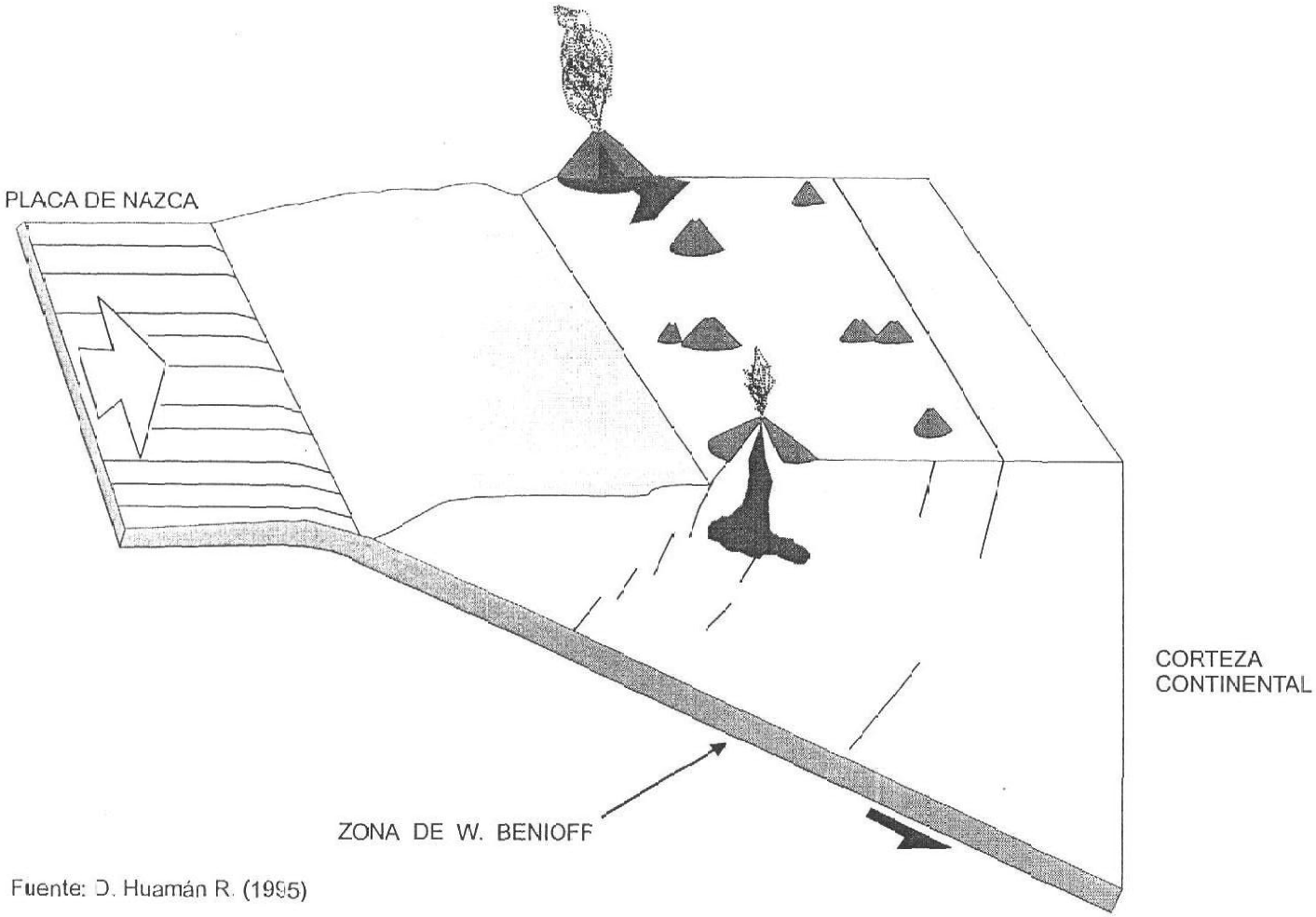
El volcanismo se manifiesta a partir del Eoceno-Oligoceno en las formaciones Calipuy inferior y superior en el Norte y las formaciones correspondientes de Tantará, Sacsaquero, Castrovirreyna, Tacaza, Caudalosa, Barroso, etc., y sus equivalentes en el Sur del país, constituyendo así gran parte de la Sierra peruana.

En forma más precisa, esta actividad magmática-volcánica se puede diferenciar en varios pulsos discretos, interrumpidos por fases de aparente calma volcánica (p.ej. SEBRIER et al. 1988, SÁNCHEZ y LEÓN, 1995):

a) Una evolución oligo-miocena, desde hace 40 m.a. originó el volumen montañoso andino y los grandes rasgos estructurales. En esta parte de la evolución geodinámica la actividad volcánica alcanzó su mayor extensión y desarrollo entre el Oligoceno medio al Mioceno medio (30 a 15 m.a.).

b) Una evolución mio-pliocena, desde hace 10 m.a. hasta el presente con culminación en el lapso de 5 a 7 m.a. fue el período durante el cual la cadena tomó su configuración actual, también en varios pulsos discretos (5-7, 3-4, 2.5 m.a.,

ZONA DE SUBDUCCION DE LA PLACA DE NAZCA DEBAJO DE LA PLACA CONTINENTAL DE AMERICA DEL SUR



Fuente: D. Huamán R. (1995)

Figura N° 2

<1m.a.). La actividad volcánica en el Plioceno fue más extensa que la del Cuaternario y su desarrollo más pronunciado en el Sur del Perú. En el Cuaternario, la actividad volcánica se circunscribió netamente al extremo Sur del Perú, y la actividad se prolonga hasta el presente. En el Cuaternario reciente, se identifican por lo menos dos glaciaciones modelando la morfología actual.

Petrológicamente el magmatismo que caracteriza el volcanismo en este segmento andino (CVZ) es típicamente calco-alcalino enriquecido en potasio, con predominio de andesitas y rocas ácidas como dacitas y riolitas. Hay una cierta variación desde la Cordillera Occidental hacia el Altiplano y en la Cordillera Oriental, se incrementan los elementos incompatibles como potasio, llevando a series shoshoníticas en las zonas orientales de la faja volcánica.

EPISODIOS VOLCANICOS DESDE EL MIOCENO SUPERIOR

A este lapso corresponde la gran mayoría de las estructuras volcánicas identificables en la actualidad (ver Inventario de Volcanes).

Tomando como base las investigaciones geológicas realizadas por el INGEMMET con la Cooperación Técnica del British Geological Survey, en la Cordillera Occidental en el Sur del Perú (KLINCK y PALACIOS et al., 1991), se ha reconocido la secuencia volcánica desde el Mioceno tardío hasta el presente con los siguientes episodios volcánicos.

Volcanismo Mio-Plioceno: Grupo Barroso

Las formaciones volcánicas del Mioceno inferior están caracterizadas por un plegamiento posterior bastante pronunciado. A partir de aproximadamente 10 m.a. el volcanismo se reactivó en el Sur del Perú, acompañado de movimientos tectónicos relativamente leves. Está considerado como volcanismo Barroso (Grupo Barroso en la cartografía geológica) en el Sur y sus equivalentes en el Norte hasta las latitudes de Ayacucho y Huancavelica (ver Mapa N° 1). Las dataciones radiométricas, que todavía no son exhaustivas, indican un mayor desarrollo de la actividad volcánica en el lapso 5 - 7 m.a., con precursores y fases posteriores entre 3 - 4, 2.5, y ≤ 1m.a.

Las estructuras volcánicas representan en gran medida un volcanismo alternadamente explosivo y efusivo (estratovolcanes), con producción predominante de rocas andesíticas y traquiandesíticas. En términos generales se debe caracterizar el volcanismo Barroso como explosivo, con un gran potencial de amenaza inherente.

Frecuentemente, aunque no siempre, se pueden observar ciertas etapas características en la evolución de los centros eruptivos, empezando con erupciones iniciales muy explo-

sivas (flujos piroclásticos, ignimbritas), seguidas por la efusión relativamente más tranquila de lavas andesíticas en alternancia con actividad explosiva (estratovolcanes) hasta las extrusiones tardías de domos y domo-lavas de naturaleza dacítica hasta riolítica. Adicionalmente se observa fases de colapsos, erosión y alteración por los sistemas hidrotermales acompañantes.

Volcanismo Cuaternario

Este episodio es reconocido en el Sur del Perú con diferentes nombres que devienen de los centros donde emergen; así tenemos los volcánicos Andahua, Chachani, Paucarani, Sara Sara, Ampato, etc.; relacionados a las cámaras magmáticas del volcanismo Barroso, correspondiendo al vulcanismo del Holoceno de una etapa post-glaciar, constituyendo una pila alrededor de los centros volcánicos.

Los centros volcánicos están relacionados a un control estructural en profundidad, a lo largo de fracturas de dirección NO-SE (andino) y SO-NE, que determinan el alineamiento de los aparatos volcánicos.

El volcanismo Cuaternario se manifiesta en cada centro con diversas etapas explosivas y efusivas, caracterizadas en el primer caso por la expulsión de bombas, lapilli y cenizas que separan las etapas efusivas representadas por flujos de lava.

Entre los materiales volcánicos cuaternarios se pueden encontrar flujos de barro (lahares), tal como p. ej. ocurren en los volcanes Ubinas y Misti, "avalanchas de escombros" como en las cercanías de los volcanes Ticsani y Tutupaca.

La composición de sus rocas cae dentro de la clasificación de las andesitas, andesitas basálticas, traquiandesitas, dacitas, y riolitas.

La edad asignada mediante las determinaciones radiométricas se encuentra en menos de un millón de años, habiéndose obtenido edades por K/Ar de 0.9, 0.7 y 0.6 m.a. para las lavas que bajan de los volcanes Ampato y Hualca Hualca (KLINCK y PALACIOS et al., 1991). Para las lavas que rodean el valle del Colca, cerca a Chivay se obtienen edades de 0.23 m.a. (KANEOKA y GUEVARA, 1984). Muchos eventos volcánicos carecen de determinaciones radiométricas, una necesidad crucial en las futuras investigaciones para entender la evolución del volcanismo actual.

Con las clasificaciones tentativas en grupos de edad, expresadas en el mapa del Inventario de los Volcanes, se puede deducir a grandes rasgos, de que actualmente la actividad volcánica se encuentra restringida a pocos centros. Además se nota la concentración de aparatos volcánicos activos en el pasado geológico reciente (Cuaternario) en la zona del departamento de Arequipa, delimitando una subprovincia volcánica potencialmente acti-

va. En contraste se observa la amplia distribución de aparatos volcánicos en estado durmiente o extinto de edad Plioceno, indicando la reducción paulatina de la actividad magmática en los últimos millones de años.

En la actualidad se puede observar actividad volcánica en los volcanes Sabancaya (fumarolas y erupciones estrombolianas de cenizas y lapilli), Ubinas (fumarolas), Misti (fumarolas), y Tutupaca (fumarolas), y numerosas manifestaciones de sistemas geotermales activas como manantiales calientes, geysers, etc., asociadas a cámaras magmáticas calientes (STEINMUELLER Y ZAVALA 1997, y otros).

Página en blanco

METODOS DE EVALUACION Y PREDICCION DEL RIESGO VOLCANICO

Los métodos de evaluación y predicción del riesgo volcánico son principalmente los siguientes:

- Predicción general: Caracterización de zonas de actividad volcánica, inventario de estructuras volcánicas, historia volcánica, cartografiado de zonas de amenaza, estimación de riesgo y vulnerabilidad. Por ejemplo: el presente trabajo.

- Predicción específica: Predicción del comportamiento de un volcán en el próximo futuro ante una erupción esperada. Monitoreo de los cambios físico-geoquímicos del aparato. Por ejemplo: los trabajos de monitoreo volcanológico de los geólogos del IGP en Arequipa (HUAMÁN 1995, y otros).

En el primer análisis el enfoque es la predicción general con una caracterización del volcanismo en el Perú, y se presentan los aspectos vulcanológicos, los antecedentes básicos de la actividad volcánica andina, la amenaza y riesgo volcánico en el Sur del país y el Inventario de Volcanes del Perú.

Página en blanco

ASPECTOS VULCANOLOGICOS

En este capítulo se trata de manera resumida los diferentes tipos de volcanes, clases de erupciones y clases de daños que producen.

ACCION VOLCANICA

La actividad volcánica varía desde una suave emisión de lava hasta explosiones violentas que por columnas de erupciones arrojan grandes volúmenes de fragmentos de roca a gran altura.

La naturaleza de la actividad volcánica y el tipo de volcanes está determinada por:

- composición geoquímica (contenido de SiO_2, volátiles) del magma.
- propiedades físicas (viscosidad, temperatura, densidad) del magma.
- geometría del conducto / cráter.

Es controlado principalmente por dos factores:

1. La viscosidad del magma que llega a la superficie.
2. La cantidad de gases desprendidos. Los gases pueden producirse dentro del magma o ser consecuencia del contacto de ese magma con aguas subterráneas o superficiales, que producen vapores.

Las erupciones **no explosivas** son características de volcanes con magmas basálticos o básicas y las **explosivas** están asociadas con la emisión de magmas ácidos. Los gases magmáticos se desprenden fácilmente de la lava muy fluida (básicas), sin explosiones o con explosiones pequeñas. En la lava viscosa (ácida, con alto contenido de SiO_2), sin embargo las burbujas de gas que se separan de la masa fundida sólo pueden desprenderse con dificultad; en consecuencia, suelen acumularse en ella hasta que la presión aumente lo suficiente para romper el líquido viscoso que las rodea y la roca solidificada, produciendo una explosión cuya fuerza depende, de la cantidad de gases y de la presión alcanzada.

Los materiales expulsados por la explosión pueden consistir en una lluvia de fragmentos (gotas) que tienden a disgregarse, más aún, por la expansión del gas que encierran, o en fragmentos sólidos de rocas más antiguas de la roca caja, o de sólidos o semisólidos de lava de la erupción actual; por lo común se encuentran ambos tipos de materiales. Los fragmentos (gotas) viscosos del magma, al enfriarse en el aire se convierten en vidrio volcánico.

La viscosidad del magma es importante en la acción volcánica y depende en parte de factores como la temperatura, contenido de volátiles (H_2O, CO_2, etc.) y la cantidad de materias sólidas (incluidos los fragmentos de origen extraño y los cristales formados dentro del propio magma); pero el factor más importante es la cantidad de sílice (SiO_2) de la masa fundida. La viscosidad parece guardar más relación con el grado de saturación de sílice que con el contenido absoluto de éste. Con el exceso de sílice es probable que se produzcan pastas más ricas en este elemento, la viscosidad suele aumentar con el contenido de silicio: por ejemplo, las dacitas y riolitas suelen ser más viscosas que las andesitas y las andesitas más que los basaltos.

Los largos períodos de inactividad hacen que la diferenciación en la cámara magmática produzca magma eruptible de alto contenido silícico y de mayor contenido de volátiles, las erupciones que siguen a largos períodos de tranquilidad (inactividad) suelen ser violentamente explosivas.

Evidencia de un estado latente del sistema eruptivo brindan las manifestaciones geotermales de manantiales calientes con componentes hidrotermales, es decir aguas ricas en Cl, S, Na, K, Li, As, B, etc., generadas por el contacto de aguas meteóricas con la roca caja superior de la cámara magmática.

En el Cuadro N° 1 se resume la clasificación habitual de las erupciones, basado en el carácter de la actividad.

PRODUCTOS VOLCANICOS Y SUS AMENAZAS

Los productos de las erupciones volcánicas, desde el punto de vista de las clases de destrucción volcánica, suelen ser los siguientes:

Flujos / derrames de lava

Se denominan lavas a los magmas que han llegado a la superficie, con temperaturas entre 750° hasta 1100° C, manteniendo altas temperaturas internas por mucho tiempo después de la efusión. El volumen, extensión, y velocidad de avance de los derrames de lava

CUADRO N° 1

CLASIFICACION DE LAS ERUPCIONES VOLCANICAS
(según Mac Donald, 1972; Fisher y Schmincke 1984, y otros)

TIPO DE ERUPCIÓN	NATURALEZA FÍSICA DEL MAGMA	CARÁCTER DE LA ACTIVIDAD EXPLOSIVA	NATURALEZA DE LA ACTIVIDAD EFUSIVA	NATURALEZA DE LOS PIROCLASTOS DOMINANTES	ESTRUCTURAS Y DEPÓSITOS FORMADOS EN TORNO AL CENTRO DE ERUPCIÓN	FRECUENCIA Y EJEMPLOS
Hawaiano (Isla de Hawaii)	Altamente fluido, poco contenido de gases, erupciones a lo largo de fisuras	Eyección débil de gases de magma muy fluido; fuentes de lava causando derrames secundarios	Derrames fluidos y caudalosos de lavas delgadas y a menudo extensos lagos de lava, tubos de lavas.	Bombas en forma de sartén y salpicaduras, lapilli escoreáceos, lava tipo "Pahoehoe", muy poca ceniza.	Conos y murallas de escorias y bombas, (salpicaduras); conos de lava muy anchos y planos; ancha planicie de lava	Muy escasos, algo semejante son los conos de escorias del Valle de los Volcanes de Andahua, Huambo y Sora.
Estromboliano (Volcán Estromboli en Italia)	Moderadamente fluido, cráter central, con composiciones andesíticas hasta dacíticas	Explosión intermitente de gases acumulados en un conducto abierto, eyección de lapilli escoreáceos y cenizas en alturas hasta 5 km	Derrames más espesos y menos extensos de lava moderadamente fluida tipo "AA".	Bombas esféricas o fusiformes; escorias; cantidades pequeñas o grandes de lapilli y cenizas vítreas; lava tipo "AA".	Conos de escoria y ceniza, capas de lapilli y ceniza	Muy frecuente, la mayoría de los volcanes andinos, actividad de los Volcanes Sabancaya, Misti, etc.
Pliniano (ultra, sub) (Plinianc, testigo y relator de una erupción violenta del Vesuvio/Italia)	Viscoso con alto contenido de volátiles generando altas presiones internas; composiciones dacíticas hasta riolíticas.	Erupciones paroxismales de grandes volúmenes de gas y piroclásticos en columnas altas entre 30 y 55 km. Erupción intermitente o colapso de la columna generando flujos piroclásticos calientes	Derrames viscosos, extrusión de domos posteruptivos.	Piroclastos vítreos (ceniza y lapilli de pómez), lapilli y bloques de la roca caja (conducto).	Amplias capas de ceniza y lapilli de pómez (caídas); depósitos de flujos piroclásticos (ignimbritas), generalmente no se forman conos, domos de la fase post-eruptiva	Abundante

TIPO DE ERUPCION	NATURALEZA FISICA DEL MAGMA	CARACTER DE LA ACTIVIDAD EXPLOSIVA	NATURALEZA DE LA ACTIVIDAD EFUSIVA	NATURALEZA DE LOS PIROCLASTOS DOMINANTES	ESTRUCTURAS Y DEPOSITOS FORMADOS EN TORNO AL CENTRO DE ERUPCION	FRECUENCIA Y EJEMPLOS
Vulcaniano Peleano	Viscoso, frío composiciones predominantemente andesíticas hasta dacíticas.	Explosiones discretas, gas confinado debajo de un tapón de lava enfriada (domo), o un bloqueo del conducto (colapso); fragmentos de la tapa, líticos densos, a veces seguido por material juvenil.	Erupciones de flujos de bloques y cenizas (nubes ardientes).	Esencialmente bloques y cenizas vítreos o líticos; piedra pómez	Conos de cenizas, conos de bloques y conos de bloques y cenizas	
Ultravulcaniano Erupciones freatomagmáticas	Poco o sin magma	Eyección violenta de fragmentos sólidos de rocas antiguas, frecuentemente por el contacto magma / agua	Ninguna	Bloques y cenizas secundarios y accidentales.	Depósitos de bloques y cenizas	
Domo	Muy viscoso dacítico hasta riolítico	Cantidades relativamente pequeñas de cenizas proyectadas a la atmósfera	Flujos de cenizas caudalosos y amplios; cada flujo puede tener un volumen de decenas de kim^3	Cenizas vítreas y piedra pómez	Planicie llana o escudo ancho y llano, a menudo con caldera	
Erupciones freáticas	Sin magma	Erupciones de vapor de agua sin la participación de magma juvenil, sistemas geotermales, explosiones relativamente débiles con poco material (ondas basales)	Ninguna	Litoclastos de la roca caja (alterada por actividad hidrotermal).		
Erupción de gases	Sin magma	Desprendimiento constante o rítmico de gases por la chimenea	Ninguna	Ninguna; o cantidades muy pequeñas de cenizas	Ninguna	

TIPO DE ERUPCION	NATURALEZA FISICA DEL MAGMA	CARACTER DE LA ACTIVIDAD EXPLOSIVA	NATURALEZA DE LA ACTIVIDAD EFUSIVA	NATURALEZA DE LOS PIROCLASTOS DOMINANTES	ESTRUCTURAS Y DEPOSITOS FORMADOS EN TORNO AL CENTRO DE ERUPCION	FRECUENCIA Y EJEMPLOS
Fumarólico	Sin magma	Desprendimiento de gases muy constante, débil o moderadamente violento, esencialmente no explosivo	Ninguna	Ninguna; o, rara vez cantidades muy pequeñas de cenizas	Generalmente ninguna; rara vez conos de cenizas muy pequeños	
Freatomagmáticos	Magma/calor en contacto con hielo o nieve	Fusión de la capa de nieve o hielo, avalanchas de lodo, lahars, flujos y oleadas piroclásticas. Desestabilizan las capas de hielo generando lahares a gran escala.				

varían mucho. La extensión y el grosor dependen del volumen, la fluidez y la posibilidad de que pueda expandirse o no lateralmente. Los flujos dependen estrechamente de la topografía del terreno, pero pueden producirse desviaciones en sus trayectorias en valles poco profundos, especialmente cuando se trata de flujos más viscosos.

Las lavas más fluidas son las basálticas o andesíticas basálticas. Cuando pueden extenderse libremente por pendientes moderadas, los derrames basálticos alcanzan normalmente grosores de 5 m, e incluso en pendientes de menos de 3° tienen por lo común 20 m de grosor. Los derrames poco viscosos de lava basáltica son generalmente de tipo "Pahoehoe" con superficie lisa y arrugada en forma de sogas. Pueden alcanzar velocidades de 20 - 50 km/h. Sin embargo son de ocurrencia subordinada en el ambiente de los Andes Peruanos.

Las lavas más viscosas (dacitas, traquitas, riolitas, etc.) predominan, y suelen formar derrames en bloques, tipo "AA" con superficie bastante escoriácea, generalmente de mayor grosor y menor extensión que los del tipo "Pahoehoe". La mayoría de ellas tienen entre 8 y 35 m de grosor y algunos llegan a más de 300 m (domos lavas). Su velocidad de avance es, comúnmente, de unos metros diarios; rara vez alcanzan longitudes de 5 km.

Los derrames de lavas más fluidas son los que se extienden a mayores distancias y los que con más facilidad pueden causar daños en zonas importantes, consistentes en la destrucción de zonas agrícolas, obras de infraestructura (carreteras, canales, viviendas, etc). Muchas veces hombres y animales sanos pueden escapar, debido a la poca velocidad de los derrames. Sin embargo, lavas muy viscosas pueden apilarse en domos o domo-lavas, los cuales pueden colapsar y generar avalanchas incandescentes y flujos piroclásticos muy devastadores.

Domos

Se forman cuando extrusiones de lavas viscosas y de poco volumen se acumulan en los cráteres de los volcanes, formando paredes escarpadas. Estas masas generalmente son extruídas después de la descarga explosiva del magma enriquecido en gases, y pueden constituir gran parte de un edificio volcánico. También hay intrusiones de magma en forma de domos debajo de la superficie, causando la inflación del edificio volcánico y llevando subsecuentemente a la inestabilidad del edificio o aparato.

Los domos crecen sobre todo por expansión desde su interior, a medida que va entrando más lava a presión en el núcleo del domo, e inclusive pueden formar derrames de poca longitud. La expansión produce grietas y desmoronamientos en el exterior solidificado; los bloques que ruedan y desprenden pueden representar una amenaza para personas o animales que se encuentren cerca.

Algunos domos alcanzan desde pocos metros hasta 2,000 m de ancho e igualmente hasta 600 m de alto. Las lavas que brotan del interior pueden formar derrames que descienden por los flancos del domo. La protrusión del magma viscoso a través de las fracturas del casquete del domo forma agujas u obeliscos, algunos de los cuales pueden alcanzar alturas de más de 100 m (espinas o agujas).

El derrumbamiento por gravedad o por la presión interna de los domos pueden producir aludes de roca, calientes o fríos, que suponen una amenaza potencial para las zonas situadas cerca de la base del domo.

La amenaza más grave que plantean los domos es la formación de aludes incandescentes (tipo Merapi / Indonesia) y de flujos de barro y piedra (lahares).

Los domos indican también un estado del volcán que puede producir erupciones cataclísmicas de tipo peleano o pliniano, las cuales guardan relación a menudo con la existencia de magmas viscosos que forman los domos.

Los domos pueden representar uno de los tipos más peligrosos de actividad volcánica explosiva conocida, como el del Monte Pelee (Martinica).

Debe prestarse atención especial a los volcanes potencialmente activos en los que se hubiera producido el crecimiento de un domo.

Erupciones explosivas: piroclastos

Los fragmentos producto de las explosiones volcánicas o de eyecciones de conductos volcánicos se denominan colectivamente materiales piroclastos o tefra. (del griego "pyro" = fuego y "klastos" = roto). Su tamaño varía entre bloques de varios metros y polvo fino. Los fragmentos de más de 64 mm se llaman bombas si fueron fluidos al ser expulsados y adoptaron formas redondeadas o aerodinámicas durante su trayectoria; si son sólidos o casi sólidos y conservan sus formas angulosas, se llaman bloques. Los fragmentos de 64 a 2 mm de diámetro se llaman lapilli cualquiera que sea su forma, y los de menos de 2 mm se llaman cenizas. Muchos fragmentos del tamaño de bomba o lapilli, expulsados en estado fluido, son de forma irregular y muy vesiculados. Estos fragmentos se llaman escorias. Las escorias muy vesiculares, por lo común con las vesículas estiradas en tubos largos y delgados, se llaman piedra pómez.

