

REPÚBLICA DEL PERÚ
SECTOR ENERGÍA Y MINAS

INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO

**INFORME TÉCNICO
GEOLOGÍA AMBIENTAL**

**GEOLOGÍA Y EVALUACIÓN DE PELIGROS
DEL VOLCÁN UBINAS**

POR:

Marco Rivera Porras

Jersy Mariño Salazar

Jean-Claude Thouret

Lourdes Cacya Dueñas



DICIEMBRE - 2008
LIMA - PERU

CONTENIDO

RESUMEN

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN	7
1.1 Ubicación	7
1.2 Vías de acceso	8
1.3 Objetivos	10
1.4 Aspectos socio-económicos	10
1.5 Documentación Base.....	11
1.6 Metodología de trabajo	12
1.7 Estudios anteriores.....	14
1.8 Clima e Hidrología	14

CAPITULO II

GEOMORFOLOGÍA.....	17
2.1 Geformas de Origen Glaciar	18
2.1.1 Valles glaciados.....	18
2.1.2 Cumbre del volcán	18
2.2 Geformas de Origen Volcánico	19
2.2.1 Estrato-cono volcánico	19
2.2.2 Domos de lava.....	19
2.3 Otras Geformas.....	20
2.3.1 Zona de altiplanicie	20
2.3.2 Altas cumbres	20
2.3.3 Lomadas	20

CAPITULO III

GEOLOGÍA	21
3.1 Contexto geodinámico y tectónico	21
3.2 Marco tectónico regional y local	22
3.3 Estratigrafía general e historia geológica	23
3.3.1 Volcánico Matalaque	23
3.3.2 Grupo Tacaza	24
3.3.3 Rocas Intrusivas	24
3.3.4 Formación Maure	25
3.3.5 Grupo Barroso	26
3.3.3 Estrato-volcán Ubinas	27
3.4 Estratigrafía y evolución del volcán Ubinas	28

3.4.1 Ubinas I	29
3.4.2 Ubinas II	30
3.4.3 Depósitos volcanoclásticos recientes	31
3.4.3 Otros depósitos	33
CAPITULO IV	
PETROGRAFÍA Y GEOQUÍMICA	37
4.1 Petrografía	38
4.1.1 Ubinas I	39
4.1.2 Ubinas II	40
4.1.2.1 Lavas del cono superior	41
4.1.2.2 Domos de lava	41
4.1.2.3 Depósitos de la Caldera de la Cumbre	42
4.1.2.3 Depósitos piroclásticos de edad histórica	42
4.2 Geoquímica	43
4.2.1 Muestreo y método analítico	44
4.2.2 Clasificación de la serie	45
4.2.3 Comportamiento de los elementos mayores	46
4.2.3 Comportamiento de los elementos trazas	47
CAPITULO V	
ACTIVIDAD VOLCÁNICA HISTÓRICA DEL UBINAS	49
CAPITULO VI	
EVALUACIÓN DE PELIGROS VOLCÁNICOS POTENCIALES	63
6.1 Peligros por caída de tefras	63
6.2 Peligros por flujos de barro o lahares	64
6.3 Peligros por flujos piroclásticos	65
6.4 Peligros por avalanchas de escombros	66
6.5 Otros peligros	67
CAPITULO VII	
ESCENARIOS ERUPTIVOS GENERADORES DE PELIGROS	68
7.1 Erupciones freáticas, estrombolianas y/o emisiones de cenizas: dinamismo explosivo leve	69
7.1.1 Caída de tefras	69
7.1.3 Flujos de barro o lahares	69

7.2 Erupciones vulcanianas, freatomagmáticas y/o Saint Vincent: dinamismo explosivo moderado	69
7.2.1 Caída de tefras	69
7.2.2 Flujos piroclásticos	69
7.2.3 Flujos de barro o lahares	70
7.3 Erupciones plinianas: dinamismo explosivo alto y sostenido	70
7.3.1 Caída de tefras	71
7.3.2 Flujos piroclásticos	72
7.3.3 Oleada piroclástica	73
7.3.4 Avalancha de escombros	74
7.3.5 Explosiones laterales dirigidas	74
7.4 Erupciones efusivas: flujos de lava y crecimiento de domos	75

CAPITULO VIII

MAPA DE PELIGRO VOLCÁNICO 76

8.1 Introducción.....	69
8.2 Metodología de elaboración	69
8.3 Descripción del mapa.....	69
8.4 Aplicación del mapa.....	69

CONCLUSIONES 80

RECOMENDACIONES 82

REFERENCIAS 84

ANEXOS:

- N° 1 MAPA GEOLÓGICO DEL VOLCÁN UBINAS Y ALREDEDORES
- N° 2 MAPA DE PELIGRO VOLCÁNICO.