La mayoría de las cenizas no se forman por el desgaste de rocas anteriormente sólidas, sino por la ruptura de espuma, escorias y piedra pómez todavía fluidas por la constante expansión de las burbujas de gas que contienen. Como productos se distingue caídas y flujos de piroclastos. Una forma especial es la expansión de ondas explosivas piroclásticos.

Eyecciones balísticas

Se denominan así, a las eyecciones de bloques, bombas y lapilli, que se precipitan dentro de un área más o menos circular alrededor del cráter, dentro de un radio entre 3-5 km. Bloques de grandes tamaños y con alta velocidad de la erupción representan gran potencial de impacto. La dirección o velocidad de los vientos tiene poco efecto. Generalmente se presentan como mezcla de material frío y caliente de la roca caja y del magma respectivamente. Las eyecciones de magma mantienen su alta temperatura de varios cientos de grados Celsius.

Son de naturaleza impredecible y sorpresiva, difícil de evitar. El remedio sería el cierre de la zona de erupción.

Caídas de piroclastos

Durante una erupción explosiva, una mezcla de gases volcánicos calientes y piroclásticos son eyectados al aire a alturas de varios kilómetros (generalmente entre 10 y 20 km). Esta nube caliente de fragmentos de rocas y gases expansivos es menos densa que el aire y tiende a subir en la atmósfera hasta el equilibrio boyante. Como la energía necesaria para mantener los fragmentos en suspensión va disminuyendo, los piroclastos lanzados al aire empiezan a caer por la gravedad y se depositan como una capa con fragmentos cuyo tamaño medio disminuye normalmente con la distancia a la chimenea; los gruesos se amontonan, por lo común, alrededor de la chimenea para formar un cono de bloques, escorias o de piedra pómez y los más finos (cenizas) son llevados por el viento, a veces a distancias de miles de kilómetros. Los piroclastos finos (lapilli y cenizas) están distribuidos según los vientos predominantes, es decir tienen una distribución elipsoidal con un eje mayor de hasta varios cientos de kilómetros. Los vientos varían en dirección y velocidad, según su altura y la estación, controlando el riesgo. Grandes erupciones pueden generar depósitos de tefra de varios metros en los alrededores del centro de erupción.

Los posibles impactos en las áreas afectadas serían:

- En los volcanes y en sus proximidades, las bombas y bloques, al caer, pueden desgajar las ramas de los arboles, atravesar tejados y muros de vivienda, provocar incendios y herir o matar animales y personas (< 5-10 km de radio).

- Las capas de cenizas pueden tener varios metros de grosor cerca del volcán y varios centímetros hasta distancias mayores de 100 km. El peso de las cenizas acumuladas hace que los tejados se hundan, sobretodo si la ceniza está húmeda y muy adhesiva (10 cm ≅ 100-125 kg/m^2, suficiente para destruir techos).

- Suspensión de partículas abrasivas y finas en el aire y el agua. Las partículas agudas de las cenizas son sumamente irritantes para las vías respiratorias y la inhalación de cantidades excesivas puede producir la muerte. Puede causar mala visibilidad hasta oscuridad total en el día y causar problemas en equipos sensibles (motores de aviones, aire acondicionado / hospitales, cortos circuitos eléctricos / líneas de transmisión eléctrica, telefónica).

- Una capa de cenizas de pocos centímetros puede matar la hierba y otros forrajes, e incluso cantidades menores pueden producir serios trastornos a los animales de pastoreo. Las cenizas son ingeridas con la hierba y pueden acumularse en el aparato digestivo del animal, provocándole la muerte. Después de un período más largo, las cenizas abrasivas pueden desgastar los dientes del animal hasta que éste sea incapaz de comer y muere de hambre. Sustancias venenosas contenidas en la cenizas o depositadas sobre ellas pueden producir también la muerte (H_2F_2). La capa de ceniza cubriendo el pasto causa hambruna y sed los animales.

- Las lluvias copiosas de cenizas en suspensión en el agua afecta a instalaciones hidroeléctricas, bombas de irrigación, plantas de tratamiento de agua, y pueden interrumpir los suministros de aguas obstruyendo corrientes y pozos, o los filtros en los sistemas hidráulicos y el agua puede volverse ácida por la disolución de éllas.

- Las cenizas de las laderas de las montañas pueden deslizarse, afectando la vegetación, viviendas e incluso a los animales. Este efecto puede ocurrir hasta mucho tiempo después de la erupción.

- Efectos secundarios frecuentemente son lahares, generados por la movilización de grandes masas de piroclásticos por lluvias o el desborde de los ríos.

Flujos piroclásticos

La columna de erupción (erupciones plinianas), que transporta millones de toneladas de material a alturas de muchos kilómetros, se vuelve inestable cuando disminuye la fuerza de erupción, trayendo como consecuencia el colapso de la columna. Los flujos de piroclastos también pueden brotar de chimeneas situadas en la cumbre de grandes conos compuestos, o de fisuras de los costados del cono y aparentemente también de fisuras no relacionadas directamente con ningún gran cono.

Colapsos anulares de caldera aparecen, también, en las erupciones plinianas.

En algunas erupciones de magmas cargados de gases, sólo una proporción relativamente pequeña de los materiales es lanzada al aire por la explosión y la mayor parte del ma-

terial es transportado lateralmente de la misma manera como flujo de piroclastos ("lateral blast", por ejemplo por el colapso de un domo).

El gran volumen de las cenizas y lapilli resultantes de la disgregación explosiva del magma, permanece suspendido en una nube densa de fragmentos de rocas y gases calientes, que se expande próxima a la superficie del suelo, produciendo un flujo de piroclastos en muchos casos con velocidades cercanas a los 200 km/h (hasta más de 100 m/s) y con temperaturas entre 300° a 800°C, su fuerza motríz es la gravedad y como cualquier otro fluído denso, el flujo obedece en gran parte a la topografía, descendiendo por las laderas y canalizado por los valles. Localmente su elevada velocidad puede hacer que trepe por las laderas opuestas, hasta alturas de varios centenares de metros. Llegando a las planicies hay la tendencia de distribución lateral y homogénea.

Flujos individuales varían en longitud entre un kilómetro hasta más de 200 km y pueden cubrir áreas de hasta 20,000 km^2, con volúmenes de 0.001 hasta más de 1,000 km^3. Flujos piroclásticos de volúmenes entre 1-10 km^3, pueden llegar a distancias de varias decenas de kilómetros, moviéndose ladera abajo con velocidades entre 50 y más de 150 km/h, dependiendo en primer lugar del volumen del flujo y de la pendiente topográfica.

A veces, cuando estos flujos se detienen, incluso a distancias de decenas de kilómetros de su chimeneas, están todavía tan calientes que los fragmentos vítreos de la parte central de la masa se sueldan. La masa rocosa formada por un flujo de piroclastos se denomina también ignimbrita. En el Perú se han encontrado capas de ignimbrita de más de 160 km de longitud, por ejemplo: el Sillar de Arequipa.

Debido a su gran volumen, alta temperatura, velocidad, y movilidad, los flujos piroclásticos son extremadamente destructivos por incineración, quemaduras, asfixia, enterramiento, impactos y abrasión. Destruyen o arrastran objetos y estructuras en su camino por el impacto de los fragmentos o la fuerza de los vientos en magnitud de huracanes, madera y otros materiales combustibles son incinerados, personas y animales mueren en los alrededores de flujos piroclásticos por inhalación de cenizas calientes y gases.

La gran velocidad, y volumen de los flujos de cenizas hacen imposible controlarlos y evadirlos. Afortunadamente para el hombre, los flujos piroclásticos (ignimbritas) han sido raros en los tiempos históricos y probablemente lo seguirán siendo en el futuro.

Nubes ardientes

Representan un caso especial de flujos piroclásticos. Llamados también aludes incandescentes, se parecen en su comportamiento y en su mecanismo, a los flujos de cenizas; aunque a menudo no en su origen. Algunos son consecuencia de la caída muy copiosa de piroclastos ardientes en los flancos de una montaña volcánica. Los fragmentos, man-

tenidos a flote por el aire caliente y los gases en expansión que los separan descienden por las laderas como aludes ardientes que alcanzan velocidades de, por lo menos, 100 km/h, y pueden recorrer más de 10 km; se les conoce como nubes ardientes tipo Soufriere. Otros se producen como consecuencia del hundimiento del borde de un domo o de un derrame de lava espesa en la cumbre o en los flancos de un volcán. En este tipo de nube ardiente: tipo Merapi, los materiales finos son consecuencia en gran parte de la trituración de los bloques ardientes en el alud, y su movilidad se debe probablemente al efecto amortiguador del aire aprisionado en expansión. Las velocidades de este tipo de nube ardiente son comúnmente entre 50 y 80 km/hora, pero pueden superar los 100 km/hora. Otros aludes incandescentes se producen a causa de explosiones orientadas en un ángulo muy pequeño, de efectos aumentados comúnmente por el hundimiento de un domo a causa de la explosión. Estos aludes se denominan de tipo Pelee.

En los tres tipos, el flujo se compone principalmente del alud, que se desplaza muy cerca del suelo y está dirigido en gran parte por la topografía. Sin embargo, por encima del alud se eleva una gran nube de polvo, negra de día pero de un rojo opaco encendido de noche, nube de polvo incandescente que dio origen al nombre de nube ardiente, la cual puede extenderse más allá de los límites del alud propiamente dicho y está menos controlada por la topografía. Propiamente son los principales agentes volcánicos de destrucción.

La mayoría de los volcanes que pueden producir nubes ardientes han sufrido cierta erosión y estos siguen normalmente valles de los que serían imposible desviarlas; pero por su gran velocidad, treparían probablemente por cualquier barrera de altura viable; y aunque se desviase el alud mismo, la nube de cenizas situada sobre él continuaría probablemente en línea recta hasta cierta distancia de la barrera. La protección contra las nubes ardientes dependerá de la predicción de su aparición, de sus trayectorias y de la evacuación de las zonas afectadas.

Oleadas / ondas basales (base surges)

En las erupciones explosivas muy violentas como las erupciones freatomagmáticas y freáticas, se producen mezclas con alto contenido de gas y relativamente poco material, que se mueven semejante a los flujos piroclásticos: muy veloces cerca de la superficie (ondas basales), como resultado de una onda de expansión de alta velocidad, pero de relativamente poco alcance. Frecuentemente acompañan a los flujos piroclásticos.

Este tipo de erupciones, comparable con un viento fuerte tipo huracán, deposita los materiales piroclásticos en forma de dunas con texturas de estratificación cruzada o paralela. Según el origen y temperatura se distingue dos tipos: oleadas calientes, que consisten de una nube de fragmentos secos y calientes, con temperatura considerable-

mente mayor de 100° C y oleadas frías (ondas basales propiamente), consistentes en una nube de cenizas, lapilli y vapor de agua, con temperaturas cercanas a los 100° C.

Debido a su poca densidad y alta velocidad, las ondas basales no están muy confinadas a la topografía debido a su mayor movilidad, dejando atrás obstáculos como colinas o cerros.

Los daños causados por las ondas basales pueden ser por abrasión (vientos huracanados cargados de cenizas), impactos, enterramientos, incineración, asfixia e intoxicación por gases. En un radio de 2 a 10 km de la fuente, las ondas basales son altamente peligrosas, muy ágiles y destructivas.

Como en el caso de los flujos piroclásticos, las ondas basales son demasiado rápidas y móviles como para escapar; el único remedio es la evacuación previa.

Avalanchas de escombros

Conocido también como "debris avalanche", son comparables con un deslizamiento gigante. Se produce por colapso sectorial, por gravitación (cono apilado) y/o ascenso de magma nuevo (domo), de una parte del aparato volcánico, dejando una estructura tipo anfiteatro (por ejemplo: Mt. Sta. Helena, EE.UU.).

Los conos volcánicos son formas inestables con alto ángulo de pendiente y acumulaciones de grandes volúmenes de material incoherente en alturas considerables. El colapso del cono puede consistir en deslizamientos retrogresivos que dan como resultado avalanchas o flujos de escombros mal clasificados y de textura caótica.

Tienen un comportamiento semejante a los flujos piroclásticos, confinados a valles, con volúmenes y grosores considerables (<10-20 millones m^3, hasta de 100 m altura), velocidades de hasta de 100 m/s y alcances en el rango de hasta decenas de kilómetros; pero menos móviles que los flujos piroclásticos.

Característicamente constituyen una geomorfología de colinas ("hummocky") en la planicie frente al volcán. Ejemplos reconocidos en el Perú tenemos en el Ticsani, Tutupaca, Misti, Pichu Pichu y otros.

El impacto es devastador, arrastrando y tumbando todo obstáculo en su camino. La prevención es el monitoreo del volcán, detectando a tiempo los cambios de volumen y movimientos de masas para una evacuación preventiva del sector en peligro.

Lahares

Son torrentes o flujos de barro o lodo volcánico, compuestos de una mezcla de materiales finos y agua, que contienen a menudo una gran proporción de residuos más gruesos. Varían entre corrientes de agua algo enriquecidas en partículas, hasta flujos espesos conteniendo hasta el 80% del peso de materiales sólidos, que se comportan como concreto líquido. La gran mayoría de los lahares son fríos pero algunos son calientes, o de temperaturas que se aproximan a la ebullición.

Lahares son flujos controlados por la gravedad y canalizados por los valles, donde pueden alcanzar hasta el doble de la velocidad de una corriente de agua del mismo volumen. Además los lahares tienden a aumentar en volumen con factores de 3 a 5, arrastrando e incorporando sedimentos y aguas en el trayecto.

Los lahares descienden por las laderas de las montañas volcánicas con velocidades de hasta 100 km/hora y se sabe que algunos han recorrido en los valles distancias de hasta 300 km de su fuente (p.ej. Cotopaxi, Ecuador en 1877). Llegando a una planicie tienden a distribuirse en forma de abanico, cubriendo así extensas áreas.

Según Mc DONALD (1972), y otros, los lahares pueden producirse de varias formas:

- Por la movilización de material durante una erupción explosiva en el lago de un cráter o por debajo de una capa de hielo (erupción freatomagmática).
- Por aludes de antiguos residuos rocosos provocados por las erupciones, que penetran en lagunas o corrientes de agua en los alrededores del volcán (red de drenaje).
- Por el descenso de flujos piroclásticos hasta corrientes de agua.
- Por la penetración de derrames de lava fragmentada en las corrientes de agua.
- Por movilización de material, causado por lava o flujos piroclásticos que fluyen sobre nieve, hielo o terreno muy húmedo de las laderas del volcán.
- Por la erupción de material rocoso antiguo ya fragmentado desde el conducto volcánico (erupciones freáticas).
- Por la salida de agua del lago de un cráter al romperse la pared de éste.
- Por la rápida fusión del hielo o de la nieve de las laderas del volcán (calor indirecto del magma ascendiendo) o debido a la erosión por un flujo piroclástico, generando grandes masas de agua.

- Por el desplazamiento ladera abajo, iniciado por actividad sísmica (temblores), de cenizas o suelos saturados de agua.
- Por lluvias copiosas sobre materiales sueltos de las laderas de las montañas.
- Movilización de material por apilación e inestabilidad de las laderas del volcán (transformación de un deslizamiento en un lahar).

Los lahares pueden producirse en cualquier momento de una erupción o varios meses después de haber terminado ésta, mientras existan residuos inestables y sueltos abundantes en los flancos montañosos que no estén retenidos por la vegetación, principalmente causados por épocas de lluvias (estaciones diferentes). Por su frecuencia, los lahares rivalizan con los flujos piroclásticos como los principales agentes volcánicos de destrucción e incluso los superan. En estos últimos siglos han causado miles de víctimas y muchos millones de dólares en daños materiales.

Básicamente los lahares provocan los mismos tipos de daños que los aluviones y huaicos, bien conocidos en los Andes. Significan el arrastre de grandes bloques rocosos, la fuerza de la corriente (de fluido denso) arrastran todo a su paso por abrasión y/o enterramiento; destruyendo bosques, áreas agrícolas, obras de infraestructura (canales, caminos, puentes) y viviendas.

En contraste a los flujos piroclásticos, los cuales siempre implican una nube incandescente de gran volumen, los lahares tienen una superficie bien definida, y es relativamente fácil de escapar para humanos y animales, siempre y cuando haya una advertencia adecuada, es decir un monitoreo del volcán con énfasis en el ascenso de un magma nuevo.

La prevención principal es la evacuación de zonas de potenciales lahares, sobre todo hay que evitar la construcción de casas y otra infraestructura sensible en estas zonas. Hasta cierto grado se puede mitigar daños con construcciones de desvío y canalización.

Gases volcánicos

Los volcanes emiten gases no sólo durante las erupciones, sino durante largos períodos antes y después de las erupciones. Algunos campos fumarólicos han permanecido activos cientos de años sin ninguna actividad magmática superficial. La mayoría de las muestras de gases eruptivos contienen H_2O (90%), CO_2, CO, SO_2, SO_3, H_2S, HCl y H_2F_2, además de cantidades pequeñas de N, Ar y otros gases inertes, en proporciones variadas.

TAZIEFF (1971) considera que, si se eliminan los efectos de las aguas subterráneas y de la contaminación atmosférica, el gas predominante es el CO_2. El HCl se encuentra en

cantidades muy pequeñas en los gases de las erupciones hawaianas y no se ha encontrado H_2F_2. En cambio ambos elementos son a menudo moderadamente abundantes en los gases de los volcanes continentales de naturaleza andesítica como en los Andes. La abundancia y composición de los gases frecuentemente cambian como precursores antes de erupciones y su monitoreo es muy útil para un sistema de alerta volcánica.

Los gases volcánicos plantean problemas de diversas formas. Los gases ácidos y los aerosoles formados por su combinación con el agua, pueden ser arrastrados a grandes distancias por el viento y quemar o marchitar las hojas de las plantas o provocar la caída de los frutos a distancias de hasta 50 km. La exposición prolongada a los gases puede producir la desfoliación completa de las plantas y quizás matarlas. Los objetos metálicos sufren corrosiones y a veces son destruidos. Las lluvias ácidas queman la piel de las personas, dañan las plantas y los objetos metálicos. Diversos daños son causados por la inhalación de los gases por el hombre, resultando en irritación de las vías respiratorias hasta síntomas de asfixia. Experimentos confirman que una hierba con un contenido de flúor tan pequeño como 250 ppm puede matar las ovejas que pastan en ella en pocos días. (P.ej. la erupción del volcán Lonquimay en Chile 1988).

El dióxido de carbón es más pesado que el aire y tiende a acumularse en depresiones, donde ocasionalmente puede llegar a concentraciones letales para humanos y animales. Tanto el CO_2 como el SO_2 son venenosos, aunque el SO_2 causa la asfixia por contracción de la garganta antes de que pueda inhalar gas suficiente para provocar el envenenamiento.

Grandes erupciones, como El Chichon (México), inyectan SO_2 a la atmósfera, donde se forman aerosoles de ácido sulfúrico. Estos aerosoles, reflectando la radiación solar, causan la disminución de la temperatura promedia de la tierra hasta por unos grados. Además atacan la capa de ozono.

Un resumen de los posibles impactos y peligros de los productos volcánicos se resume en el Cuadro N° 2.

CUADRO N° 2

VULCANISMO ANDINO: POSIBLES IMPACTOS Y PELIGROS

Impactos	Frecuencia	Tamaño/Magnitud	Comentarios
Derrames Lávicos	Frecuente	Corto hasta mediano (<5-10 km)	Poco peligro debido a la baja velocidad de lavas andesíticas hasta riodacíticas predominantes.
Domos Lávidos	Poco frecuente	Corto	Gran peligro por colapso explosivo, pueden generar flujos piroclásticos.
Caídas Lávicos	Frecuente	Todos (estromboliana hasta pliniana)	Gran impacto a nivel local/regional (vegetación, agricultura, ríos, animales, humanos)
Caídas de Piroclásticos	Frecuente	Todos (Grandes)	Gran impacto a nivel local/regional
Ondas Basales	Frecuente	Pequeñas hasta medianas (<5-10 km)	Gran impacto a nivel local (erupciones freáticas y freatomagmáticas)
Flujos de escombros, colapsos sectoriales	Poco frecuente	Pequeñas hasta grandes	Gran impacto a nivel local/regional
Lahars, Huaycos	Muy frecuente	Pequeñas hasta grandes	Gran impacto a nivel local/regional
Erupciones de Gas, Fumarolas, Sulfataras	Poco (?)	Pequeñas (?)	(HCl?, H2F2?!), peligro en las inmediaciones de los cráteres
Temblores Volcánicos	Frecuente	Suave, local (?)	Local
Fisuras, Deslizamientos	Común	Pequeñas	Local
Tsunamis	?	?	?

AMENAZA VOLCANICA

CONCEPTOS

Se entiende por amenaza a cualquier fenómeno de origen natural (volcanismo) o humano que signifique un cambio en el medio ambiente que ocupa una comunidad determinada, vulnerable a este fenómeno.

La incapacidad de una comunidad para "responder positivamente" a los efectos de un determinado cambio en su medio ambiente se denomina **vulnerabilidad**.

La probabilidad de que ocurra una amenaza frente a la cual una comunidad es vulnerable se denomina **riesgo**.

Para comprender estos términos G. WILCHES-CHAUX (1989) pone el siguiente ejemplo: "Pongámonos, por ejemplo, en el papel de un ciudadano que ha desentejado su techo para efectuar unas reparaciones, con lo cual su casa se ha vuelto temporalmente vulnerable frente al fenómeno del aguacero (riesgo). La probabilidad de que caiga un aguacero durante el tiempo en el cual la casa carece de techo constituye una amenaza para el ciudadano. La ocurrencia efectiva del aguacero en ese tiempo, lo convertirá en un desastre. La intensidad del mismo (es decir los daños que produzca) dependerá de la magnitud (cantidad de agua, duración) del aguacero y del grado de vulnerabilidad de la casa (porción de la casa sin techo) y del valor y cantidad de los bienes expuestos al riesgo (mayor será el desastre si estaba descubierta la biblioteca que si lo estaba el patio de tender ropas)".

El concepto de vulnerabilidad, por definición, está ligado a las actividades socio-económicas. Para que un evento o fenómeno se considere o no riesgoso dependerá de que el lugar en donde se manifieste esté ocupado o no por una comunidad y/o infraestructura vulnerable al mismo. El que se considere o no amenaza dependerá del grado de probabilidad de ocurrencia en esa comunidad y/o infraestructura. Para que se convierta o no en desastre dependerá de la magnitud real con que efectivamente se manifieste el fenómeno y del nivel de vulnerabilidad de la comunidad y/o infraestructura.

CRITERIOS DE AMENAZA

Las regiones volcánicas de la margen occidental de América del Sur, con mayor vigor eruptivo durante los últimos 100 años, la constituyen los cinturones NVZ y SVZ (Ver Figura N° 1). Sin embargo, el cinturón CVZ (Andes Centrales) que demuestra una escasa actividad, en términos de "pronóstico eruptivo", constituye una de las regiones de mayor peligro volcánico. Ello es efectivo si se considera básicamente las características magmáticas de esta provincia volcánica, donde predominan los productos viscosos de composición dacítica y riolítica, generando fuertes sobrepresiones, y donde la dinámica de placas es muy intensa.

Desde el punto de vista del peligro volcánico, las características petrográficas de los productos volcánicos, son indicadoras del grado de peligrosidad de una erupción, la cual puede ser tranquila o altamente explosiva. Así aquellas erupciones causadas por magmas ricos en sílice, como es el caso de lavas dacíticas y riolíticas, que tienen una gran viscosidad impidiendo la libre circulación de gases, se transforman en erupciones altamente explosivas, generadoras en muchos casos de nubes ardientes y grandes flujos de ceniza acompañado de una fuerte inyección de material piroclástico en la atmósfera que pueden alcanzar aproximadamente hasta los 15 o 20 mil metros de altura. Mientras que aquellas erupciones asociadas a magmas básicos, son relativamente tranquilas, los gases escapan libremente y la lava fluye muy líquida, con escasa eyección de material piroclástico. Sin embargo la mayoría de las erupciones en la zona suroccidental del Perú están asociados a magmas de tipo intermedio o de composición andesítica, la cual genera erupciones cuyo grado de explosividad es variable, llegando en algunas ocasiones a eyectar abundantes piroclastos seguidos de pequeños flujos de lava.

Hay que tener presente que, en muchos casos, los volcanes en el Sur sobrepasan los 5,000 metros de altitud. Por lo tanto, algunos tienen una cubierta de hielo y nieve, lo que eleva enormemente el índice de peligrosidad ante pequeñas erupciones, por la generación de lahares, que son los que generalmente han causado los mayores daños materiales y víctimas.

El Perú alberga, aproximadamente, unos 400 volcanes de edades Mioceno superior a Holoceno, la mayor parte poco reconocibles por encontrarse en un estado muy avanzado de destrucción a causa de los agentes de erosión (Ver Inventario de Volcanes del Perú).

Para los efectos de la actividad volcánica en el Sur del Perú, sólo se ha tomado los registros de los últimos cien años con los siguientes resultados:

Se registran 4 volcanes activos (con actividad magmática y fumarólica) en el país: Sabancaya (en erupción), Ubinas, Tutupaca y Misti (con actividad fumarólica), y 11 volcanes potencialmente activos: Sara Sara, Coropuna, Firura, Ampato, Chachani, Ticsani, Huaynaputina, Calientes (Yucamane), Paucarani, Purupuruni y Casiri. Además hay que

considerar la zona del Valle de los Volcanes (Andahua) como potencialmente activo. Los volcanes chilenos Tacora y Guayllatiri de la categoría fumarólica pueden afectar el territorio nacional. Ver Cuadro N° 3.

La actividad volcánica más resaltante durante los últimos cien años lo ha tenido el Ubinas, seguido por el Sabancaya, Tutupaca y Misti.

En los cuadros N°s 4, 5, 6 y 7, se puede observar la evaluación preliminar de la amenaza y el riesgo volcánico de los volcanes potencialmente activos localizados (según YOKOYAMA et al., 1984). El criterio de evaluación está basado en una escala de 0-15 puntos y los resultados se manifiestan en porcentajes. Esta evaluación es solamente una primera aproximación, considerando factores de amenaza y vulnerabilidad en forma cualitativa.

MARCO SOCIO-ECONOMICO

Se ha preparado un resumen de los aspectos socio-económicos en el Sur del país, con el fin de determinar la incidencia socioeconómico de las amenazas volcánicas. Los datos utilizados son los proporcionados por el IX Censo de Población y IV de Vivienda realizado en 1993. Para el análisis se denomina Sur del País al territorio que ocupan los departamentos de: Arequipa, Ayacucho, Moquegua, Puno y Tacna.

Según el Censo de 1994, el Perú tiene 22'639,443 habitantes y el Sur del País un total de 2'909,149 habitantes representando el 12.9 % de la población peruana (Cuadro N° 8A, los Gráficos N° 1A y 1B, y Mapa N° 3).

En el Perú la población de analfabetos es de 1'784,281, de los cuales en el Sur del País existen 303,396 analfabetos que representan el 17% del total nacional (Cuadro N° 8B y Gráfico N° 2). Es importante el conocimiento de este parámetro, para determinar en que lugares se debe incidir con la enseñanza de la relación proceso/respuesta ante los riesgos volcánicos.

La población económicamente activa en el Perú (PEA) es de 7'109,527 habitantes, con edades mayores de 15 años, de los cuales 5'004,752 son hombres y 2'104,775 mujeres. En el Sur del País esta población suma un total de 887,000 habitantes (Cuadro N° 8C y Gráfico N° 3).

En el Perú, el número de viviendas particulares con ocupantes presentes es de 4'427,517, de los cuales 664,723 viviendas se localizan en el Sur del país (Cuadro N° 8D, Gráfico N° 4, y Mapa N° 2A).

Por la información disponible, podemos mencionar que en el Departamento de Arequipa existen 2'043,579 hs de Unidades Agropecuarias (UA) y en el Dpto. de Moquegua

498,196 hs. De estas, aproximadamente, el 60% y el 40 % respectivamente, pueden ser vulnerables a los riesgos volcánicos.

En el Cuadro N° 9 y el Mapa N° 2B, se presentan las principales obras de infraestructura que se localizan en el Sur del País.

CARACTERISTICAS DE LOS VOLCANES ACTIVOS EN EL PERU

En el Cuadro N° 10, se presentan en forma resumida las principales características de los volcanes activos y potencialmente activos en el País. Dentro de los potencialmente activos se han considerado a los volcanes cuaternarios del Valle de los Volcanes de Andahua, que reunen las mismas características del Valle de los Volcanes de Huambo y el Valle de los Volcanes de Sora (Orcopampa). Se incluyen también los volcanes ubicados en la frontera Perú-Chile, que dada su peligrosidad pueden afectar territorio peruano.

MAPAS DE AMENAZA

En base a la información existente, se ha elaborado un mapa general de amenazas (preliminar). Para la realización de este mapa se tuvieron en cuenta, entre otros, las recomendaciones y trabajos obtenidos en el "II Seminario Latinoamericano: Volcanes, Sismos y Prevención" Lima-Arequipa, Noviembre de 1996. Este mapa al superponerse con los mapas poblacionales, de vivienda y económicos; sirve para obtener el de riesgo volcánico en el Sur del Perú. Ver Mapa N° 3.

CUADRO N° 3

VOLCANES ACTIVOS Y POTENCIALMENTE ACTIVOS EN EL PERU

NOMBRE	COORDENADAS		ALTITUD (msnm)	ESTRUCTURA / LITOLOGIA	OBSERVACIONES
	LATITUD	LONGITUD			
Sabancaya (*)	15°48'	71°52'	5,795	Estratovolcán andesítico	En actividad eruptiva piroclástica desde mayo de 1990. Presencia de hielos y nieve en su cumbre.
Ubinas (*)	16°21'	70°54'	5,672	Estratovolcán andesítico	El volcán más activo del Perú, desde 1552. Erupciones en 1599, 1662 y en la actualidad: actividad fumarólica. Sin glaciares en su cumbre.
Tutupaca (*)	17°02'	70°22'	5,808	Estratovolcán andesítico	Actividad fumarólica en la actualidad. Erupcionó en 1790 y en febrero de 1802. Nieve en el pico norte.
Misti (*)	16°18'42"	71°25'	5,825	Estratovolcán andesítico	Ultima erupción en el siglo XV, otras menores en mayo de 1577, julio de 1784, julio a octubre de 1787; observándose actividad fumarólica hasta 1985. Sin hielo ni nieve en su cumbre.
Huaynaputina	16°35'	70°52'	4,800	Edificio volcánico parcialmente destruido. Piroclastos y lavas dacíticas.	Erupción más violenta en los Andes Centrales durante la época histórica en febrero de 1600. Se reportan erupciones en 1604, 1687, 1715 y 1784. Sin glaciares en su cono.
Ampato	15° 42'	74°20'	6,320	Estratovolcán andesítico.	Se reporta actividad fumarólica desde 1784 hasta julio de 1785. Con glaciares y nieve en su cumbre.
Chachani	16°12'	71°32'	6,075	Estratovolcanes andesíticos	Se reportan fuertes ruidos en épocas de la Colonia, fuentes termales cercanas. Sin glaciares en sus cumbres.
Sara Sara	15°18'36"	73°27'	5,505	Estratovolcán, lavas dacíticas jóvenes.	Se observó actividad fumarólica incipiente en 1963. Sin glaciares en su cumbre.
Coropuna	15°31'	72°42'	6,425	Estratovolcán andesítico.	Derrames lávicos recientes. Grandes masas de hielo y nieve. Peligro potencial de lahares. Se reportó actividad fumarólica en el flanco sur.
Valle de los Volcanes de Andahua.	15°13'30" 15°38'54"	72°30'00" 72°14'24"	3,800 a 2,800	Amplio campo volcánico, aprox. 40 conos de escorias y derrames de lavas	Derrames lávicos de edad histórica (?). El Valle de los Volcanes de Huambo y el Valle de los Volcanes de Sora, tienen las mismas características.
Calientes /	17°10'	70°11'	5,358	Estratovolcán traquiandesítico	Actividad fumarólica, sin glaciares en su cumbre.

NOMBRE	COORDENADAS		ALTITUD (msnm)	ESTRUCTURA / LITOLOGIA	OBSERVACIONES
	LATITUD	LONGITUD			
Yucamane				piroclásticos	
Paucarani	17°28'	69°47'	5,400	Domo riolítico	Fuentes termales
Purupuruni	17°54'	69°19'	5,315	Domos riodacíticos	Fuentes termales cercanas
Casiri	17°28'	69°49'	5,560	Estratovolcán traquiandesítico	Fuentes termales cercanas
Ticsani	16°45'	70°36'	5,408	Estratovolcán riolítico, presencia de domos dacíticos	Presencia de tefras de pómez recientes.
Quimsachata	14°09'42"	71°21'12"	3,800	Conos de escorias y derrames de lavas shoshoníticas	Tradiciones verbales

CUADRO N° 4
ESTIMACION DEL PELIGRO DE LOS VOLCANES SABANCAYA Y UBINAS

VOLCAN SABANCAYA

CRITERIOS DE AMENAZA (Categoría 0 - 1)		
1	Porcentaje elevado de sílice en los productos eruptivos (andesita/dacita/riolita)	1
2	Actividad volcánica dentro de los últimos 500 años	0
3	Actividad volcánica dentro de los últimos 5,000 años	1
4	Coladas piroclásticas dentro de los 500 años	0
5	Flujos de lodo dentro de los últimos 500 años	0.5
6	Tsunamis	0
7	Zona de destrucción durante los 5,000 años > 10 km².	1
8	Zona de destrucción durante los últimos 5,000 años >100 km²	0.5
9	Ocurrencias de sismos	1

1	Población expuesta a riesgo > 100	1
2	Población expuesta a riesgo > 1,000	1
3	Población expuesta a riesgo > 10,000	1
4	Población expuesta a riesgo >100,000	0
5	Población expuesta a riesgo > 1'000,000	0
6	Victimas en el curso de la historia	
7	Evacuaciones durante una erupción histórica.	0

PORCENTAJE DE PELIGROSIDAD: 53%

VOLCAN UBINAS

CRITERIOS DE AMENAZA (Categoría 0 - 1)		
1	Porcentaje elevado de sílice en los productos eruptivos (andesita/dacita/riolita)	1
2	Actividad volcánica dentro de los últimos 500 años	1
3	Actividad volcánica dentro de los últimos 5,000 años	1
4	Coladas piroclásticas dentro de los 500 años	0
5	Flujos de lodo dentro de los últimos 500 años	0.5
6	Tsunamis	0
7	Zona de destrucción durante los 5,000 años > 10 km².	1
8	Zona de destrucción durante los últimos 5,000 años > 100 km²	0
9	Ocurrencias de sismos	0

1	Población expuesta a riesgo > 100	1
2	Población expuesta a riesgo > 1,000	1
3	Población expuesta a riesgo > 10,000	0.5
4	Población expuesta a riesgo >100,000	0
5	Población expuesta a riesgo > 1'000,000	0
6	Víctimas en el curso de la historia	
7	Evacuaciones durante una erupción histórica.	1

PORCENTAJE DE PELIGROSIDAD: 50%

CUADRO N° 5
ESTIMACION DEL PELIGRO DE LOS VOLCANES TUTUPACA Y MISTI

VOLCAN TUTUPACA

CRITERIOS DE AMENAZA (Categoría 0 - 1)		
1	Porcentaje elevado de sílice en los productos eruptivos (andesita/dacita/riolita)	1
2	Actividad volcánica dentro de los últimos 500 años	1
3	Actividad volcánica dentro de los últimos 5,000 años	0
4	Coladas piroclásticas dentro de los 500 años	1
5	Flujos de lodo dentro de los últimos 500 años	0.5
6	Tsunamis	0
7	Zona de destrucción durante los 5,000 años > 10 km².	1
8	Zona de destrucción durante los últimos 5,000 años > 100 km²	0
9	Ocurrencias de sismos	0

1	Población expuesta a riesgo > 100	1
2	Población expuesta a riesgo > 1,000	1
3	Población expuesta a riesgo > 10,000	0
4	Población expuesta a riesgo >100,000	0
5	Población expuesta a riesgo > 1'000,000	0
6	Víctimas en el curso de la historia	
7	Evacuaciones durante una erupción histórica.	1

PORCENTAJE DE PELIGROSIDAD: 50%

VOLCAN MISTI

CRITERIOS DE AMENAZA (Categoría 0 - 1)		
1	Porcentaje elevado de sílice en los productos eruptivos (andesita/dacita/riolita)	1
2	Actividad volcánica dentro de los últimos 500 años	1
3	Actividad volcánica dentro de los últimos 5,000 años	1
4	Coladas piroclásticas dentro de los 500 años	0
5	Flujos de lodo dentro de los últimos 500 años	0
6	Tsunamis	0
7	Zona de destrucción durante los 5,000 años > 10 Km².	1
8	Zona de destrucción durante los últimos 5,000 años > 100 Km²	0
9	Ocurrencias de sismos	1

1	Población expuesta a riesgo > 100	1
2	Población expuesta a riesgo > 1,000	1
3	Población expuesta a riesgo > 10,000	1
4	Población expuesta a riesgo >100,000	1
5	Población expuesta a riesgo > 1'000,000	0
6	Víctimas en el curso de la historia	1
7	Evacuaciones durante una erupción histórica.	1

PORCENTAJE DE PELIGROSIDAD: 70%

CUADRO N° 6
ESTIMACION DEL PELIGRO DE LOS VOLCANES AMPATO Y CHACHANI.

VOLCAN AMPATO

CRITERIOS DE AMENAZA (Categoría 0 - 1)		
1	Porcentaje elevado de sílice en los productos eruptivos (andesita/dacita/riolita)	1
2	Actividad volcánica dentro de los últimos 500 años	0
3	Actividad volcánica dentro de los últimos 5,000 años	1
4	Coladas piroclásticas dentro de los 500 años	0
5	Flujos de lodo dentro de los últimos 500 años	1
6	Tsunamis	0
7	Zona de destrucción durante los 5,000 años > 10 km².	0
8	Zona de destrucción durante los últimos 5,000 años > 100 km²	1
9	Ocurrencias de sismos	0

1	Población expuesta a riesgo > 100	1
2	Población expuesta a riesgo > 1,000	1
3	Población expuesta a riesgo > 10,000	1
4	Población expuesta a riesgo >100,000	0
5	Población expuesta a riesgo > 1'000,000	0
6	Víctimas en el curso de la historia	0
7	Evacuaciones durante una erupción histórica.	0

PORCENTAJE DE PELIGROSIDAD: 46%

VOLCAN CHACHANI

CRITERIOS DE AMENAZA (Categoría 0 - 1)		
1	Porcentaje elevado de sílice en los productos eruptivos (andesita/dacita/riolita)	1
2	Actividad volcánica dentro de los últimos 500 años	0
3	Actividad volcánica dentro de los últimos 5,000 años	0
4	Coladas piroclásticas dentro de los 500 años	0
5	Flujos de lodo dentro de los últimos 500 años	0.5
6	Tsunamis	0
7	Zona de destrucción durante los 5,000 años > 10 km².	0
8	Zona de destrucción durante los últimos 5,000 años > 100 km²	0
9	Ocurrencia de sismos	0

1	Población expuesta a riesgo > 100	1
2	Población expuesta a riesgo > 1,000	1
3	Población expuesta a riesgo > 10,000	1
4	Población expuesta a riesgo >100,000	1
5	Población expuesta a riesgo > 1'000,000	0
6	Víctimas en el curso de la historia	0
7	Evacuaciones durante una erupción histórica.	0

PORCENTAJE DE PELIGROSIDAD: 36%

CUADRO N° 7
ESTIMACION DEL PELIGRO DE LOS VOLCANES SARA SARA Y COROPUNA

VOLCAN SARA SARA

CRITERIOS DE AMENAZA (Categoría 0 - 1)		
1	Porcentaje elevado de sílice en los productos eruptivos (andesita/dacita/riolita)	1
2	Actividad volcánica dentro de los últimos 500 años	0
3	Actividad volcánica dentro de los últimos 5,000 años	1
4	Coladas piroclásticas dentro de los 500 años	0
5	Flujos de lodo dentro de los últimos 500 años	1
6	Tsunamis	0
7	Zona de destrucción durante los 5,000 años > 10 km².	1
8	Zona de destrucción durante los últimos 5,000 años > 100 km²	0
9	Ocurrencias de sismos	0

1	Población expuesta a riesgo > 100	1
2	Población expuesta a riesgo > 1,000	1
3	Población expuesta a riesgo > 10,000	1
4	Población expuesta a riesgo >100,000	0
5	Población expuesta a riesgo > 1'000,000	0
6	Víctimas en el curso de la historia	0
7	Evacuaciones durante una erupción histórica.	0

PORCENTAJE DE PELIGROSIDAD: 45%

VOLCAN COROPUNA

CRITERIOS DE AMENAZA (Categoría 0 - 1)		
1	Porcentaje elevado de sílice en los productos eruptivos (andesita/dacita/riolita)	1
2	Actividad volcánica dentro de los últimos 500 años	0
3	Actividad volcánica dentro de los últimos 5,000 años	1
4	Coladas piroclásticas dentro de los 500 años	0
5	Flujos de lodo dentro de los últimos 500 años	1
6	Tsunamis	0
7	Zona de destrucción durante los 5,000 años > 10 km².	1
8	Zona de destrucción durante los últimos 5,000 años > 100 km²	0
9	Ocurrencias de sismos	0

1	Población expuesta a riesgo > 100	1
2	Población expuesta a riesgo > 1,000	1
3	Población expuesta a riesgo > 10,000	1
4	Población expuesta a riesgo >100,000	0
5	Población expuesta a riesgo > 1'000,000	0
6	Víctimas en el curso de la historia	0
7	Evacuaciones durante una erupción histórica.	0

PORCENTAJE DE PELIGROSIDAD: 45%

CUADRO N° 8

A: POBLACION TOTAL EN EL SUR DEL PERU

Departamento	Población Total	
	Absoluto	Porcentaje
Arequipa	939..062	4.1
Ayacucho	512..438	2.3
Maquegua	130..192	0.6
Puno	1..103..689	4.9
Tacna	223..768	1.0
Total	2..909..149	12.9

B: POBLACION ANALFABETA EN EL SUR DEL PERU

Departamento	Población Total	
	Absoluto	Porcentaje
Arequipa	46..879	2.6
Ayacucho	92..887	5.2
Maquegua	7..693	0.5
Puno	145..101	8.1
Tacna	10..836	0.6
Total	303..396	17.0

C: POBLACION ECONOMICAMENTE ACTIVA EN EL SUR DEL PAIS

Departamento	Población Total	
	Absoluto	Porcentaje
Arequipa	307..802	4.3
Ayacucho	131..435	1.8
Maquegua	46..479	0.7
Puno	319..917	4.5
Tacna	81..367	1.1
Total	887..000	12.4

D: NUMERO DE VIVIENDAS

Departamento	Población Total	
	Absoluto	Porcentaje
Arequipa	307..802	4.1
Ayacucho	131..435	2.6
Maquegua	46..479	0.7
Puno	319..917	6.1
Tacna	81..367	1.0
Total	887..000	14.5

DISTRIBUCION DE LA POBLACION PERUANA

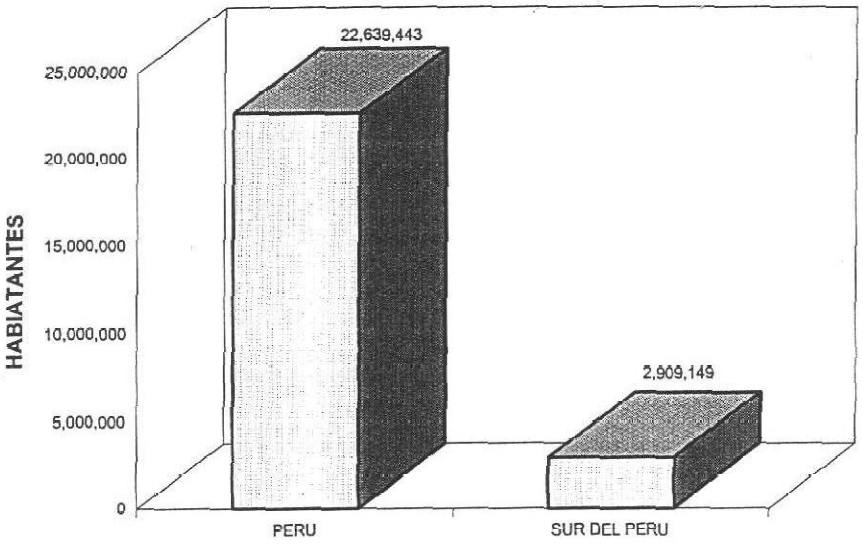


GRAFICO N° 1A

DISTRIBUCION PORCENTUAL DE LA POBLACION TOTAL EN EL SUR DEL PERU

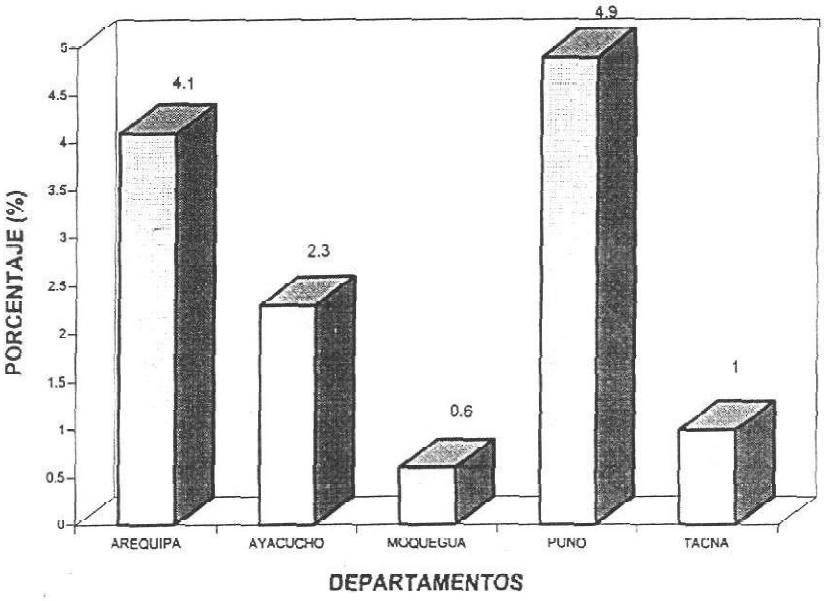


GRAFICO N° 1B

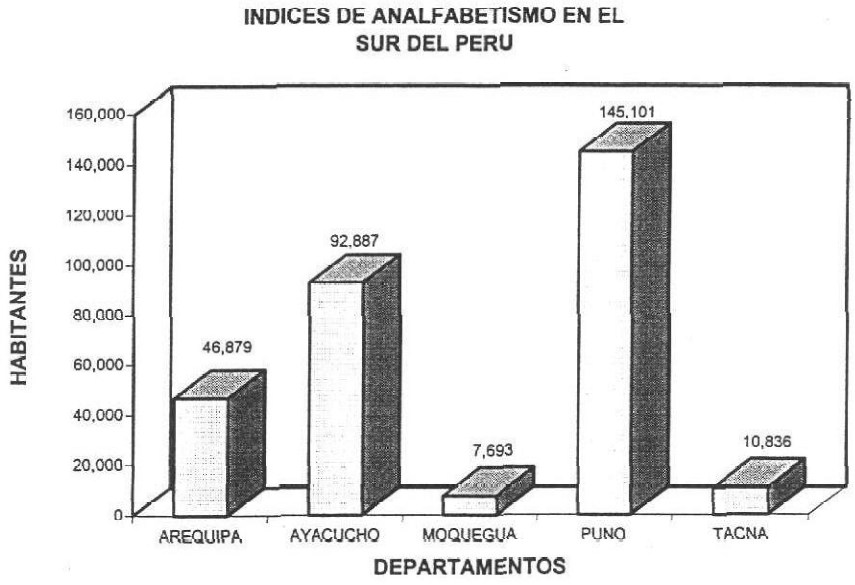


GRAFICO N° 2

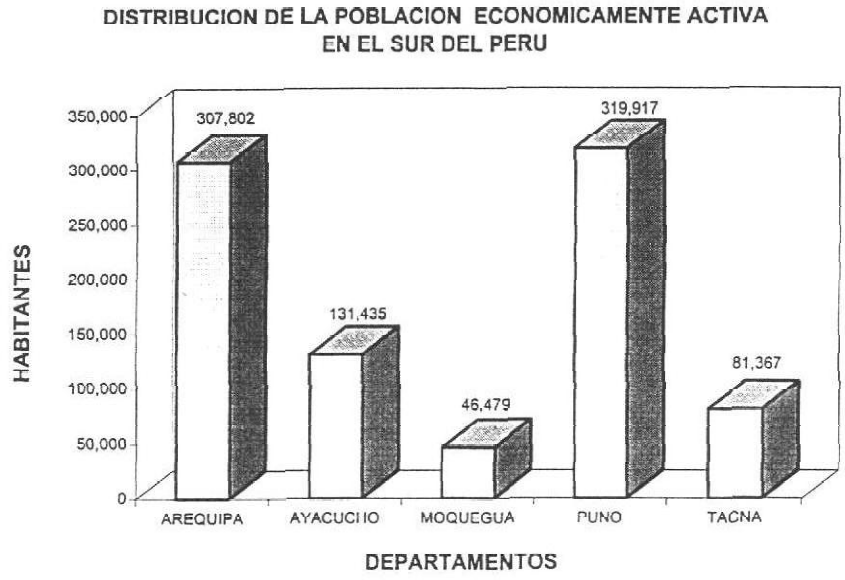


GRAFICO N° 3

DISTRIBUCION DE VIVIENDAS PARTICULARES *CON OCUPANTES*
EN EL SUR DEL PERU

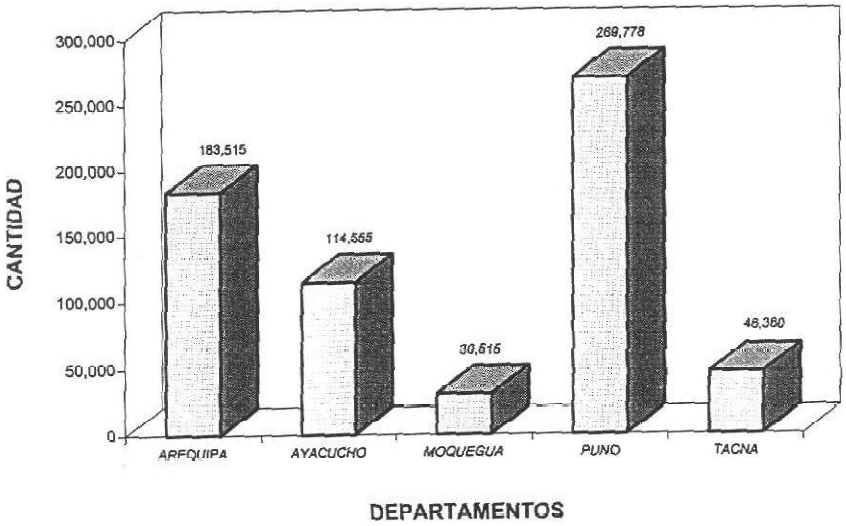


GRAFICO N° 4

CUADRO N° 9

PRINCIPALES OBRAS DE INFRAESTRUCTURA EN EL SUR DEL PAIS

NOMBRE	OBRA CIVIL	UBICACION GEOGRAFICA		UBICACION POLITICA		OBSERVACIONES
		LONGITUD OESTE	LATITUD SUR	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	
AGUADA BLANCA	Represa	71°20'	16°13'	Arequipa	AREQUIPA	Presa de tipo enrocado, ubicada en la cuenca del río Quilca. Beneficia a los valles de los ríos Chili, Vítor y Quilca, e irrigación de La Joya.
EL FRAYLE	Represa	71°12'	16°09'	Arequipa	Arequipa	Presa de tipo de concreto. Ubicada en la cuenca del río Quilca. Beneficia a los valles de los ríos Chili, Vítor y Quilca, e irrigación de La Joya.
CHARCANI I	Central Hidroeléctrica	16°18'	71°28'	Arequipa	Arequipa	Usa las aguas del río Chili. Genera 1.5 MW. Beneficia al departamento de Arequipa.
CHARCANI II	Central Hidroeléctrica	16°17'	71°28'	Arequipa	Arequipa	Usa las aguas del río Chili. Genera 0.8 MW. Beneficia al departamento de Arequipa.
CHARCANI III	Central Hidroeléctrica	16°15'	71°27'	Arequipa	Arequipa	Usa las aguas del río Chili. Genera 4.5 MW. Beneficia al departamento de Arequipa.
CHARCANI IV	Central Hidroeléctrica	16°15'	71°26'	Arequipa	Arequipa	Usa las aguas del río Chili. Genera 14.4 MW. Beneficia al departamento de Arequipa.
CHARCANI V	Central Hidroeléctrica	16°14'	71°25'	Arequipa	Arequipa	Usa las aguas del río Chili. Genera 135 MW. Beneficia los departamentos Arequipa, Moquegua y Tacna.
CHARCANI VI	Central Hidroeléctrica	16°14'	71°24'	Arequipa	Arequipa	Usa las aguas del río Chili. Genera 8.96 MW. Beneficia los departamentos Arequipa y Puno.
CHARCANI VII	Central Hidroeléctrica	16°14'	71°23'	Arequipa	Arequipa	Usa las aguas del río Chili. Genera 18 MW. Beneficia los departamentos Arequipa, Puno y Tacna.
LLUTA (MAJES)	Central Hidroeléctrica	15°59'	72°12'	Arequipa	Arequipa	Usa las aguas del río Chili. Genera 280 MW. Beneficia los departamentos de Arequipa, Moquegua, Puno y Tacna.
MOLLOCO I	Central Hidroeléctrica	15°33'	72°00'	Arequipa	Caylloma	Usa las aguas del río Chili. Genera 130.0 MW. Beneficia los departamentos Arequipa, Moquegua, Puno y Tacna.