RESUMEN

El volcán Ubinas (16° 22' S, 70° 54' O; 5762 msnm.) es el más activo del sur del Perú por sus 24 eventos ligados a alta actividad fumarólica y emisiones de cenizas reportada desde el año de 1550 hasta la actualidad. Basado en datos de campo e interpretación de fotografías aéreas e imágenes de satélite Landsat TM y ASTER la historia eruptiva de este volcán es dividida en dos períodos: (I) "Ubinas I" (>376,000 años), caracterizado por presentar una actividad principalmente efusiva lávica, que emplazó flujos de lava andesíticos que afloran en la base del volcán. Posteriormente, ligada a una posible actividad explosiva se destruyó el flanco sur del volcán generando avalanchas de escombros de $\sim 2.8 \text{ km}^3$, distribuidos en la parte baja del flanco sur (Querapi). En un periodo intermedio se depositó una secuencia de flujos de pómez y cenizas de 1.8 km^3 , distribuido a más de 7 km al sur del cráter ligada a un probable colapso de caldera. (II) "Ubinas II" (376,000 años hasta el presente), periodo durante el cual ocurrieron variados eventos dividido en tres etapas: etapa IIa) durante el cual se emplazaron coladas de lava dacítica y andesítica que datan <376,000 años y conforman el cono superior del volcán. Posteriormente, en la etapa IIb) ca. 150,000 años ocurrió el emplazamiento de domos de lava, uno de ellos situado en el flanco sur del volcán que depositó flujos de bloques y cenizas que alcanzaron hasta 10 km al sur del volcán. En la etapa IIc) se generó la formación de la "Caldera de la Cumbre" desarrollada entre 25,000 años hasta el Holoceno. Durante esta última etapa, ocurrieron numerosos episodios explosivos, entre ellos, al menos tres erupciones plinianas con características freatomagmáticas que han originado la formación de la caldera de la cumbre. Una de las erupciones plinianas más antiguas, probablemente de hace 14,000 años ha depositado una capa de pómez riolíticos rico en líticos de 3.8 m de espesor, a 9 km al sur del cráter, sobre el cual existe otro depósito de caída pliniana de 1.2 m de espesor constituido de lapilli pómez, rico en líticos datado en 7480 años. Hace ca. 3670 años ocurrió un segundo colapso del flanco sur que depositó una avalancha de escombros en forma de colinas cónicas de $\sim 1.2 \text{ km}^3$ al pie de la pared sur del cono. Hace ca. 980 años ocurrió la última erupción pliniana del Ubinas que depositó una capa caída de lapilli pómez andesíticos de 4 m de espesor a 6 km al sur del volcán. Desde 1550 DC hasta la actualidad la actividad ha sido caracterizada por erupciones explosivas de bajo IEV (1-3), como la actividad eruptiva iniciada en 2006, la cual se prolonga hasta la actualidad caracterizada por ser de tipo vulcaniana (leve a moderada). El cual desde el punto de vista de riesgos y amenazas, ha causado daños en la población, agricultura, y ganadería (muerte de ganado).

Finalmente los estudios geológicos, sumados a la recopilación de los registros históricos y características de la actividad actual ayudaron a estimar los períodos de recurrencia de alta actividad fumarólica y emisiones de cenizas. Para luego determinar los peligros potenciales que se ciernen sobre los pobladores que viven dentro de un radio de 14 km alrededor del cráter, sobre todo en la parte baja del flanco Sureste. Estos peligros son: caídas de tefras, flujos piroclásticos, flujos de barro o lahares y avalanchas de escombros.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la cadena volcánica Plio-cuaternaria del sur peruano se distinguen siete volcanes activos y aproximadamente 28 conos monogénéticos de cenizas y escorias (valles de Huambo-Orcopampa-Andahua). Estos volcanes, principalmente los estrato-volcanes se emplazaron hace menos de 1 Ma y desde entonces han continuado presentado una actividad eruptiva hasta hace menos de 500 años (por ejemplo el volcán Huaynaputina en 1600 A.D., el volcán Sabancaya entre 1988-1998 y el Ubinas en 2006-2009). Los productos emitidos por estos volcanes durante los últimos 500 años causaron enormes estragos a varios poblados, terrenos de cultivo y obras de infraestructura localizados en sus inmediaciones. El más trágico de los efectos lo generó la erupción explosiva del volcán Huaynaputina en el año de 1600 DC, durante el cual murieron más de 1500 personas.