NOMBRE	OBRA CIVIL	UBICACION GEOGRAFICA		UBICACION POLITICA		OBSERVACIONES
		LONGITUD OESTE	LATITUD SUR	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	
LAGUNILLAS	Central Hidroeléctrica	15°41'	70°38'	Puno	Lampa	Usa las aguas del río Verde. Genera 24 MW. Beneficia a las ciudades de Puno, Juliaca, y otras.
SAN GABÁN	Central Hidroeléctrica	13°35'	70°25'	Puno	Carabaya	Usa las aguas del río San Gabán. Generará 60 MW. Beneficia al departamento de Puno.
CHAVIÑA-CORACORA	Central Hidroeléctrica	15°00	73°49'	Ayacucho	Lucanas	Usa las aguas del río Chaviña. Genera 0.28 MW. Beneficia a las localidades de Coracora y Chaviña.
ARICOTA I	Central Hidroeléctrica	17°24'	70°21'	Tacna	Candarave	Usa las aguas del río Curibaya y de la laguna Aricota. Genera 23.8 MW. Beneficia a los departamentos de Moquegua, Tacna e Ilo.
ARICOTA II	Central Hidroeléctrica	17°25'	70°23'	Tacna	Candarave	Usa las aguas del río Curibaya. Genera 12.9 MW. Beneficia a las ciudades de Moquegua, Tacna e Ilo.
CERRO VERDE	Central Térmica	16°30"	71°37'	Arequipa	Arequipa	Genera 300 MW. Beneficia al complejo minero de Cerro Verde, cc.pp. Yarabamba, Socabaya y otros.
AREQUIPA	Central Térmica	16°24'	71°32'	Arequipa	Arequipa	Genera 11.4 MW. Beneficia a la ciudad de Arequipa y Cerro Verde.
CHILINA	Central Térmica	16°20'	71°33	Arequipa	Arequipa	Genera 48.8 MW. Beneficia a la ciudad de Arequipa y al campamento minero de cerro Verde.
MOLLENDO	Central Térmica	17°01'	72°03'	Arequipa	Islay	Genera 4.5 MW. Beneficia a la ciudad de Mollendo.
CAMANA	Central Térmica	16°37'	72°42'	Arequipa	Camana	Genera 2.5 MW. Beneficia a la ciudad Camaná.
ILO	Central Térmica	17°38'	71°21'	Moquegua	Ilo	Genera 176 MW. Beneficia a los complejos minero de Toquepala y Cuajone, así como a las ciudades de Ilo, Tacna y Moquegua.
PUNO	Central Térmica	15°50'	70°01'	Puno	Puno	Genera 9.1 MW. Beneficia a la ciudad de Puno.
JULIACA	Central Térmica	15°29'	70°08'	Puno	San Ramón	Genera 8.8 MW. Beneficia a la ciudad de Juliaca.
TACNA	Central Térmica	18°00'	70°15'	Tacna	Tacna	Genera 2.6 MW. Beneficia a la ciudad de Tacna.
TOQUEPALA	Central Térmica	17°18'	70°39'	Moquegua	Jorge Basadre	Genera 5.0 MW. Beneficia al complejo minero de Toquepala.
ILO	Puerto Marítimo	17°38'25"	71°21'00"	Moquegua	Ilo	Considerado como puerto mayor
ILO SOUTHERN	Puerto Marítimo	17°39'25"	71°22'00"	Moquegua	Ilo	Considerado como puerto mayor
PACOCHA	Puerto Marítimo	17°16'48"	71°20'36"	Moquegua	Ilo	Considerado como caleta.

NOMBRE	OBRA CIVIL	UBICACION GEOGRAFICA		UBICACION POLITICA		OBSERVACIONES
		LONGITUD OESTE	LATITUD SUR	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	
INGLES	Puerto Marítimo	17°39'22"	71°21'03"	Moquegua	Ilo	
MATARANI	Puerto Marítimo	17°00'00"	72°06'50"	Arequipa	Islay	Considerado como puerto mayor
MOLLENDO	Puerto Marítimo	17°59'17"	72°02'56"	Arequipa	Islay	Considerado como puerto mayor
QUILCA	Puerto Marítimo	16°42'54"	72°26'12"	Arequipa	Camana	Considerado como puerto menor
ÁTICO	Puerto Marítimo	16°14'16"	73°42'00"	Arequipa	Caraveli	Considerado como puerto menor
PUNTA LOMAS	Puerto Marítimo	15°33'14"	74°52'08"	Arequipa	Caraveli	Considerado como puerto menor
PUNO	Puerto Lacustre	15°51'11"	70°02'08"	Puno	Puno	Considerado como puerto mayor
CHUCUITO	Puerto Lacustre	15°53'27"	69°53'35"	Puno	Puno	Considerado como puerto menor
YUNGUYO	Puerto Lacustre	16°14'33"	69°06'17"	Puno	Yunguyo	Considerado como puerto menor
JULI	Puerto Lacustre	16°47'35"	69°28'00"	Puno	Chucuito	
PROYECTO MAJES	Irrigación	16°20'00"	72°16'00"	Arequipa	Varios	Represas, canales de conducción, túneles y terrenos agrícolas

CUADRO N° 9 (Continuación)

PRINCIPALES OBRAS DE INFRAESTRUCTURA EN EL SUR DEL PAIS (CARRETERAS)

OBRA CIVIL	UBICACION	OBSERVACIONES
Carretera Panamericana Sur	Arequipa, Moquegua, Tacna	Asfaltada en su totalidad
Carretera Arequipa - Cusco	Arequipa, Cusco	Carretera Arequipa - Cusco: Vía Yura, Patahuasi, Viscachani, Tintaya, Cusco
Carretera Arequipa - Cusco	Arequipa, Cusco	Carretera Arequipa - Cusco: Vía Cayma, Alto Sumbay, Viscachani, Tintaya, Cusco
Carretera Arequipa - Chivay	Arequipa	Vía: Arequipa, Yura, Chivay
Carretera Chivay - Madrigal	Arequipa	Vía: Chivay, Coporaque, Ichupampa, Lari , Madrigal (Valle del Colca)
Carretera Chivay - Cabanaconde	Arequipa	Vía: Chivay, Yanque, Achoma, Maca, Pinchollo, Cabanaconde (Valle del Colca)
Carretera Chivay - Irrigación De Majes	Arequipa	Vía: Chivay, Cabanaconde, Huambo, Majes (Carretera Panamericana)
Carretera Arequipa - Orcopampa	Arequipa	Vía: Arequipa, Sibayo, Caylloma, Orcopampa
Carretera Orcopampa - Valle De Majes	Arequipa	Vía: Orcopampa, Andagua, Machaguay, Viraco, Aplao, Camana
Carretera Camana - Cotahuasi	Arequipa	Vía: Camana, Aplao, Chuquibamba, Cotahuasi
Carretera Arequipa - Lluta	Arequipa	Vía: Arequipa, Yura, Huanca, Lluta
Carretera Arequipa - Puno	Arequipa, Puno	Vía: Arequipa, Chiguata, Santa Lucia, Juliaca, Puno
Carretera Arequipa - Ubinas	Arequipa, Moquegua	Vía: Arequipa, Chiguata, Chacalaque, Ubinas
Carretera Arequipa - Omate	Arequipa, Moquegua	Vía: Arequipa, Pocsi, Puquina, Omate

OBRA CIVIL	UBICACION	OBSERVACIONES
Carretera Moquegua - Puno	Moquegua, Puno	Vía: Moquegua, Torata, Puno
Carretera Moquegua - Mazo Cruz	Moquegua, Puno	Vía: Moquegua, Torata, Suches, Mazo Cruz
Carretera Moquegua - Calacoa	Moquegua	Vía: Moquegua, Torata, Chilligua, Carumas, Cuchumbaya, Calacoa
Carretera Tacna - La Paz (Bolivia)	Perú, Bolivia	Vía: Tacna, Palca, Collpa, La Paz (Carretera Internacional)
Carretera Tacna - Mazo Cruz	Tacna, Puno	Vía: Tacna, Tarata, Candarave, Mazo Cruz
Carretera Locumba - Mazo Cruz	Tacna, Puno	Vía: Locumba, Ilibaya, Curibaya, Candarave, Mazo Cruz
Carretera Qda. Honda - Mazo Cruz	Tacna, Puno	Vía: Qda. Honda (Km 1203+390), Toquepala, Suches, Mazo Cruz
Carreteras A Las Minas De Cuajone, Quellaveco Y Toquepala	Tacna, Moquegua	Southern Perú
Carreteras Vecinales	Arequipa, Moquegua, Tacna	Carreteras Afirmadas Y Trochas Carrozables
Ferrocarril Mollendo - Arequipa - Puno	Arequipa, Puno	
Ferrocarril Ilo - Toquepala	Moquegua	Usado por la compañía Southern Perú
Ferrocarril Arica - Tacna	Perú, Chile	Ferrocarril Internacional

CUADRO N° 10

CARACTERISTICAS DE LOS VOLCANES ACTIVOS Y POTENCIALMENTE ACTIVOS EN EL PERÚ

NOMBRE	ESTRUCTURA	EVOLUCIÓN	ESTADO ACTUAL	ERUPCIONES*	RIESGO	REFERENCIAS
SABANCAYA	Categoría: En erupción. Volcán más joven del Complejo Hualca Hualca - Ampato- Sabancaya. Se trata de un conjunto formado por dos conos bastante conspícuos. Su estructura está montada entre los centros viejos y su flanco está formado por un extenso flujo de lava, cubriendo y rodeando el cono. Cortos flujos de lava reciente están distribuidos alrededor de la cima del cráter representando a entre 14 a 16 eventos efusivos.	Entre 12/86 y 06/88 una cúpula de lava había crecido en el cráter y el cuerpo, sin anomalías termales. Entre el 22 y 25/06/96 emitió numerosas pulsaciones de vapor cada ciertos minutos. Se tienen evidencias de su actividad en el siglo XIII.	El 29/05/90 la débil actividad fumarólica del Sabancaya fue interrumpida por una fase de actividad explosiva. Erupciones con expulsión de cenizas y bloques resplandecientes en el aire, sugiere un volcanismo activo. Inicialmente la actividad fue solamente 2 ó 3 veces al día, pero luego del 03/06/90 se produjeron explosiones cada 20 minutos. Monitoreado actualmente por el IGP.	1750, 1784, 1986, 1988, 1990 - ?	Pueden ser detectado aproximadamente 6,000 habitantes de los valles que drenan desde el complejo volcánico. En un radio de 30 km alrededor del Sabancaya, existe una población aproximada de 35,000 personas. Riesgos por caídas de piroclásticos, flujos piroclásticos y lahares. El valle de Majes puede ser afectado (terrenos de cultivo, viviendas, obras de irrigación) por la acción de lahares, así como también el valle del río Sihuas. En 1988 la erupción del Sabancaya mató ganado en las áreas adyacentes al volcán, por la contaminación del pasto o emanaciones venenosas. Es importante mencionar que emanaciones de lava del Volcán Hualca Hualca represaron el río Colca en épocas pasadas. (ver mapa 2, de Huamán et al., 1994)	Huamán et al. 1994

NOMBRE	ESTRUCTURA	EVOLUCIÓN	ESTADO ACTUAL	ERUPCIONES*	RIESGO	REFERENCIAS
MISTI	Categoría: Fumarólico. El cono del Misti abarca dos edificios; el estratovolcán joven hacia el E y SE se formo al lado y recubriendo el antiguo estratovolcán de edad pleistocénica hacia el O y NO. Avalanchas de escombros hacia el Oeste y Sudoeste, atestiguan el derrumbe parcial del antiguo edificio volcánico. El cráter histórico de 500 m de diámetro con un domo céntrico, se encuentra dentro de un cráter más antiguo de 900 m diámetro.	Por lo menos 20 erupciones en los últimos 14,000 años, incluyendo colapso sectorial. Hace 2,100 años erupción mayor de una ignimbrita, hace 600 años aprox. mayores erupciones estrombolianas (dataciones radiométricas C^{14}, Thouret et al. 1996). Desde 1440-1480 se reporta actividad explosiva (cenizas negras, lapilli y bombas) del Misti, cubriendo la actual ciudad de Arequipa. Además hay reportes de actividad el 02/05/1677 (fumarolas), el 09/07/1784 ("llamaradas"), el 28/07/1787 al 10/10/1787 (fumarolas).	Se ha reportado actividad fumarólica entre 1948-1949 y 1984-1985.	1454, 1542?, 1599?, 1677, 1784, 1787, 1826?, 1830?, 1831?, 1869?, 1870?	La ciudad de Arequipa y sus distritos cercanos con más de 1'400,000 habitantes. (ver mapa 5 de Thouret et al. 1996.)	Barriga 1951, Bullard 1962, Parodi 1975, De Silba y Francis 1991, Thouret et., al. 1996
UBINAS	Categoría Fumarólico. Estratovolcán pleistocénico, con evidencias de varios eventos de colapso (depósitos de avalanchas de escombros). Su amplio y casi simétrico cono truncado de 1,300 m de altura es escarpado hacia la cima con inclinaciones de 45°	Diversos flujos juveniles de lava están presentes en el flanco Oeste cubriendo morrenas terminales de aproximadamente 10,000 años de antigüedad (última deglaciación). Erupciones mayores del Ubinas (erupciones de cenizas y lapilli), son reporta-	Actualmente hay un incremento de la actividad fumarólica desde Dic/95 hasta la actualidad. En abril 96, cinco conductos abiertos de vapor han sido identificados a lo largo de la falla N40°O, pasando	1550, 1600, 1662, 1677, 1784, 1826?, 1830, 1862, 1865,	Peligro por caídas de piroclásticos, avalanchas de escombros, flujos piroclásticos y lahares, capa de nieve en el flanco S de la cumbre. Hacia el SE del volcán se observa el mayor recorrido de algunos flujos piroclásticos y avalanchas de escombros, aquí se localizan	Bullard, 1962, Parodi 1975, De Silba y Francis 1991, Spann 1956, Thouret et., al. 1996

NOMBRE	ESTRUCTURA	EVOLUCION	ESTADO ACTUAL	ERUPCIONES*	RIESGO	REFERENCIAS
UBINAS	cerca de la cima. La cima tiene > 1.2 km de largo y una pared escarpada entre 100 y 150 m de altura, representando una caldera cumbre. Profundidad de la caldera es 200 - 400m. Un cráter interno y un cono de cenizas ocupan la porción central de la caldera, y es el mismo truncamiento de la mayor parte de los respiradores recientes. (ver mapa N° 1, de Thouret et. al. 1996).	das desde 1552 (?), 1677, 1784 y algunas en 1800, con mayor crisis en 1956.	por piso y paredes del cráter. Vapor blanco ocasionalmente sube hasta más de mil metros encima de la caldera cumbre. Monitoreo sísmico durante abril 96 registró ~50-70 eventos por día, indicando ruido sísmico incrementado. Monitoreado actualmente por el IGP y ORSTOM.	1867, 1869, 1906, 1907, 1937, 1951, 1956, 1969, 1995 -?	a lo largo de la quebrada del río Volcanmayo algunos pueblos como Ubinas; esta Qda. se une al río Para y luego al río Tambo, hasta el Océano Pacífico. El distrito de Ubinas alberga aproximadamente 6,000 habitantes.	
TUTUPACA	Categoría Fumarólico: El volcán presenta una morfología propia de rocas viscosas hacia el lado NO y de lavas más fluidas (suave pendiente) en el lado oriental. Se nota una migración del foco eruptivo hacia el Sur controlado por un tectonismo regional.	Se reportan erupciones históricas desde 1787 (?) y la última, que empezó el 30/03/1802, la cual duro 5 meses y oscureció el cielo de la costa entre Moquegua y Arica (Echevarría, 1804).	En la actualidad el volcán muestra actividad fumarólica y geotermal, azufrera.	1780, 1802, 1862, 1902	Caídas de piroclásticos, flujos piroclásticos y lahares pueden afectar a los centros poblados ubicados en el río Callazas, río Ilabaya-Locumba hasta el Océano Pacífico. Al Norte está ubicada la laguna de Suches, fuente principal de agua en las operaciones de la Southern Perú.	Bullard 1962, Parodi 1975, De Silba y Francis 1991, Morche y De La Cruz 1994
YUCAMANE / CALIENTE	Categoría: Latente. Estratovolcanes con centros parasitarios, alineados paralelo al rumbo andino (NO-SE).	C°. Caliente: estratovolcán con derrames tardíos dacíticos. Múltiples fases de erupciones explosivas con producción de flujos piroclásti-	Testigos de actividad en los últimos siglos son escasos y contradictorios, reportando eventos en 1787 (Echevarría,	1787	Caídas de piroclásticos, flujos piroclásticos y lahares pueden afectar a los centros poblados (Candarave) ubicados en el río Callazas, río Salado, río Ilabaya-	Bullard 1962, Parodi 1975, De Silba y Francis 1991, Morche y De La

NOMBRE	ESTRUCTURA	EVOLUCION	ESTADO ACTUAL	ERUPCIONES*	RIESGO	REFERENCIAS
YUCAMANE / CALIENTE		cos. Yucamane: estratovolcán joven con cráter de cumbre reciente. Lahares en la planicie hacia el Sur.	1804). Actividad geotermal notoria en el valle del río Calientes a lo largo de una falla con rumbo antiandino, azufrera.		Locumba hasta el Océano Pacífico. Al Suroeste está ubicada la laguna de Aricota, una de las fuentes principales de agua y central hidroeléctrica para el departamento de Tacna.	Cruz 1994
HUAYNA-PUTINA	Categoría: Latente. Complejo de tres cráteres y conos de cenizas dentro de una caldera de 2.5 x 1.5 km.	Edificio preexistente fue destruido durante la erupción en 1600, flujos de escombros hasta la costa (120 km)	Erupción pliniana paroxismal en Febrero del año 1600, probablemente en parte freatomagmático, depósitos de cenizas en ≥ 400 km distancia, cubriendo ≥ 20,000 km²	1600, 1667	Departamento de Arequipa por caídas de cenizas, río Tambo por avalanchas de escombros y lahares.	Gonzáles-Ferrán 1990, Thouret et al., 1996
AMPATO	Categoría: Latente. Estratovolcán, con glaciares y nieve en su cumbre.	Se reporta actividad fumarólica desde 1784 hasta Julio de 1785.	En la actualidad el volcán Sabancaya, a 4.5 km al NE del Ampato, es activo.		Los aproximadamente 6,000 habitantes de los valles que drenan desde el complejo volcánico pueden ser afectados. Alto riesgo por lahares; riesgo por piroclastos. El valle de Majes puede ser afectado por la acción de lahares, así como también el valle del río Sihuas.	
COROPUNA	Categoría: Latente. Este complejo volcánico es el más amplio y alto del Perú. Consiste en 6 centros (conos) principales distribuidos en un área de 20 x 12 km. El punto	No se tiene reportes de erupciones históricas del Coropuna. Sin embargo, la reciente actividad está expresada por flujos de lavas bien preservadas desde los flancos NE, SE	Por la cubierta de hielo actual, se puede presumir que no hay actividad termal en la cumbre. Sin embargo afloran manantiales termales en		El volcán Coropuna, presenta todos los riesgos potenciales de un volcán cubierto por grandes volúmenes de hielo permanente. Una reanudación de su actividad traería consigo la ocurrencia de	Bullard 1962, Parodi 1975, Weibel y Fejer, 1977, De Silba y Francis 1991

NOMBRE	ESTRUCTURA	EVOLUCIÓN	ESTADO ACTUAL	ERUPCIONES*	RIESGO	REFERENCIAS
COROPUNA	más alto (6377 m) está al NO. El volcán está cubierto por aprox. 130 km² de hielo permanente a partir de los 5300 msnm en el flanco norte, y a partir de 4800 msnm en el flanco sur. Glaciares de valles están presentes como remanentes dentro de grandes valles glaciares grandes con morrenas laterales, hasta 10 km de distancia al nevado (imagen satélite).	y Oeste, ocupando valles glaciares y morrenas de ≥ 10,000 años de antigüedad. El Coropuna es uno de los volcanes de la cadena que se extiende con dirección ONO-ESE desde el volcán Solimana en el Oeste y el Sabancaya al Este, con alineamientos paralelos de fallas jóvenes.	el flanco N del Coropuna (río Caliente)		lahares, canalizadas por las valles extremamente profundos (Qdas. Jollpa, Llacllajo, Tuailqui, Tastane) con consecuencias destructoras en los ríos Capiza y Majes. En su recorrido final se encuentra la localidad de Majes con más de 14,000 habitantes. Camaná con más de 20,000. Así mismo puede ser afectado el valle del río Ocoña a través del río Chichas. Sin embargo no hay evidencia en el campo, de que las últimas erupciones de derrames estuvieron acompañados por lahares.	
FIRURA	Categoría: Latente. Complejo eruptivo con estratovolcán central (5,450 msnm.) y numerosos centros parasitarios, domos. Cadena de centros eruptivos alineados con rumbo NE-SO en prolongación del volcán Solimana y paralelo a la falle del cañón de Cotahuasi.	La actividad relativamente reciente está expresada por flujos de lavas bien preservadas, ocupando valles glaciares y morrenas de ≥ 10,000 años de antigüedad, sugiriendo en parte actividad coetánea con el Coropuna.	No hay reportes de actividad en el pasado.		Posición remota. El Firura se encuentra con capa de hielo permanente. Impacto por lahares, flujos piroclásticos etc., hacia el cañón de Cotahuasi.	
VALLE DE LOS VOLCANES	Categoría: Latente. Campo volcánico con aproximadamente 37 centros de erup-	La actividad relativamente reciente está expresada por conos de escorias y flujos de	Siglo XV?	1913?		Bullard 1962, Parodi 1974, 1975,

NOMBRE	ESTRUCTURA	EVOLUCION	ESTADO ACTUAL	ERUPCIONES*	RIESGO	REFERENCIAS
VALLE DE LOS VOLCANES	ción, conos de escorias y derrames.	lavas bien preservadas, ocupando el valle glaciar. Probablemente hay varias épocas de actividad, cuyas última tal vez corresponde al tiempo incaico.				Villiger 1976, Hoempler 1962, 1969
SARA SARA	Categoría: Durmiente. Complejo de estratovolcanes con domos tardíos.	Se distingue un Paleo - Sara Sara, que fue parcialmente destruido y cubierto por el estratovolcán del Neo Sara Sara, con depósitos de varios fases muy explosivos (colapsos de domos, flujos piroclásticos, nubes ardientes) de alto potencial de peligro	Ninguna. Comentarios periodísticos de actividad fumarólica (?) en 1963 (1 día)			
CHACHANI	Categoría: Durmiente. Se localiza a 20 km al Norte de Arequipa, cubriendo un área de 360 km². Está constituido por tres elementos estructurales importantes: El pre Holoceno C° Nocarane, C° Los Peñones y en el Norte, el más joven, Chachani, un cerro volcánico arqueado en la parte central del complejo y la extensa masa de lava en la Pampa Palacio, en el Sur.	Las manifestaciones de la actividad post-glacial limitan los dos elementos modernos. Se localizan delgados flujos de lava desde el centro y la porción Oeste del Chachani sobre morrenas y las cenizas de poca extensión del cono del C° La Horqueta, que pueden representar la actividad pasada del volcán. La extrusión pasiva de un domo que presenta dos salidas diferen-	No hay reportes de actividad en el pasado. Se reportan fuertes ruidos en épocas de la Colonia, fuentes termales en Yura y Socosani, pueden evidenciar una baja actividad hidrotermal del sistema magmático Chachani.	?	El volcán Chachani presenta un riesgo potencial, dada su proximidad con la Ciudad de Arequipa. Los centros poblados al Oeste del río Chili serían particularmente vulnerables por flujos piroclásticos y flujos de lodo (lahares).	

NOMBRE	ESTRUCTURA	EVOLUCION	ESTADO ACTUAL	ERUPCIONES*	RIESGO	REFERENCIAS
CHACHANI		ciadas podría ser la última fase de la actividad.				
TICSANI	Categoría: Latente (?). Estratovolcan con múltiples fases de colapso, domos tardíos dacíticos. Datación 190,000 años, cerro Picchu (OLADE 1980)	Estratovolcán colapsado hacia el ESE, seguido por extrusión de varios domos y domolavas	Actividad geotermal: (manantiales hirvientes de Calacoa, río Putina)	?		Lajo S., 1982
IACORA (CHILE)	Categoría: Latente. Estratovolcán con capa de nieve/hielo		Actividad fumarólica, azufreras.	1930?, 1937?.	Posibles efectos por caídas de piroclastos, flujos piroclástos y lahares que pueden llegar al territorio peruano.	De Silba y Francis, 1991
GUALLATIRI (CHILE)	Categoría: Fumarólica. Estratovolcán complejo, múltiples fases de colapsos, capa de nieve/hielo		Julio 1996 emisiones de vapor blanco de la cumbre y del flanco Sur, actividad fumarólica ± permanente.	1825, 1908?, 1913, 1959, 1960, 1985?	Posibles efectos por caídas de piroclastos que pueden llegar al territorio peruano.	De Silba y Francis, 1991, J. Sesiano, Département de Minéralogie, Université de Geneve, 13 rue des Maraichers, 1121 Geneve 4, Suiza
PARINACOTA (CHILE)	Categoría: Durmiente. Estratovolcán, capa de nieve/hielo.	Última erupción paroxismal - aproximadamente hace. 13,000 años B.P.			Posibles efectos por caídas de piroclásticos que pueden llegar al territorio peruano.	De Silba y Francis, 1991

* CAVW = Catalogue of Active Volcanoes of the World (Simkin y Sieber, 1994)

RIESGO VOLCANICO

De acuerdo al Mapa de Amenazas que se presenta (Mapa N° 3), se puede observar que las zonas de mayor riesgo volcánico en el Sur del Perú, se localizan teniendo como centros los volcanes: Misti, Sabancaya y Ubinas. Asimismo en el Cuadro N° 11 se observa los posibles daños que podrían ocasionar, en las obras de infraestructura, las erupciones de estos volcanes, igualmente en el Cuadro N° 12 se señalan los principales centros poblados que podrían ser afectados en cualquiera de sus efectos.

Página en blanco

CUADRO N° 11

VOLCANES ACTIVOS - POSIBLES DAÑOS

VOLCAN	POSIBLES DAÑOS		
	POBLACION (aproximada)	VIVIENDAS (aproximado)	OBRAS DE INGENIERÍA
SABANCAYA	48,500	14,000	Proyecto Especial Majes: Obras de conducción: túneles, canales. Central Hidroeléctrica de Lluta. Sistema de irrigación en los valles de Sihuas y Majes. Sistema vial: Chivay-Cabanaconde-Huambo, Arequipa-Chivay-Cusco, Arequipa-Caylloma-Orcopampa-Arcata, en el valle de Majes y Sihuas, carreteras vecinales.
MISTI	575,000	91,000	Centrales Hidroeléctricas: Charcani I, II, III, IV, V, VI, VII. Centrales Térmicas: Arequipa, La Chilina. Represa Aguada Blanca. Vías de Comunicación. Proyecto Especial Majes: terrenos de cultivo. Vías de Comunicación: Ferrocarril Arequipa-Cusco, Carretera Arequipa-Cusco, Arequipa-Puno, Arequipa-Valle del Colca, Arequipa-Yura-Huanca, Carretera Panamericana Sur, carreteras vecinales.
UBINAS	4,300	2,600	Vías de Comunicación: carretera Arequipa-Ubinas, carreteras vecinales.

CUADRO N° 12

VOLCÁN	POBLADOS QUE PODRÍAN SER AFECTADOS POR ACTIVIDAD VOLCÁNICA (EN CUALQUIERA DE SUS EFECTOS)
SABANCAYA	Acoy, Achoma, Alca Huito, Amarani, Anchacalla, Andamayo, Antapampa, Antasura, Antotaña, Aplao, Ayo, Bellavista, Beringa, Bilbao, Blanco Blanco, Boyadero, Buenos Aires, Cabanaconde, Cabildo, Cajamarcana, Callan, Callicalli, Canayaque, Candillajoj, Cantas, Capilla, Casa Grande, Casoine, Casquina, Cateriano, Ccasapata, Ccasau, Coasahuasi, Cochate, Collpa, Conchachaca, Condori, Coporaque, Corahuata, Corinta, Corire, Cosnhua, Cosos, Cotacota, Cuculí, Cujan, Cullujane, Cuñirca, Cupiarniyoc, Curiña, Chachani, Chalhuacascana, Chancarane, Chancarani, Characta, Chillihua, Chilluyo, Chirinuevo, Chiriviejo, Chocpallo, Chuaña, Churquina, Desaguadero, El Castillo, El Molino, El Pasto, El Puente, El Retiro, Escajerillas, Escalera, Goyeneche, Granado, Hichuhichu, Higueritas, Hornillo, Huaca Chiguero, Huacatiapa, Huaco, Huallhuane, Huambo, Huanca, Huancanayoc, Huancane, Huancarqui, Huañamarca, Huapana, Huarancate, Huarangal, Huarango, Huaynapata, Huaytane, Huerta Cancha, Huitoto, Huituhuasi, Humacola, Humajala, Ichupampa, Ichuraya, Infiernillo, Irupujo, Iscaycacha, Iscayocco, Jancoccota, Japo, Japo, Japutaña, Jaraba, Jaroelo, Jayalli, Jello Jello, Jocca, Juntotaña, La Barranca, La Barrera, La Cabecera, La Central, La Esmeralda, La Federal, La Laja, La Mina, La Ophela, La Pampa, La Real, Lanca, Lari, Las Laderas, Los Puros, Luchea, Lufis, Llacto, Llucha, Lluta, Maca, Macalle, Madrigal, Malata, Mamas, Maran Grande, Marcapampa, Mareccota, Marihuire, Mesana, Mocopata, Monte Común, Murco, Naspas, Negra, Oquines, Orcopampa, Pacaecitos, Pacce, Pachachaca, Pachaqui, Pacheco, Paican, Palcahuasi, Pallca, Pampa Blanca, Pampa Blanca, Pampata, Parco, Parcotaña, Patachipana, Pedregal, Perú, Pinchollo, Pisques, Pitay, Platanal, Platillone, Puca Mocco, Pucacancha, Pueblo Nuevo, Pujro, Pujro, Pujulli, Punta Colorada, Puricestancia, Puyulace, Queñuarane, Querque, Quilcapampa, Quiroz, Quiscay, Rayo, Sacay, Sacramento, Sahuana, Salviayoc, Sallalli, San Andrés, San Basilio, San Francisco, San Gregorio, San José, San José de Huacatiapilla, San Juan de Sihuas, San Vicente, Santa Ana, Santa Isabel de Sihuas, Santa Rosa, Sanua, Sarcas, Satay, Senicero, Sirieoco, Sobrerune, Socapampa, Soccaro, Surtillane, Sururuy, Tacra, Talcaña, Tambillo, Tapay, Tarucane, Tasarao, Taucaya, Tayacce, Tintin, Tocnaaque, Tocsococta, Toran, Torete, Torjroyo, Toroya, Torre Torre, Trapiche, Umajala, Uñon, Uraca, Utunco, Vasquez, Visconja, Vizcachane, Yanac Ancha, Yananque, Yanaseninga, Yanque, Yuracc Cancha, Yuracmoced, Yuracmoceo, Zandor, Zarzal.
MISTI	Albertazo, Alto Selva Alegre, Arenales, Arequipa, Baños Jesús, Buena Vista, Cacapata, Cacayacu, Cayma, Cerrillo, Cerro Colorado, Characato, Chiguata, La Calera, La Huaylla, Mariano Melgar, Miraflores, Mollebaya, Murucancha , Pasto Grande, Paucarpata, Quellocona, Rinconada, Sabandia, Titumpaya, Tutumpaya.
UBINAS	Buena Vista, Cabrerio, Carajaya, Casapata, Cucho, Chacalaque, Chagechajen Chapine, Chaqui Alfa, Chaquiarca, Chejollo, Chuza, Encancha, Hormilla, Huachutule, Isla, Jumira, Laca, Llapatera, Matalaque, Mecancachi, Molico, Molino, Molino Pata, Mujumpa, Para, Postocone, Pucacancha, Pucutaca, Quenazane, Querapi, San José, San Miguel, San Miguel de Anascapa, Saytia, Sumarapi, Suype, Tacumayo, Tonohcya, Tuntale, Turhuaya,Ubinas, Viscachani.

BIBLIOGRAFIA

BAILE, S., 1896.
El Misti. - Boletín de la Sociedad Geográfica de Lima. T N° 1, N° 7 a 9.

BAKER, M. y FRANCIS, P., 1978.
Upper cenozoic volcanism in the Central Andes - ages and volumes. - Earth Planet. Sci. Lett., 41, 175-187.

BLONG, R., 1996.
Volcanic hazard risk assessment. - en: SCARPA, R. Y TILLING, R. (edts.) Monitoring and mitigation of volcano hazards. - Springer, Berlín 675-698.

BOLETIN DE LA SOCIEDAD GEOGRÁFICA DE LIMA , 1898-1899

BULLARD, F., 1962.
Volcanoes of Southern Peru. - Bull. Volcan., 24, 445-453.

CENTRO REGIONAL DE SISMOLOGÍA PARA AMERICA LATINA DEL SUR. PROYECTO SISRA, 1985.
Lima. Simposio sobre el peligro, riesgo sísmico y volcánico en América del Sur. - Instituto Nacional de Prevención Sísmica, San Juan Argentina. Vol.14. 1985

CEPEDA, H., PULGARIN, B., CALVACHE, M., y ALVARADO, A., 1990.
Mapa preliminar de amenaza volcánica potencial del volcán Galeras (Pasto, Colombia). Segunda versión. - I. Seminario Andino de Geología Ambiental, I. Conferencia Colombiana de Geología Ambiental y III. Conferencia de Riesgos Geológicos del Valle de Aburra (Colombia). AGID Report N° 13. Abril-Mayo de 1990.

DAVILA CASTRO, JASMINE, 1997.
Estudio geológico y tefraestratigráfico del volcán Huaynaputina (Erupción de 1600). - Tesis UNMSM, en preparación.

DE SILVA, S. y FRANCIS, P., 1990.
Potentially active volcanoes of southern Peru -Observations using Landsat Thematic Mapper an space shuttle imagery. - Bull. Volcan., 52, 286-301.

DE SILVA, S. y FRANCIS, P., 1991.
Volcanoes of the Central Andes. - Springer, Berlin, 216 pp.

ELLISON, E., 1990.
The geology of the Western Cordillera and Altiplano West of Lake Titicaca, Southern Peru. - Overseas Geology and Mineral Resources. British Geological Survey. London.

FISHER, R. y SCHMINCKE, H.U., 1984.
Pyroclastic rocks. - Springer, Berlin, 472 pp.

FRANCIS, P. y WELLS, G., 1988.
Landsat Thematic Mapper observations of debris avalanche deposits in the Central Andes. - Bull. Volcanol., 50, 258-278.

GONZALES FERRAN, O., 1985.
Regiones de mayor riesgo volcánico de América del Sur. Centro Regional de Sismología para América del Sur. - Proyecto SISRA, Lima, Vol. 14.

GONZALES FERRAN, O., 1990.
Huaynaputina volcano: the biggest historical dacitic eruption in the Central Andes of South America, on February 19, 1600. -Inter. Volcanol. Congress, IAVCEI, Mainz, FRG: (abstract).

GUILLANDE, R. THOURET , J. C., HUAMAN, D., GOURGAUD, A., LE GUERN, F., 1992.
L' activité éruptive actuelle du volcan Nevado Sabancaya (Sud du Pérou) et l' évaluation des menaces et des risques: géologie, cartographie et imagerie satellitaire. - Rapport DRM. 1992: 133 pp.

HALL, M. y WOOD, C., 1985.
Segmentación volcánico-tectónica de los Andes Septentrionales. Centro Regional de Sismología para América del Sur. - Proyecto SISRA, Lima, Vol. 14.

HASEGAWA, A. AND SACKS, S., 1981.
Subduction of the Nazca plate beneath Peru as determined from seismic observations. - Jour. Geophys. Res., 86, 4971-4980.

HOEMPLER, A., 1961.
El valle de los Volcanes. - Bol. Soc. Geogr. Lima. 78, 14-20.

HOEMPLER, A., 1962. Valle de los Volcanes de Andahua, Arequipa. - Bol. Soc. Geol. Perú, 37, 59-69.

HOEMPLER, A., 1969. Valle de los Volcanes de Andahua. - Bol. Soc. Geogr. Lima. 88, 57-61.

HUAMAN, D., 1995.
Métodos y aplicaciones de las imágenes de satélite en la cartografía geológica: El caso de seguimiento y evolución de la amenaza volcánica del Sabancaya (Región del Colca, Arequipa). - Tesis para optar el Título de Ingeniero Geólogo. UNSA, Arequipa.

HUAMAN, D., CHOROWICZ, J., DEFFONTAINES, B., GUILLANDE, R. et RUDANT, J., 1993.
Cadre structural et risques géologiques étudiés á l'aide de l'imagerie spatiale: la région du Colca (Andes du sud Pérou). - Bull. Soc. Géol. France, T. 164, N° 6, pp 807-818.

HUAMAN, D., CHOROWICZ, J., GARCIA, F. Y SALAS, G., 1994.
Actividad del Volcán Nevado Sabancaya de 1986 a 1993 y el uso de la imágenes SPOT (Sur del Perú). - VIII Congreso Peruano de Geología, Lima, 223-237.

KANEOKA, I. AND GUEVARA, C., 1984.
K-Ar age determinations of Late Tertiary and Quaternary Andean volcanic rocks, southern Peru. - Geochem. Jour., 18, 233-239.

KLINCK , B., PALACIOS, O., ELLINSON, R., HAWKINS, M., DE LA CRUZ, J., DE LA CRUZ, N., 1991.
Geología de la Cordillera Occidental y Altiplano al Oeste del Lago Titicaca - Sur del Perú. - INGEMMET, Boletín N° 42, Serie A, Lima.

LAHARIE, R., 1975.
Tectogénesis, orogénesis y volcanismo en los Andes del Sur del Perú. -Instituto Francés de Estudios Andinos. Boletín N° 4, N° 3-4

LAJO SOTO, J., 1982.
Primeros resultados de los estudios geotérmicos en el campo geotermal de Calacoa. -Archivo Técnico INGEMMET, Lima, 48 pp.

LEFEVRE, C., 1973.
Les Caractéres magmátiques du Vulcanisme plio-cuaternaire des Andes dans le Sud du Pérou. - Contr. Mineral. and Petrol. 41, 259-272.

MACDONALD, G., 1972.
Volcanoes, Prentice -Hall, Ing, Englewood Cliffs, New Jersey, 510 pags.

MACEDO FRANCO, LUISA, 1993.
Peligro volcánico potencial del Misti. - Tesis para optar el título de Ingeniero Geólogo. UNSA, Arequipa.

GARCIA MARQUEZ, W., 1978.
Geología de los cuadrángulos de Puquina, Omate, Huaitire, Mazo Cruz y Pizacoma. - Inst. Geol. Minería, Lima, Perú, Bol. 29, 29pp.

MENDIVIL, E., 1965.
Geología de los cuadrángulos de Maure y Antajave. - Com. Carta Geol. Nac. Bol., 10, 99 pp.

MORCHE, W. y DE LA CRUZ, N., 1994.
Geología y Petrografía de los complejos eruptivos plio-pleistocénicos de Yucamane y Tutupaca (Tacna). - VIII Congreso Peruano de Geología, Lima, 209-213.

NOBLE, D. C. , MCKEE, E.H., FARRAR, E., PETERMAN, V., 1974.
Episodic volcanism and tectonism in the Andes of Peru. - Earth Planet. Sci. Lett., 21, 213-220.

NOBLE, D. C. , MCKEE, E.H., MEGARD, F., 1979.
Early Tertiary "Incaic" tectonism, uplift, and volcanic activity, Andes of central Peru. - Geol. Soc. Am. Bull., 90, 903-907.

NOBLE, D. C., MCKEE, E.H., 1982.
Nevado Potugueza volcanic center, central Peru: a Pliocene central volcano-collapse caldera complex with associated *silver mineralization*. - Econ. Geol., 77, 1893-1900.

PARODI ISOLABELLA, A., 1965.
Volcanes. -Rev. Nac. Univ. San Agustín Arequipa, 50/51, 11-22.

PARODI ISOLABELLA, A., 1974.
Notas sobre el Valle de Andahua. - Bol. Soc. Geogr. Lima, 93, 35-38.

PARODI ISOLABELLA, A., 1975.
Volcanes del Perú. - Bol. Soc. Geogr. Lima. 94, 20-23.

SANCHEZ, A. y LEON, W., 1995.
Rocas igneas. - En: Geología del Perú. Boletín N°-55, Serie A, INGEMMET, Lima, 87-130.

SCARPA, R. y TILLING, R. (eds.), 1996.
Monitoring and mitigation of volcano hazards. - Springer, 841 pp.

SEBRIER, M. LAVENU , A., FORNARI, M., AND SOULAS, J.P., 1988.
Tectonics and uplift in Central Andes (Peru, Bolivia and northern Chile) from Eocene to present. -Géodynamique, 3(1-2), 85-106.

SHIPEE, R., 1932.
Lost valleys of Peru: Results of the Shipee-Johnson Peruvian expedition. - Geog. Rev. 22, 562-581.

SIMKIN, T., SIEBERT, L., MCCLELLAND, L., BRIDGE, D., NEWHALL, C., LATTER, J., 1981.
Volcanoes of the World. - Hutchinson Ross Publishers, 232 pp.

SIMKIN, T. y SIEBERT, L., 1994.
Volcanoes of the World. - Tucson, Geoscience Press, 349 pp.

SPANN, H., 1956.
El Volcán Ubinas. - Proc. 8th Pacific Scientific Congress, 2, 56-59.

STEINMUELLER, K., ZAVALA C., B., 1997.
Hidrotermalismo en el Sur del Perú. - Estudio Técnico -INGEMMET, (en prensa)

TAZIEFF, H., 1974.
Los volcanes y la deriva de los continentes. - Barcelona. ES ed. Labor S.A.

TEJADA, R., MORCHE, W. y MORY, B., 1994.
Prospeccion geológica-minera de depósitos epitermales en volcanicos Plio-pleistocénicos utilizando imágenes satélite - Proyecto Mazo Cruz, Puno. - VIII Congreso Peruano de Geología, Lima, 34-37.

TILLING, R., (Ed.), 1989.
Volcanic Hazards. - American Geophysical Union Short Course in Geology, vol. 1, 125 pp.

THOURET, J.-C., DAVILA, J., RIVERA, M., JUVIGNÉ, E., EISSEN, J.-P., COTTEN, J., GOURGAUD, A., WOODMAN, R., 1996.
Huaynaputina Volcano, South Peru: Site of the major explosive eruption in historic times in the Central Andes. - Segundo Seminario Latino-Americano "Volcanes, Sismos y Prevención", Lima y Arequipa, 4-9 de Noviembre de 1996, Perú, 61-64.

THOURET, J.-C., LEGROS, F., NAVARRO, P., SUNI, J., GOURGAUD, A., EISSEN, J.-P., COTTEN, J., MACEDO, L., 1996.
El Misti Stratovolcano, South Peru: eruptive history and implications for hazard assessment. - Segundo Seminario Latino-Americano "Volcanes, Sismos y Prevención", Lima y Arequipa, 4-9 de Noviembre de 1996, Peru, 45-48.

THOURET, J. C., RIVERA, M., DAVILA, J., MACEDO, L., GOURGAUD, A., 1996.
Ubinas, el volcán más activo del Perú desde 1552: reconocimiento geológico y evaluación de la amenaza volcánica actual. - Segundo Seminario Latino-Americano "Volcanes, Sismos y Prevención", Lima y Arequipa, 4-9 de Noviembre de 1996, Perú, 67-70.

TORIBIO POLO, J., 1988.
Sinopsis de temblores y volcanes del Perú. - Sociedad Geográfica de Lima. Boletín N° 8.

VARGAS, L., 1970.
Geología del cuadrángulo de Arequipa. Serv. Geol. Min., Bol. 24.

VELASQUEZ, A. y MEYER, H., 1990.
Un ensayo de evaluación de las amenazas de los riesgos y de los desastres en Colombia. - I. Seminario Andino de Geología Ambiental, I. Conferencia Colombia-

na de Geología Ambiental y III. Conferencia de Riesgos Geológicos del Valle de Aburra (Colombia). AGID Report N° 13. Abril-Mayo de 1990.

VILLIGER, F., 1976.
El Valle de Andahua. -Bol. Soc. Geogr. Lima, 95, 73-78.

VOIGHT, B., 1990.
The 1985 Nevado del Ruiz volcano catastrophe: anatomy and retrospection. - J. Volcanol. Geotherm. Res., 44, 349-386.

WEIBEL, M., FEJER, ZSOLT, 1977.
El Nevado Coropuna, Departamento de Arequipa. - Bol. Soc. Geol. Perú, 57-58, 87-98.

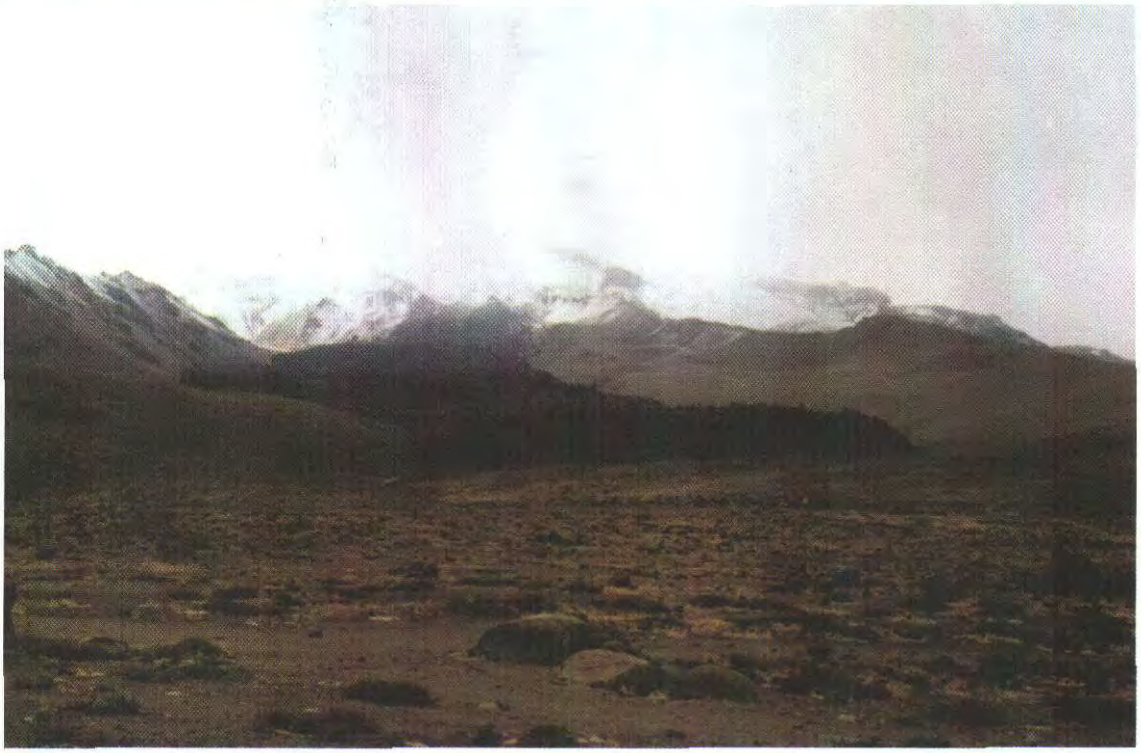
WEIBEL, M., FRANGIPANE-GYSEL , M., HUNZIKER, J., 1978.
Ein Beitrag zur Vulkanolgie Sued-Perus.- Geol. Rundsch., 67, 243-252.

YOKOYAMA, Y., TILLING, R., SCARPA, R., 1984.
International mobile early-warning system(s) for volcanic eruptions and related seismic activities. - Rep. FP/2106-82-01, Paris UNESCO, 102 pp.

Página en blanco

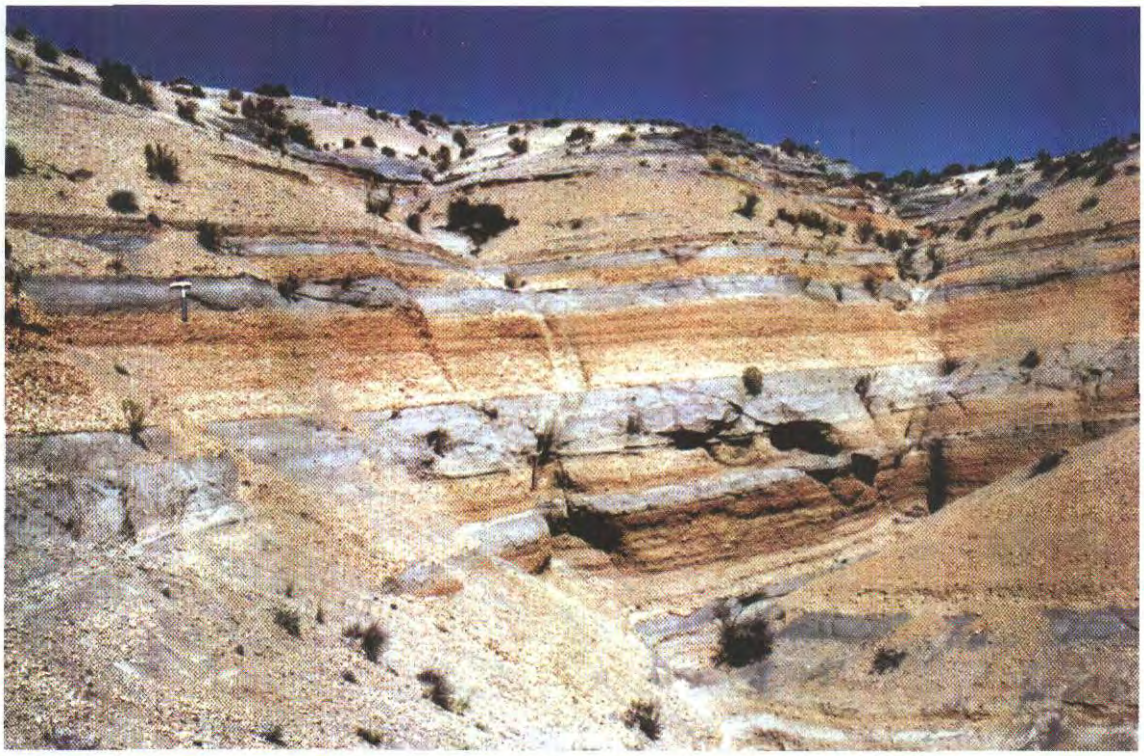
PRODUCTOS VOLCANICOS

Página en blanco



Flujo de Lava: Lavas tipo AA muy recientes, que brotan desde el flanco Norte del Volcán Coropuna (CHU01).