En la actualidad, desde el punto de vista de riesgos, la ocurrencia de una erupción explosiva leve a moderada presentada por cualquiera de los siete volcanes activos del sur peruano, caso por ejemplo del volcán Misti causaría daños importantes en los servicios de agua, y la salud de las personas que respirarían cenizas y gases tóxicos, y crearía pánico y desconcierto en la población de Arequipa, que suman más de 900,000 habitantes.

También, recientemente, la reactivación del volcán Ubinas en el marzo del 2006 causó alarma y preocupación en los pobladores del valle de Ubinas y sus autoridades quienes no disponían de planes ni estrategias para atender y/o evacuar a la población. Posteriormente, desde abril a agosto del 2006 se produjo un importante incremento de la actividad que obligó a las autoridades evacuar a más de 1000 personas al refugio de Chacchagen (~20 km al SE del volcán). En esta oportunidad se temió que la actividad se incrementara con posibles consecuencias trágicas para los más de 5,000 habitantes que viven en el valle de Ubinas (situado al sur del volcán), cuya principal actividad socio-económica se basa en la agricultura, ganadería y pecuaria.

Este estudio, referido al volcán Ubinas busca mostrar el tipo de comportamiento geológico - vulcanológico pasado del mencionado volcán, en base al estudio de los diversos materiales emitidos durante su historia eruptiva y la actividad actual 2006-2009, con el fin de predecir su comportamiento en el futuro, con fines de prevención y mitigación de desastres frente al eminente peligro volcánico que presenta.

1.1 UBICACIÓN

El volcán Ubinas se encuentra ubicado 70 km al NE de la ciudad de Arequipa (Fig. 1.1); en la Cordillera Occidental de los Andes del Sur del Perú. Forma parte de la cadena de volcanes calco-alcalinos perteneciente a la “Zona Volcánica de los Andes Centrales” (ZVC, De Silva & Francis, 1991).