Domos: Volcánicos dómicos tipo Purupuruni, Cº Chilipiña (MAU40), cerca a la laguna Casiri.

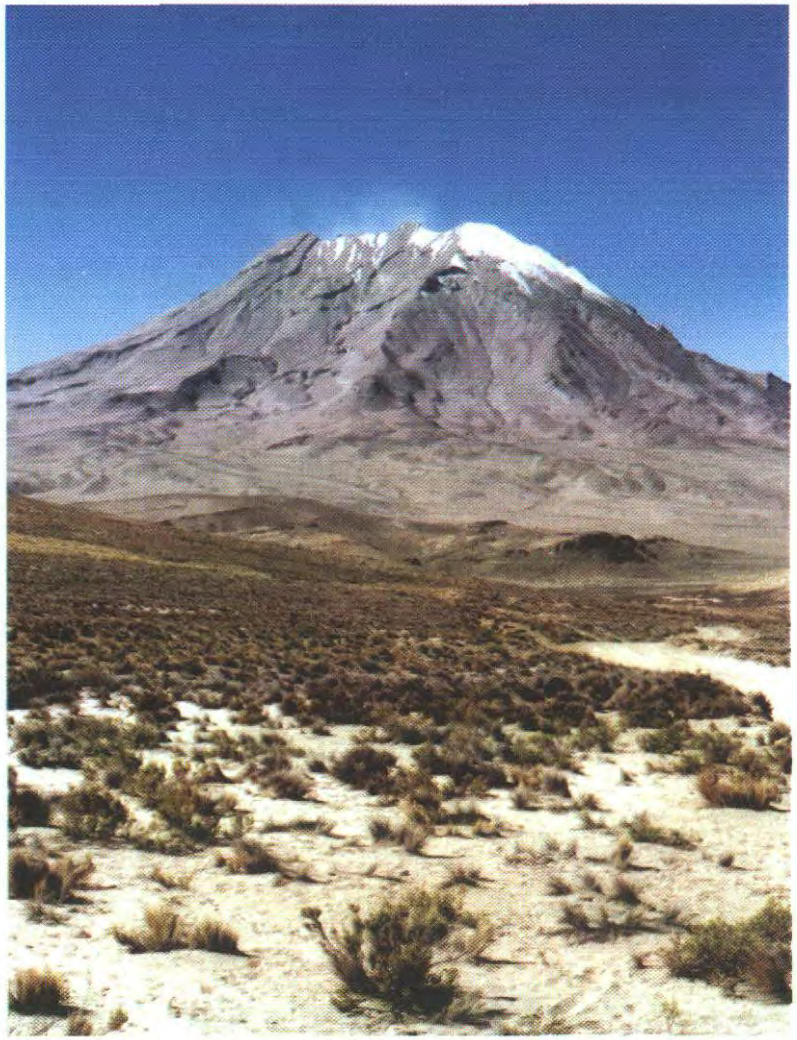


Piroclastos: Intercalaciones de cenizas volcánicas y capas de lapilli de pómez. Sector Qda. Huaycho (Cuad. de Palca).

Piroclastos: Cenizas volcánicas de la erupción del Volcán Huaynaputina (OMA01) en 1600, cubren los cerros en Omate. En primer plano el cerro Yale y al fondo el cerro Grande.

Bombas Volcánicas: En el flanco Norte del volcán Coropuna (CHU01).

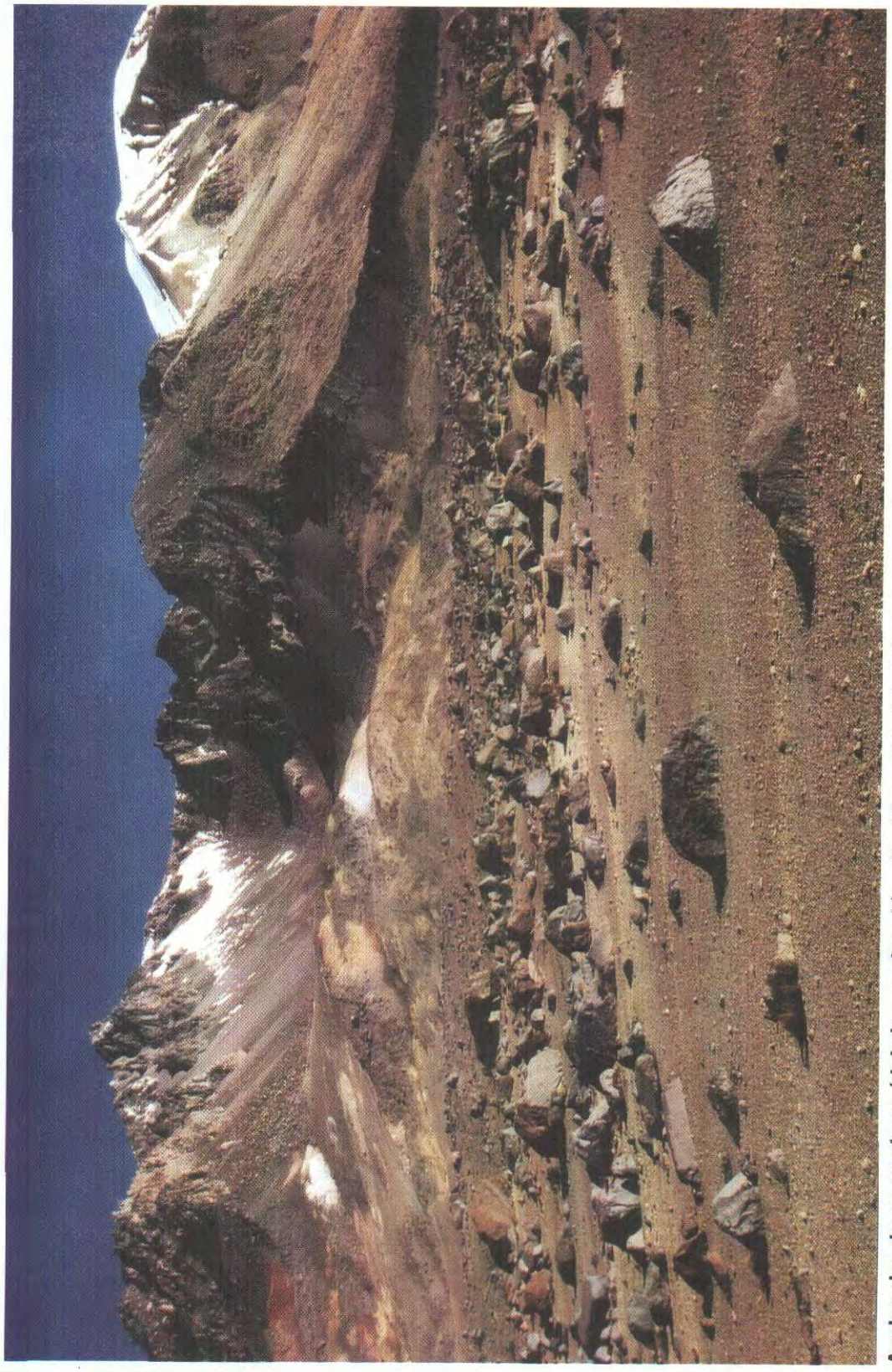
Aludes Incandescentes (Nubes Ardientes): En la Qda. Ushpamarca (Pausa). Materiales provenientes del Volcán Sara Sara (PAU01).



Gases Volcánicos: Volcán Ubinas (OMA01), en actividad fumarólica actual (28/06/96).

Torrentes de cenizas (ignimbritas): Canteras de sillar en Arequipa, al fondo el volcán Chachani (ARE01).

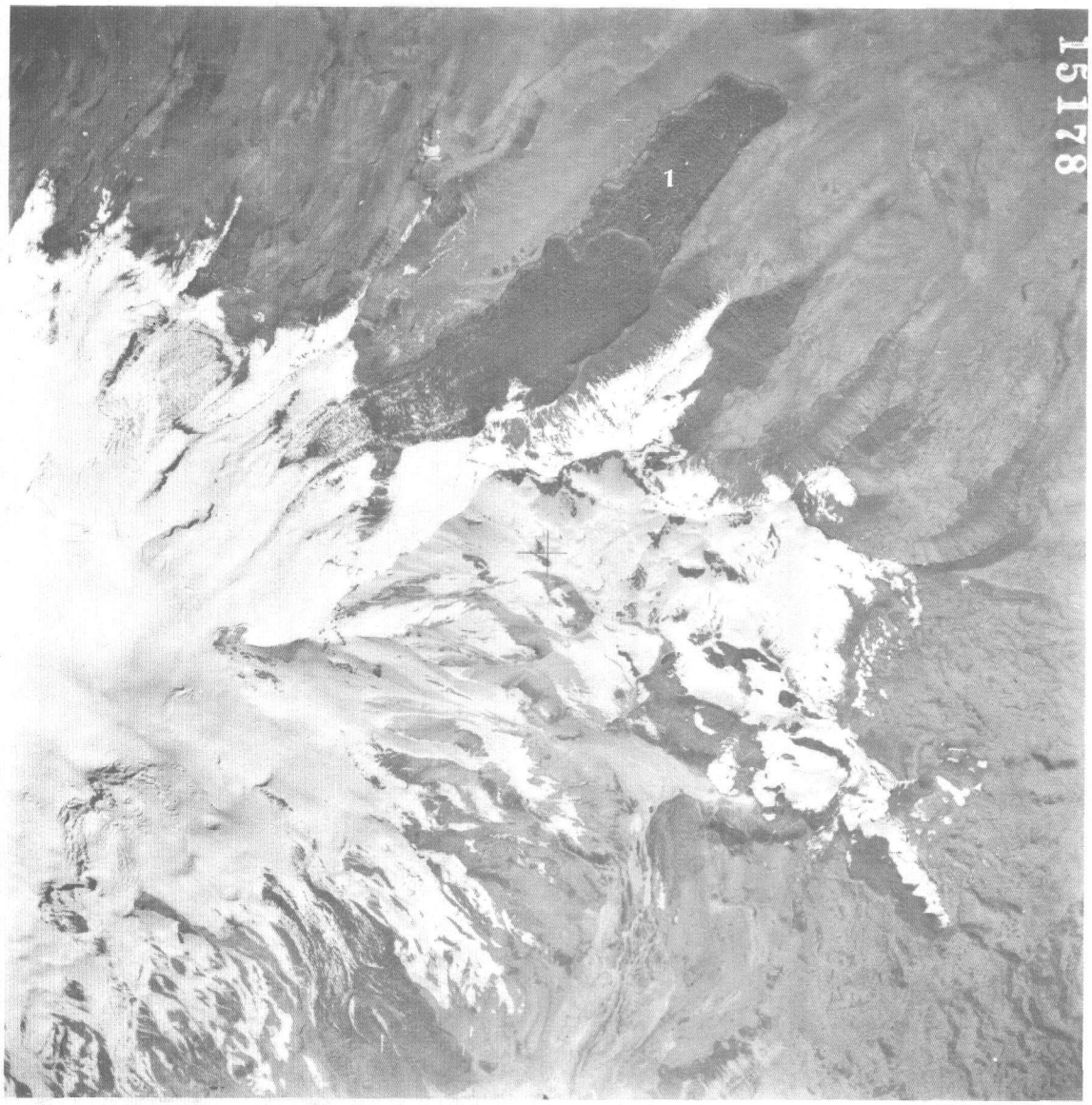
Lahars: Pequeño lahar producido en 1991, como consecuencia de la erupción del volcán Sabancaya. Qda. Huayuray, al fondo el centro volcánico Hualca Hualca (CHI05).



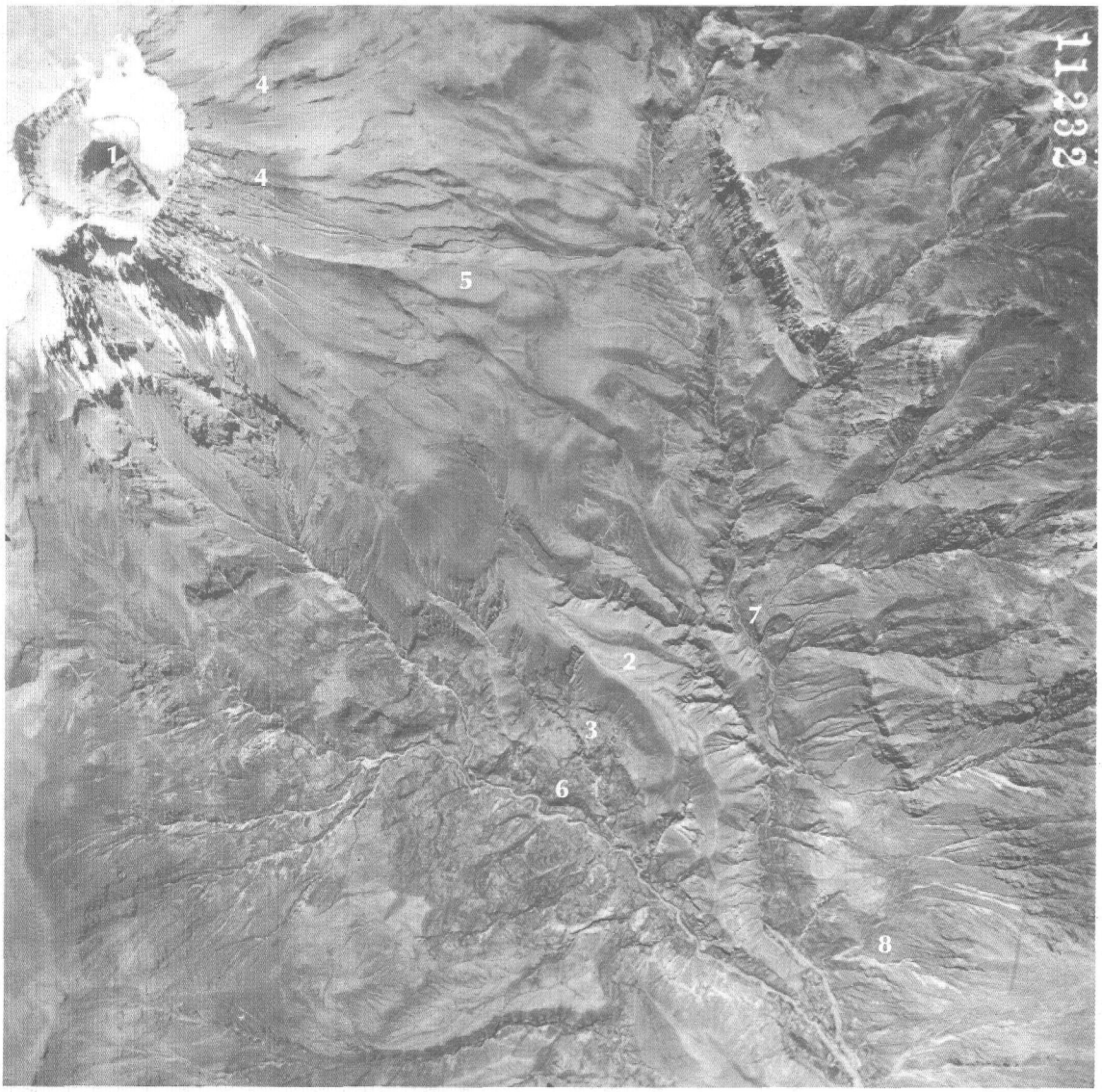
Avalancha de escombros (debrice avalanch): En el flanco Este del volcán Tutupaca, obsérvese la destrucción del aparato volcánico y los "pedazos" del volcán en la planicie.

VOLCANES DEL SUR DEL PERU EN IMAGENES

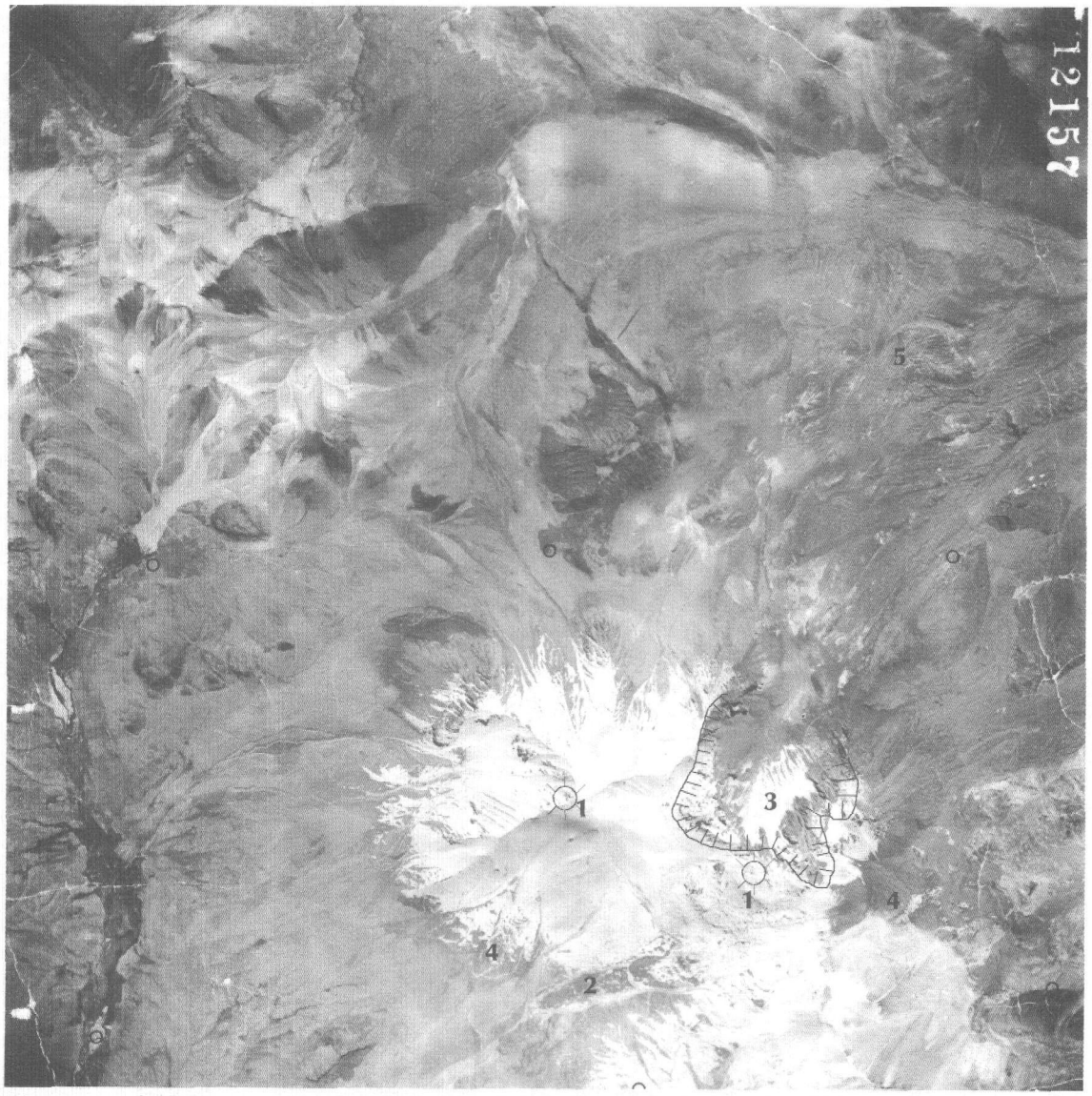
Página en blanco



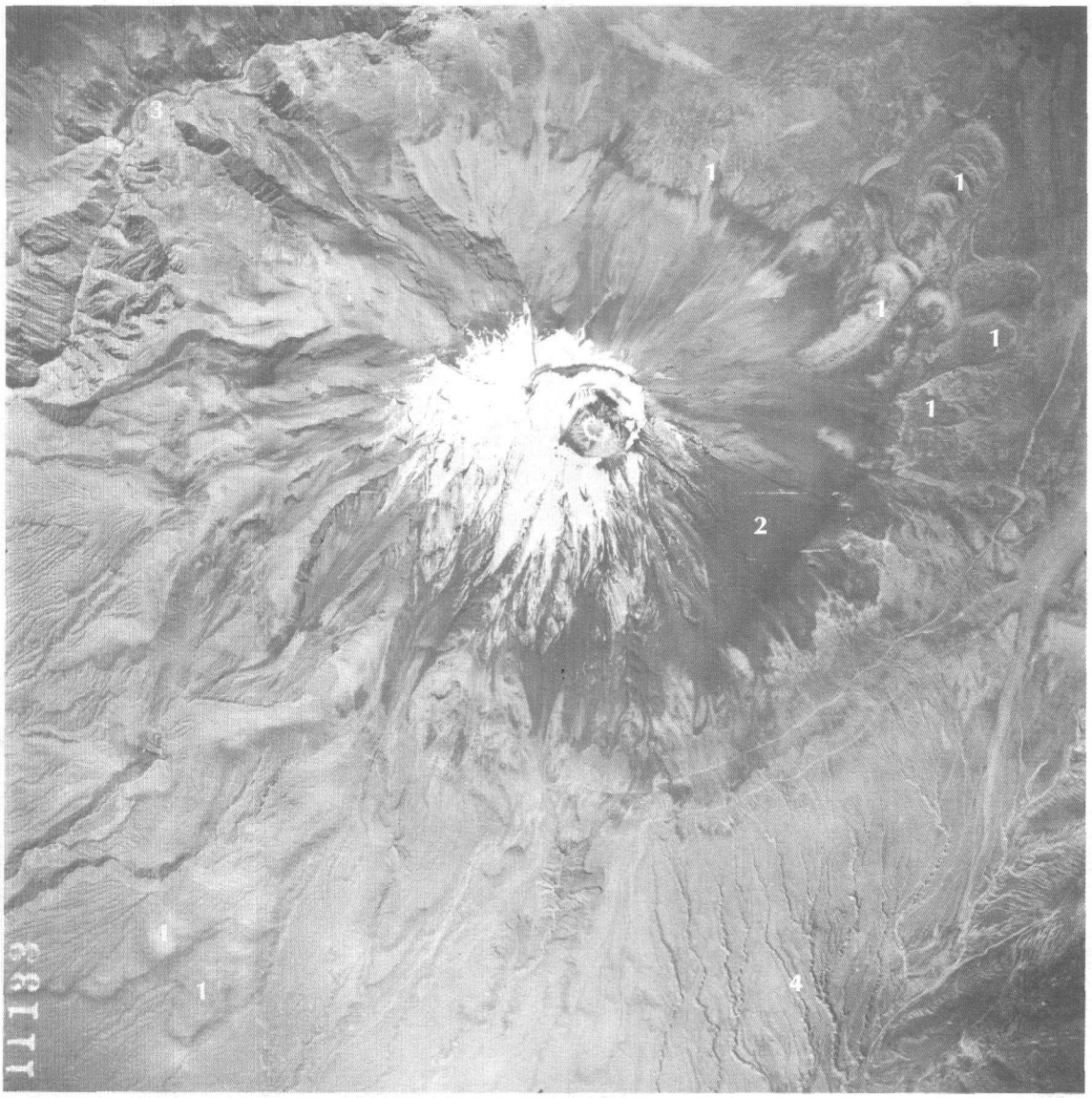
(1) Flujos de lava recientes, tipo AA, en el flanco Norte del volcán Coropuna (COT01).



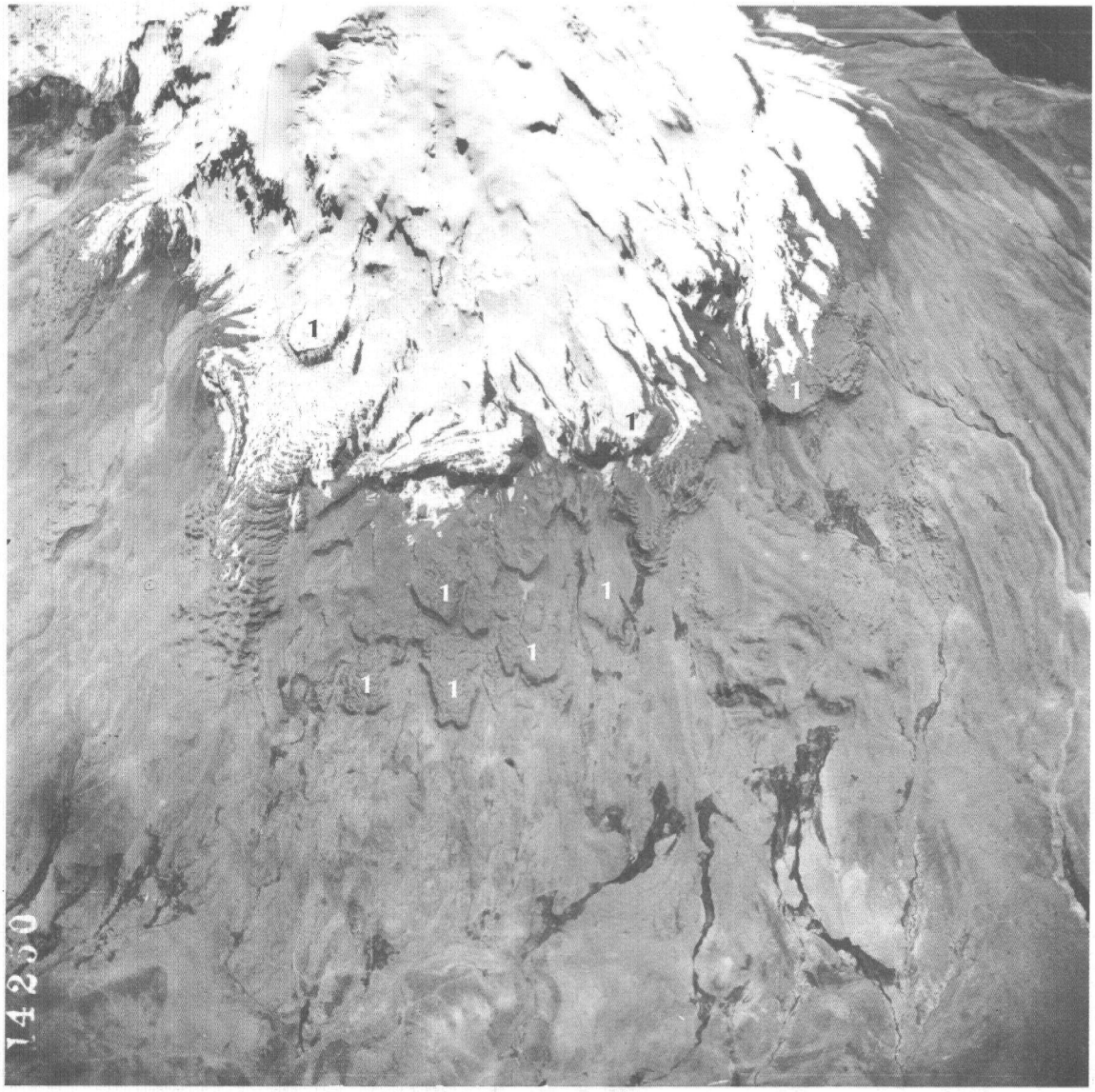
(1) Volcán Ubinas (ICH01), se observan los depósitos de antiguos lahars (2) sobre el cual se ubica el poblado de Ubinas (3), flujos piroclásticos (4), flujos de lavas (5), flujos de lodo posibles en el río Ubinas (6), río Para(7) y río Tambo(8).