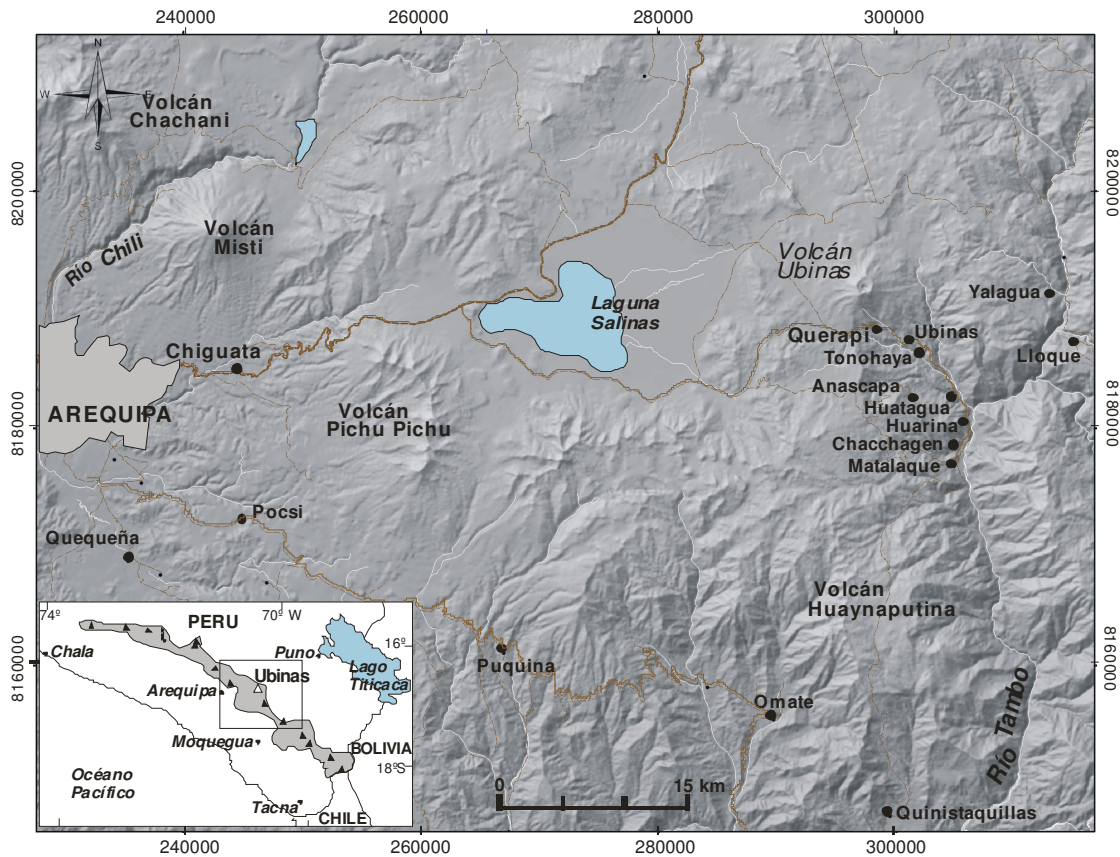


Fig. 1.1 Mapa de ubicación del volcán Ubinas, poblados aledaños y la ciudad de Arequipa. En el cuadro inferior, se presenta la cadena volcánica Plio-cuaternaria del sur peruano.

Políticamente, el volcán Ubinas se localiza dentro de la región Carlos Mariátegui, Provincia de Sanchez Cerro, distrito de Ubinas. En las coordenadas geográficas:

Latitud $16^{\circ} 22'$ Sur
 Longitud $70^{\circ} 54'$ Oeste

La altura máxima del edificio volcánico es: 5,636 msnm., cubre un área de $\sim 65 \text{ km}^2$ y un volumen de $\sim 54 \text{ km}^3$, aproximadamente.

1.2 VIAS DE ACCESO

El acceso al volcán Ubinas desde la ciudad de Arequipa se realiza por medio de dos vías:

- Carretera afirmada Arequipa – Santa Lucía de Salinas – Para – Volcán Ubinas - Yalagua;

- Carretera afirmada Arequipa- Santa Lucia de Salinas – Logen – Volcán Ubinas – Querapi – Ubinas - Huarina – Chacchagen - Matalaque.
- Carretera afirmada Arequipa – Polobaya – Volcán Pichu-Pichu - Santa Lucia de Salinas – Logen – Volcán Ubinas – Ubinas.

En cuanto a las poblados aledaños al volcán (menos de 20 km) y sus distancias aproximadas al cráter, en línea recta son: Ubinas 6.5 km al SE; Tonohaya 7.2 km al SE; San Miguel 10 km al SE; Huatahua 11.8 km al SE; Escacha 8.5 al SE, Anascapa 10 km al S, Sacuaya 5 km al S, Querapi 4 km al S, Huarina 14 km al SE, Matalaque 17 km al SE y Logen 17 km al SO (Fig. 1.2).