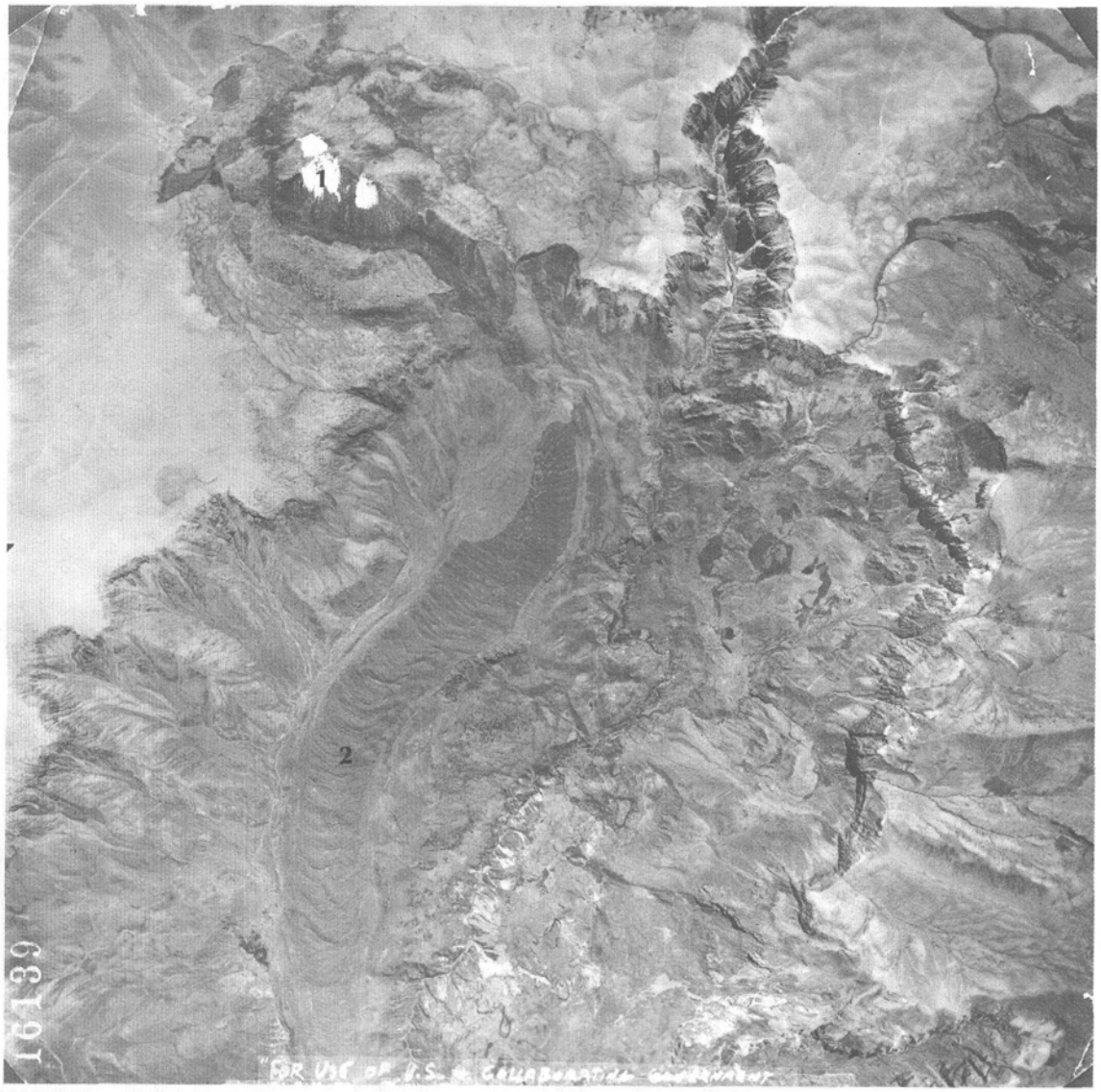
Volcán Tutupaca (TAR01) y sus dos cráteres (1), flujos de lava (2), cicatriz de un antiguo "debrice avalanch" (3), flujos de lodo (4) y manifestaciones volcánicas recientes (5).



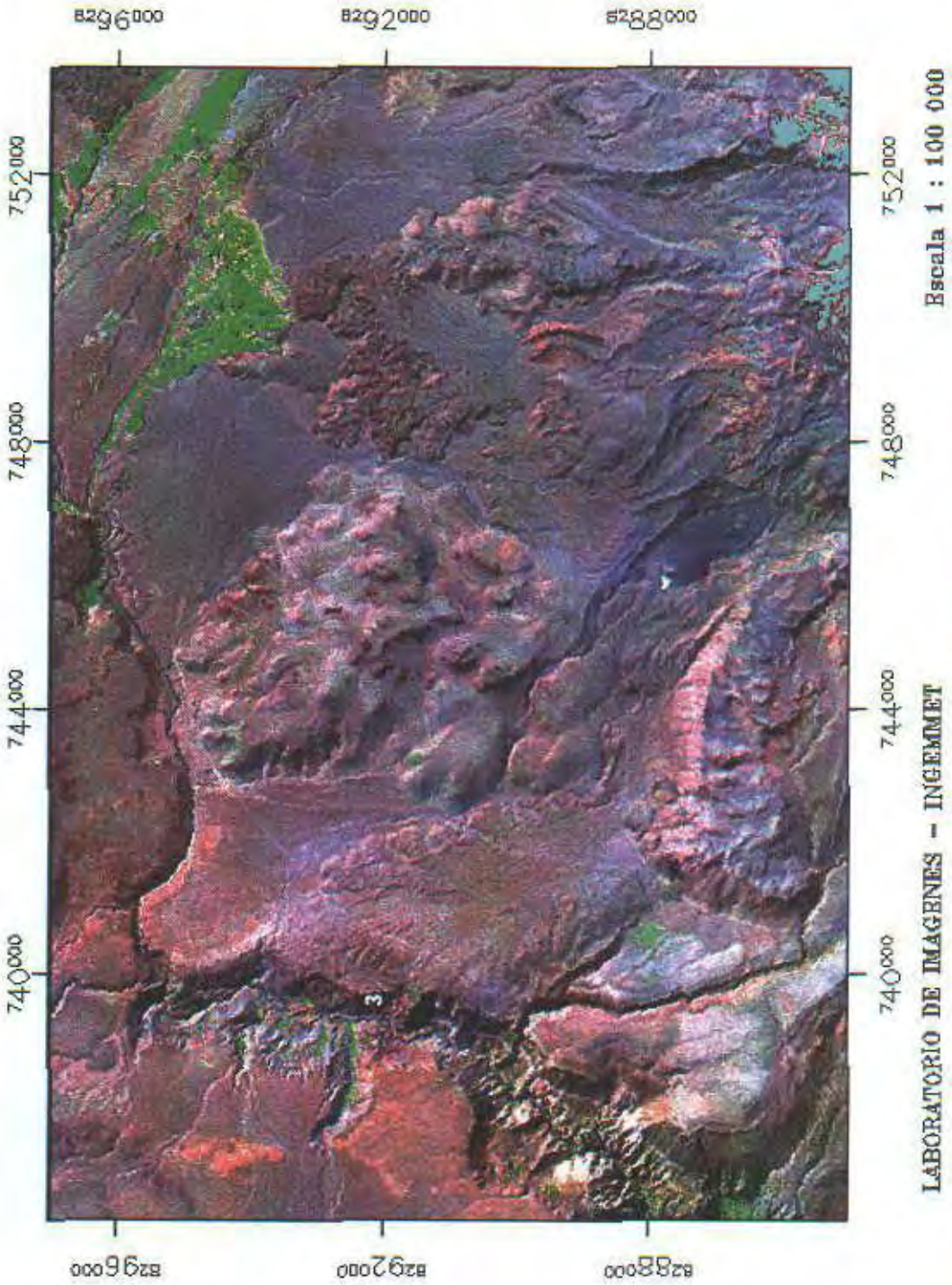
Volcán Misti (CHA01), al Norte de la Ciudad de Arequipa; obsérvese las lavas (1) y los depósitos piroclásticos recientes (2); al NE el río Chili, donde se encuentran las instalaciones de las Centrales Hidroeléctricas de Charcani (3), así como las huellas de los flujos de lodo ocurridos (4).



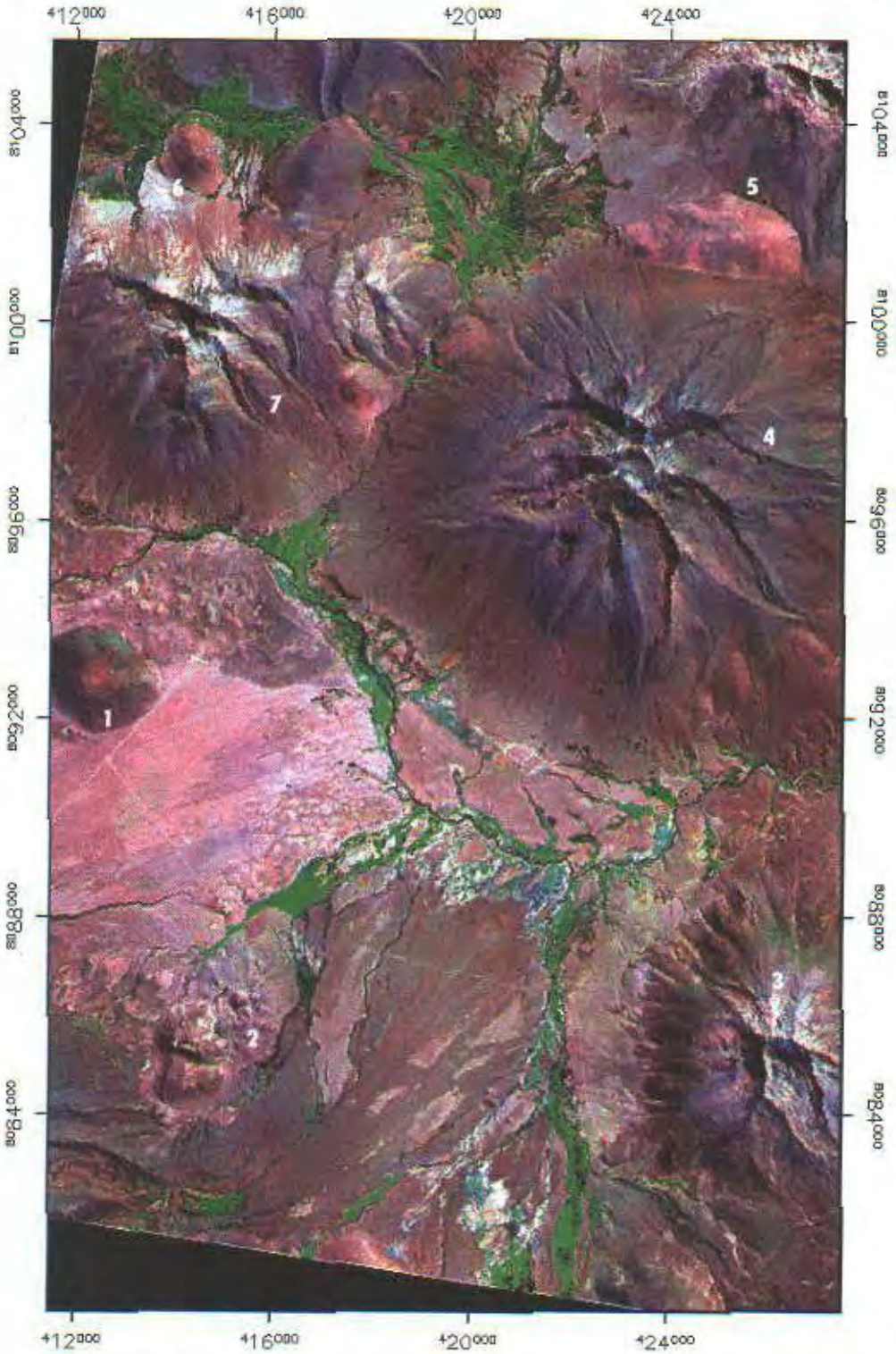
Volcán Ampato (CHI02), su cobertura de nieve y sus lavas recientes (1).



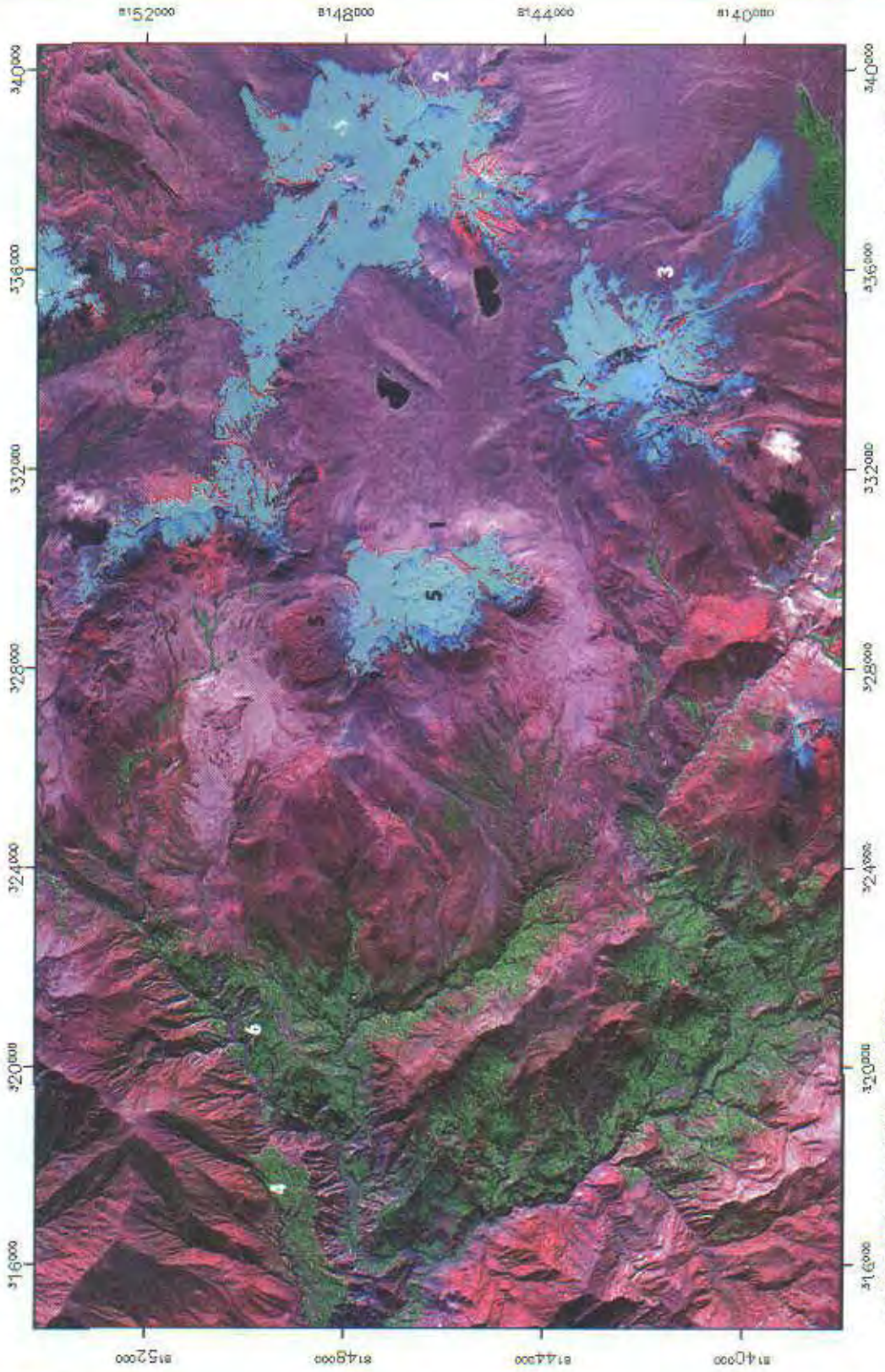
(1) Volcán Auquihuato (PAU02) y sus lavas recientes (2), al NE del cuadrángulo de Pausa, al Norte de Oyolo.



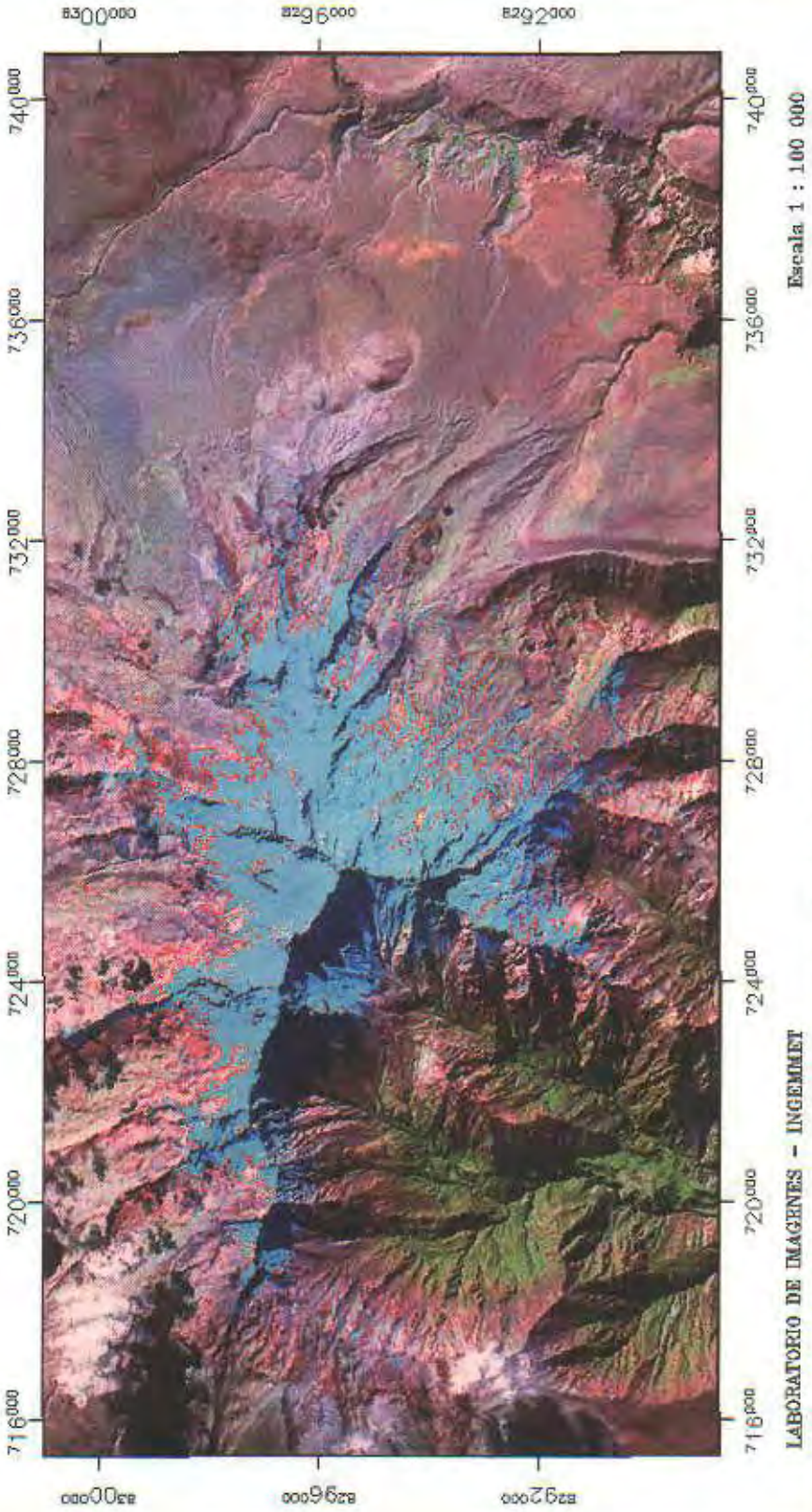
(1) Domo de Yaña Ccocha (COT11), al Norte del volcán Coropuna (CHQ01), se notan también las lavas jóvenes del Coropuna (2). Izquierda: cañón del río Arma (3).



1: Titire (MAU11); 2: Kere (MAU10); 3: Jucure (MAU05); 4: Chila (MAU03); 5: Huancure (MAU02); 6: Taruja (MAU36); 7: Chocata (MAU19).



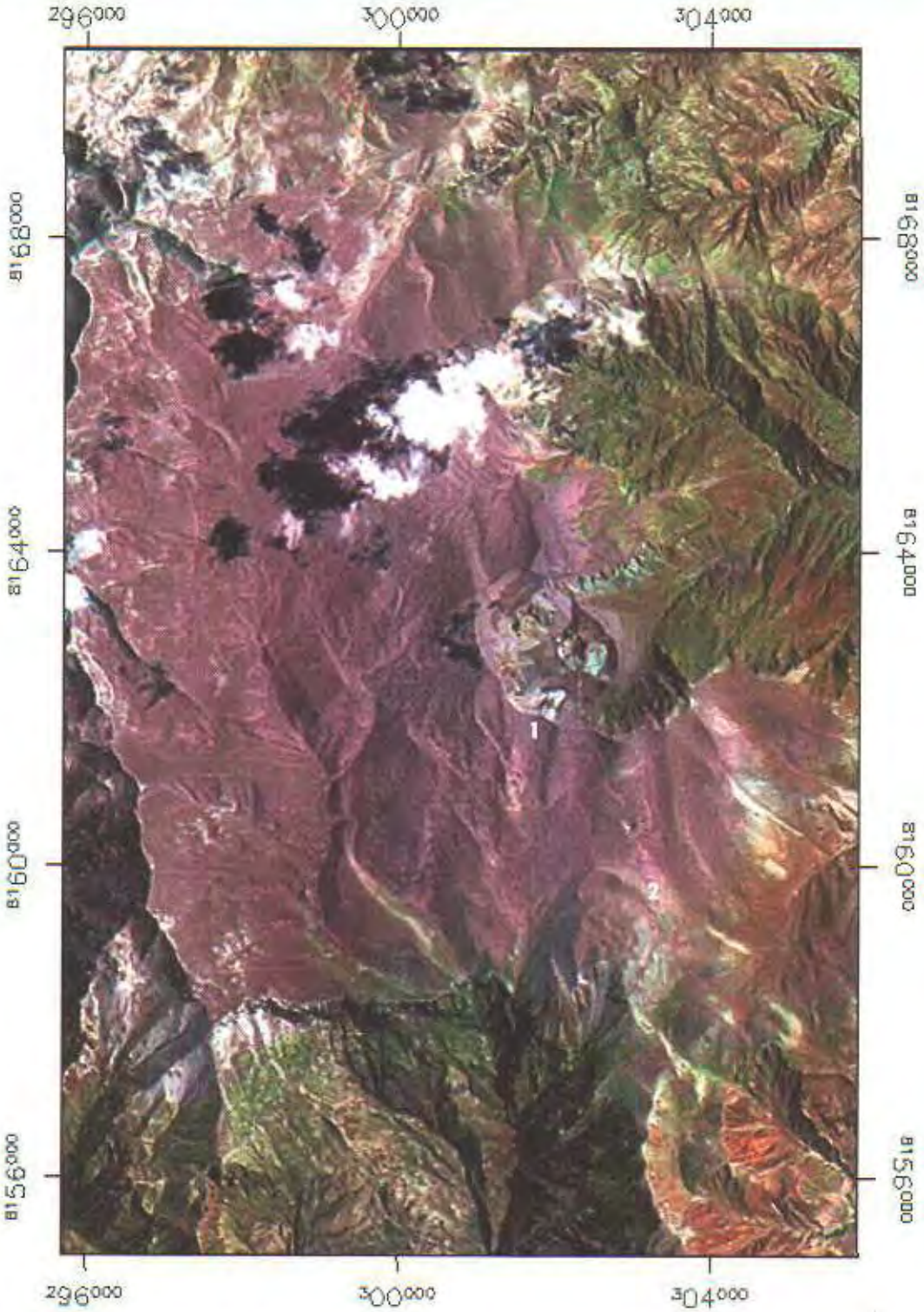
1: Volcán Ticsani (OMA02); 2: Volcán Iska Janchota (OMA09); 3: Volcán Chimilaca (OMA03); 4: Antigua avalancha de escombros del Ticsani; 5: Domos en el volcán Ticsani; 6: Poblado de Calacoa.



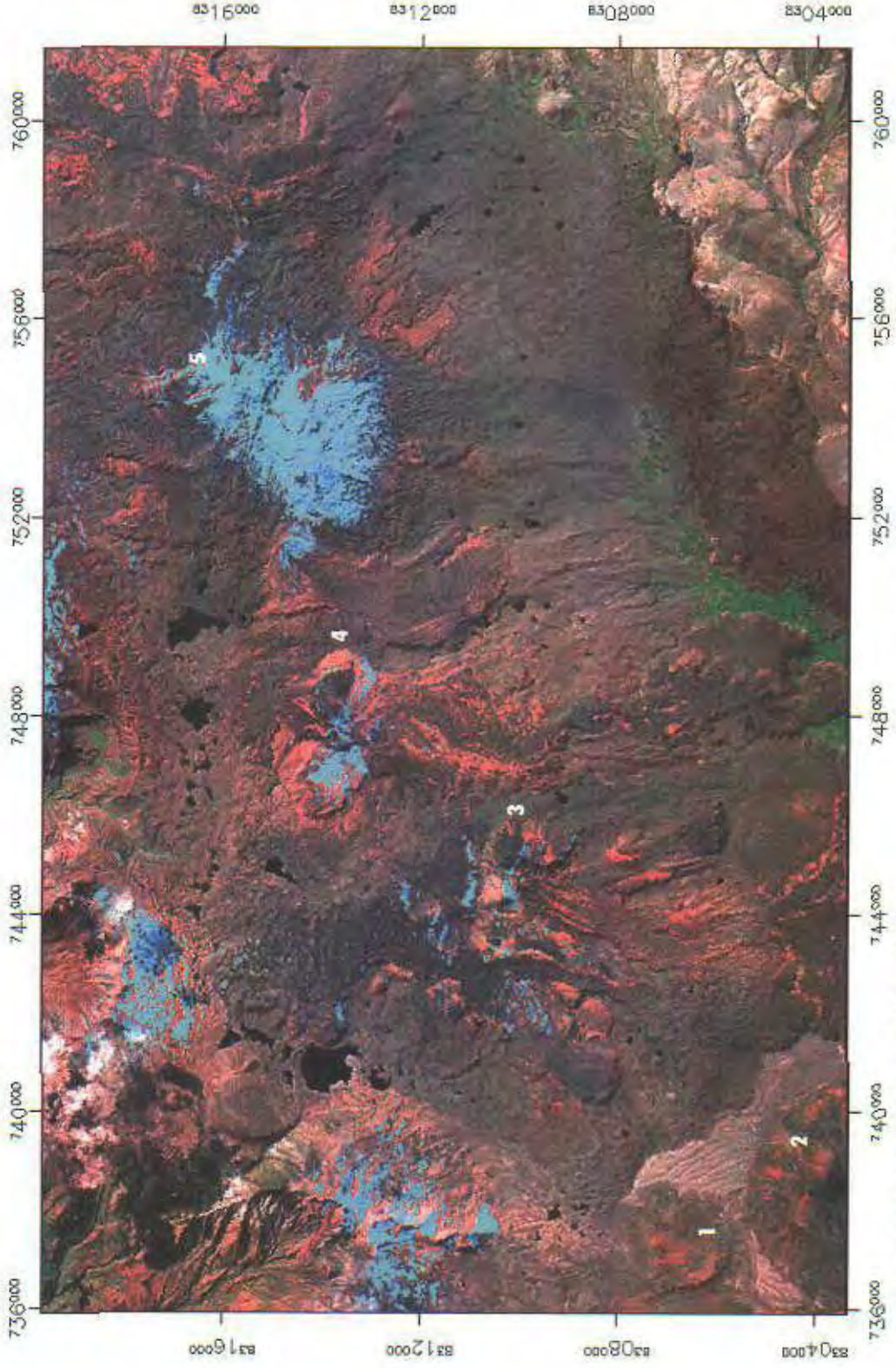
Volcán Solimana (COT01), obsérvese el grado de destrucción del volcán en el sector SO.

1: Volcán Pumaranra (COT12), esquina inferior derecha del cuadrángulo de Cotahuasi; 2: a su derecha, el domo Pucyu Huma (COT13) con lavas recientes.

Manifestaciones volcánicas recientes al NE del Volcán Solimana. 1: Volcán Solimana (COT01); 2: Antapuna Chico (COT02); 3: Antapuna (COT03); 4: Coyllor Hurmascca (COT07); 5: Sorapata (COT17); 6: Jashaya (COT06).



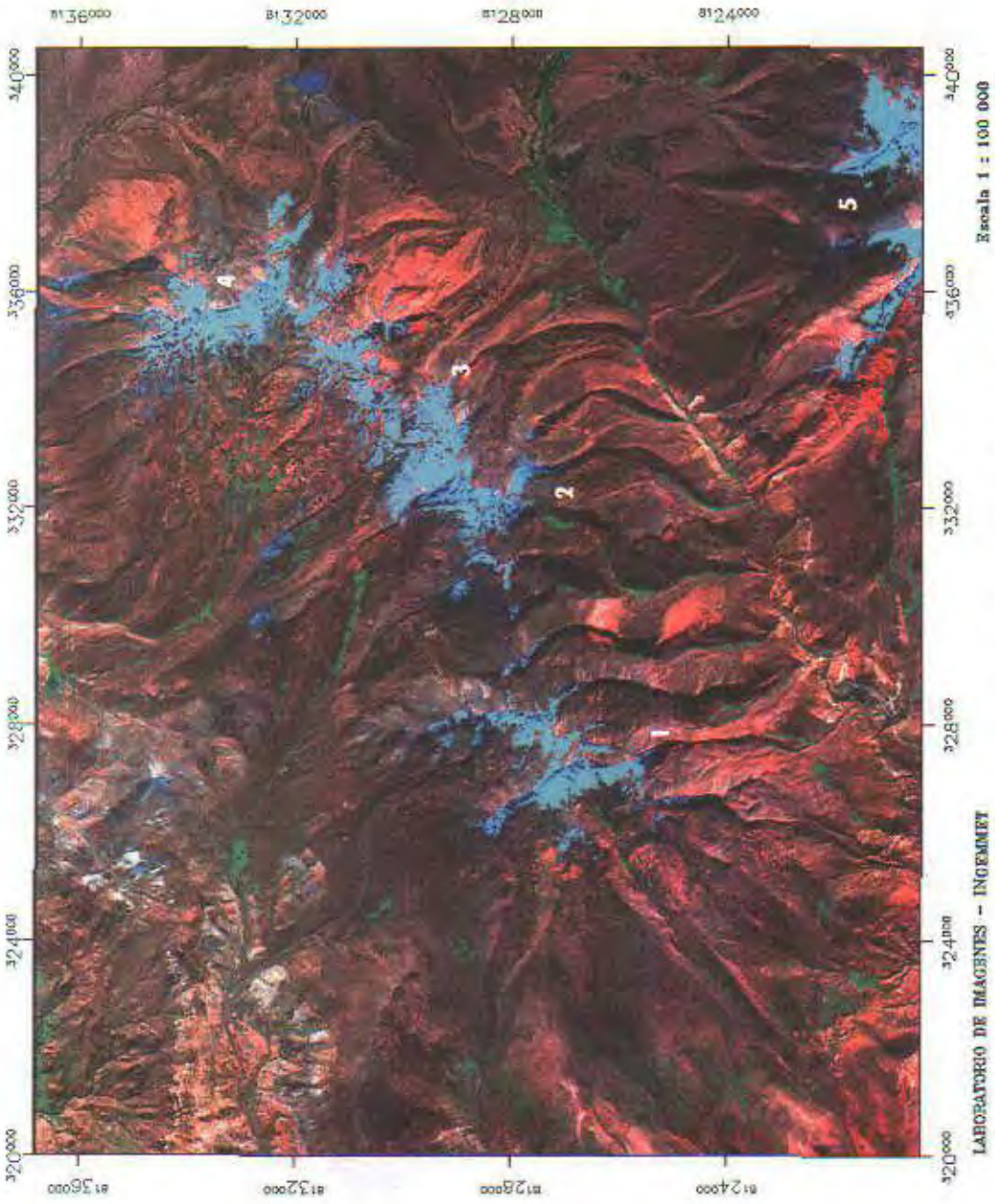
1: Volcán Huaynaputina (OMA01), erupcionó en Febrero del año 1600, siendo la erupción más violenta de los Andes Centrales en los tiempos históricos. Al Sur, 2: El Volcán (OMA04).



Escala 1 : 100 000

LABORATORIO DE IMAGENES – INGEMMET

Manifestaciones volcánicas recientes, en los alrededores del volcán 5: Firura (COT06), al Este de Cotahuasi; 1: Sorapata (COT17); 2: Antapuna (COT03); 3: Jahsaya (COT06); 4: Soncco Orco (COT05).



Aparato volcánico compuesto/complejo (xcomp), constituido por los conos: (1) Huailau (OMA07), (2) Surihueco (OMA11), (3) Camillata (OMA06) y (4) Humajalso (OMA10). En la esquina inferior derecha, parte del volcán (5) Larancalane (OMA12).

Valle de los Volcanes de Andahua Sur. 1: Volcán Chilcayoc Grande (HUA01); 2: Volcán Jechapita (HUA04); 3: Volcán Chilcayoc (HUA03); 4: Volcán Jenchaña (HUA02); 5: Volcán Antaymarca (HUA05); 6: Volcán Soporo (HUA17); 7: Ayo; 8: Río Colca.

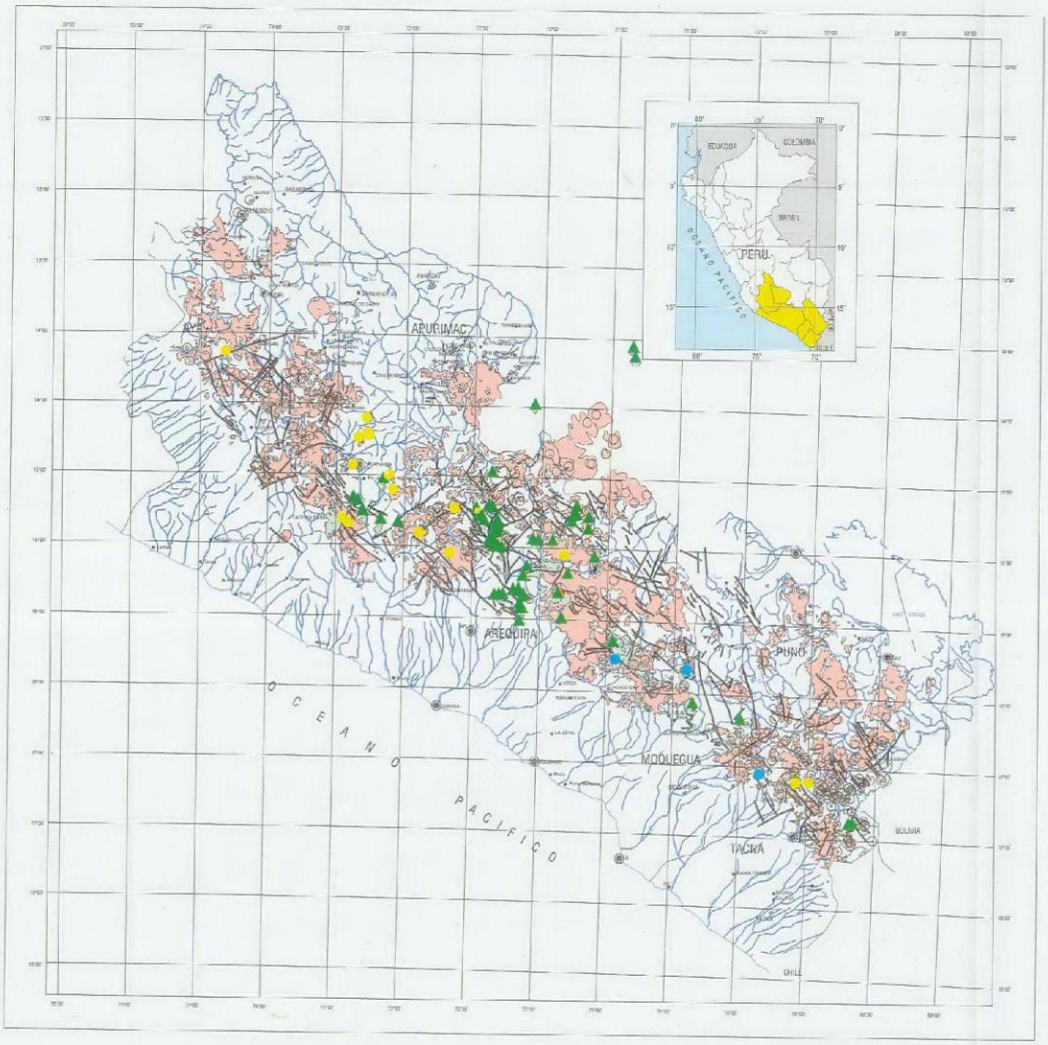
REPUBLICA DEL PERU
SECTOR ENERGIA Y MINAS
INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO
INGEMMET
DIRECCION DE GEOTECNIA

MAPA GEOLOGICO DEL VULCANISMO POST-MIOCENICO EN EL SUR DEL PERU

DPTOS. DE AREQUIPA, MOQUEGUA, TACNA, AYACUCHO, PUNO Y APURIMAC

VERSION DIGITAL
1997

MAPA Nº 1



ERA	SIST.	SERIE	ROCAS ESTRATIFICADAS
CENOZOICO	CUATERNARIO	RECIENTE	Qr1 Gpos. Andahua, Ampato, Sara Sara, Volcánico Ubinas, Volcánico Huayna-putina, Volcánico Raucarani
		PLEISTOCENO	Qr2 Grupo Barroso

LEYENDA

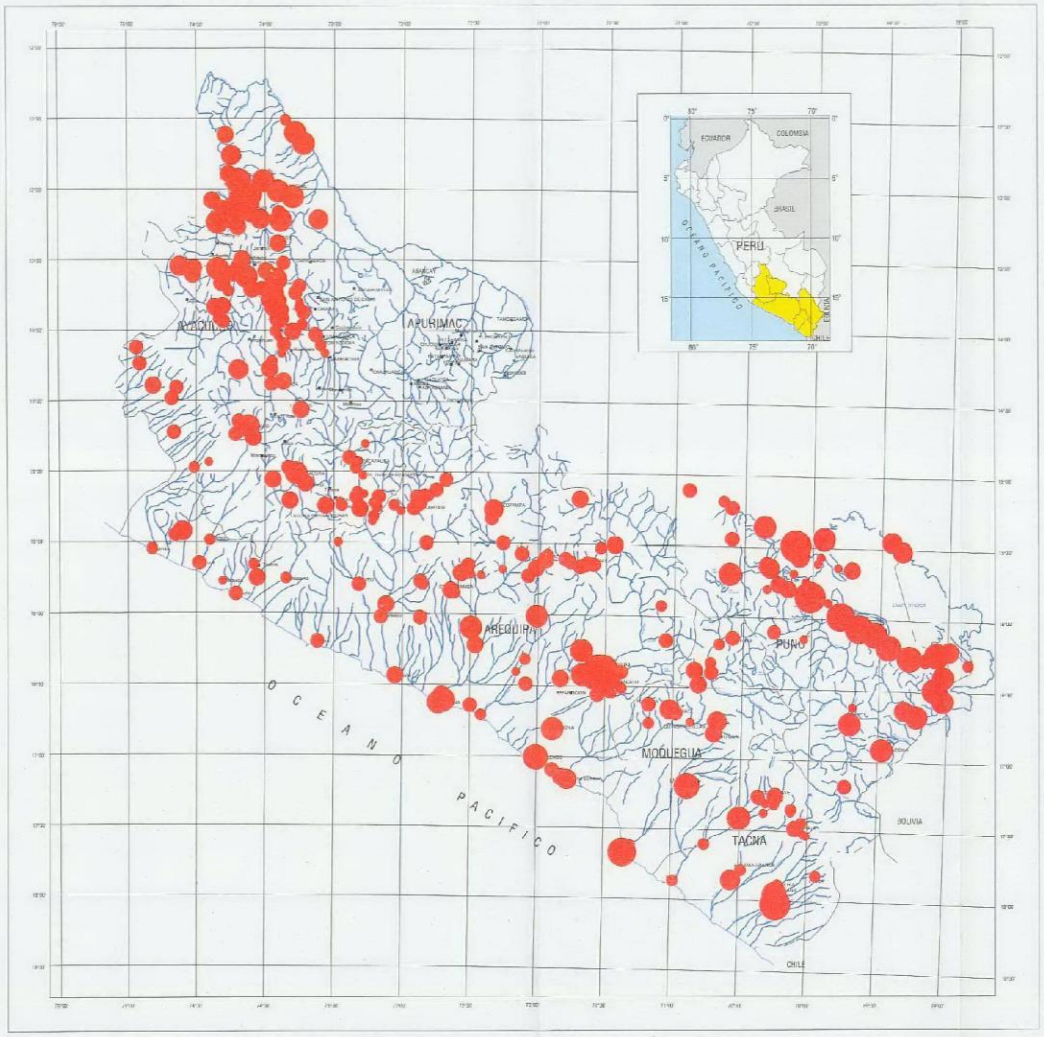
- Fallas
- Volcán Activo
- Volcán Fumarólico
- Volcán Latente
- Volcán Dormido
- Volcán Extinto

REPUBLICA DEL PERU
SECTOR ENERGIA Y MINAS
INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO
INGEMMET
DIRECCION DE GEOTECNIA

NUMERO Y DISTRIBUCION DE VIVIENDAS
EN EL SUR DEL PERU
DPTOS. DE AREQUIPA, MOQUEGUA, TACNA, AYACUCHO, PUNO Y APURIMAC.

VERSION DIGITAL
1997

MAPA N° 3A



LEYENDA

Número de Viviendas

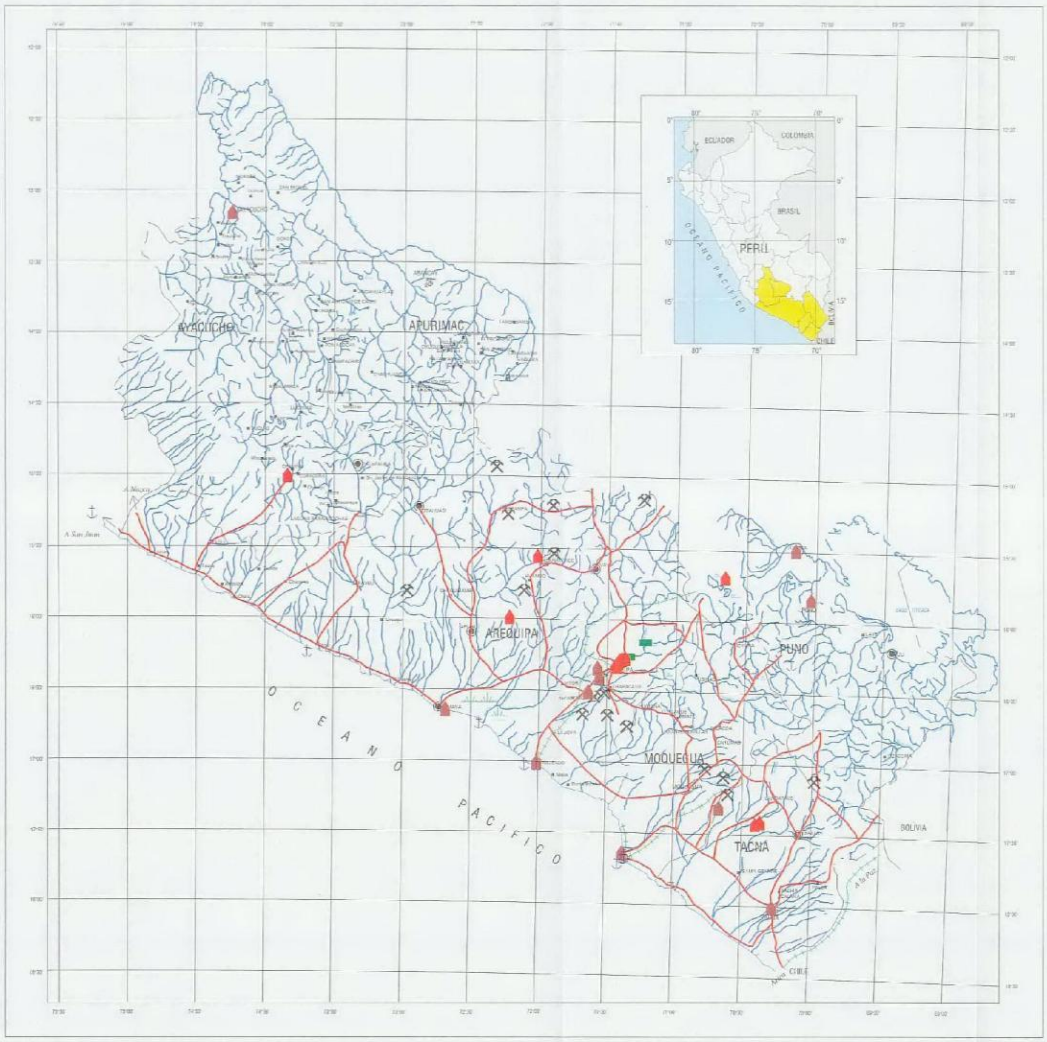
- > 20,000
- < 20,000 > 10,000
- < 10,000 > 5,000
- < 5,000 > 2,000
- < 2,000 > 1,500
- < 1,500 > 1,000
- < 1,000 > 500
- < 500 > 300
- < 300

REPUBLICA DEL PERU
SECTOR ENERGIA Y MINAS
INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO
I N G E M M E T
DIRECCION DE GEOTECNIA

OBRAS DE INFRAESTRUCTURA
EN EL SUR DEL PERU
DPTOS. DE AREQUIPA, MOQUEGUA, TACNA, AYACUCHO, PUNO Y APURIMAC.

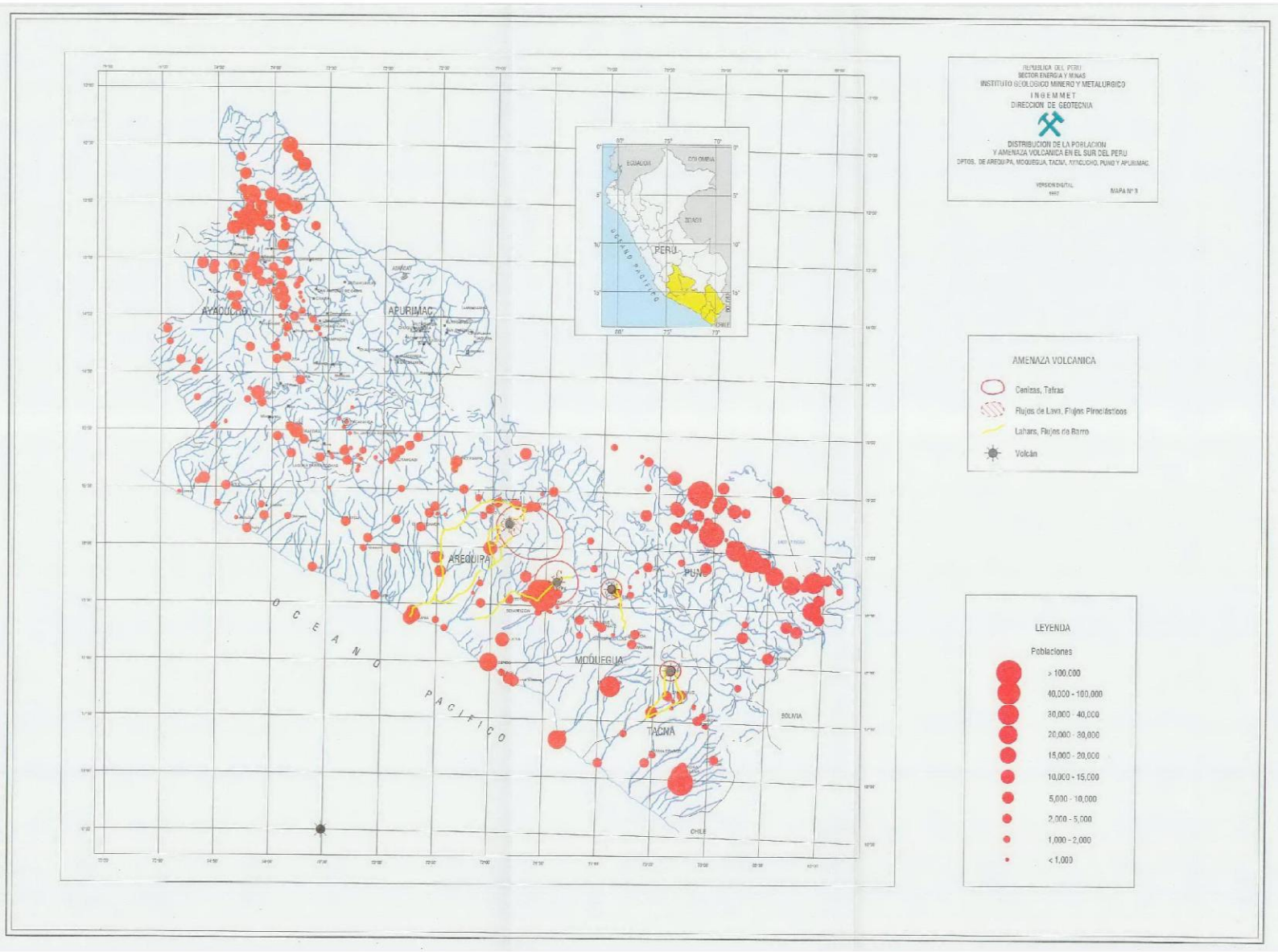
VERSION DIGITAL
1997

MAPA N° 29



LEYENDA

- Puertos
- Centrales Hidroelectricas
- Centrales Termicas
- Proyectos de Irrigación
- Represas
- Minas
- Carreteras
- Linea Férrea


REPUBLICA DEL PERU
SECTOR ENERGIA Y MINAS
INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO
INGEMMET
DIRECCION DE GEOTECNIA
DISTRIBUCION DE LA PORLACION
Y AMENAZA VOLCANICA EN EL SUR DEL PERU
DPTOS. DE AREQUIPA, MOQUEGUA, TACNA, AYACUCHO, PUNO Y APURIMAC
VERSION DIGITAL
MAPA N° 3
AMENAZA VOLCANICA
Cenizas, Tefras
Flujos de Lava, Flujos Piroclásticos
Lahars, Flujos de Barro
Volcán
LEYENDA
Poblaciones
> 100,000
40,000 - 100,000
30,000 - 40,000
20,000 - 30,000
15,000 - 20,000
10,000 - 15,000
5,000 - 10,000
2,000 - 5,000
1,000 - 2,000
< 1,000
AYACUCHO
APURIMAC
AREQUIPA
PUNO
MOQUEGUA
TACNA
OCEANO PACIFICO
BOLIVIA
CHILE
PERU
COLOMBIA
BRASIL
ECUADOR

INGEMMET

Av. CANADA 1470 – SAN BORJA • TELFS.: 224-2963 • 224-2964 • 224-2965 – FAX: 225-4540 – LIMA-PERU