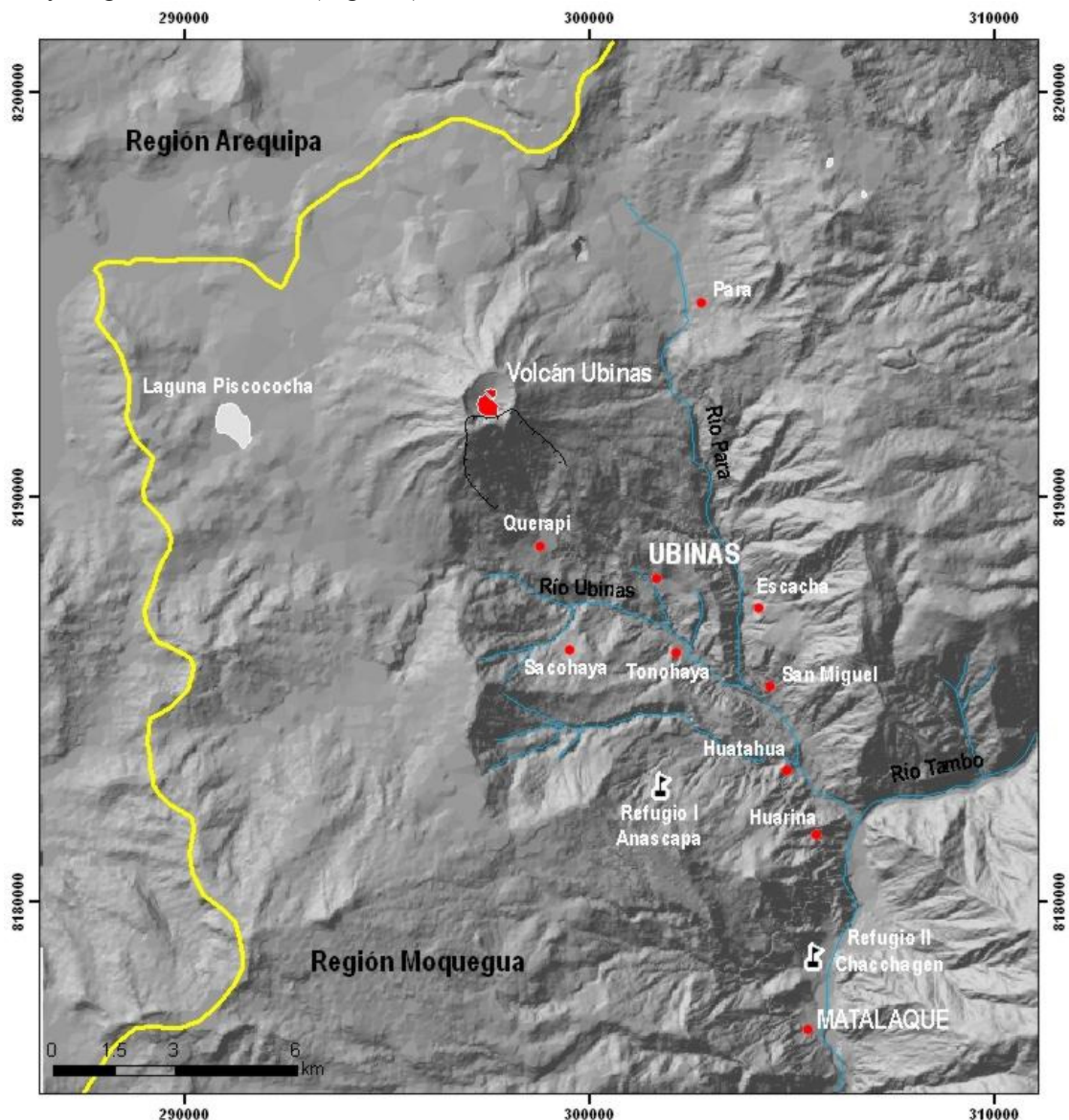


Fig. 1.2 Mapa de localización de poblados aledaños al volcán Ubinas.

1.3 OBJETIVOS

El estudio realizado tuvo como objetivos primordiales:

- 1) Efectuar el cartografiado geológico del volcán Ubinas, a escala 1:25,000, para poder establecer la distribución, el área de emplazamiento y el modo de depositación de sus productos volcánicos.
- 2) Estudiar el comportamiento eruptivo pasado y la evolución del volcán en base a la lito-estratigrafía de sus depósitos, datos históricos y recientes relacionados a alcances de sus erupciones e impactos en los poblados aledaños.
- 3) Estudiar la petrografía y geoquímica de los productos volcánicos para inferir la evolución magmática y la característica de los mecanismos eruptivos (efusivos y explosivos) acaecidos a lo largo de su historia eruptiva.
- 4) Elaborar el mapa de peligro volcánico del volcán Ubinas, zonificando áreas que podrían ser afectadas por una futura erupción, que tengan como foco de emisión, el cráter actualmente activo. Este mapa servirá como base para organizar planes de contingencia pertinentes a una eventual crisis volcánica y como herramienta de planificación en áreas pobladas aledañas y del uso de la tierra, ubicación y proyección de obras civiles (carreteras, puentes, etc.).

1.4 ASPECTOS SOCIO-ECONÓMICOS

En esta parte del estudio se presenta un resumen de los aspectos socio-económicos del área de influencia del volcán Ubinas.

Los datos de población y vivienda de la zona de estudios han sido tomados del censo efectuado por Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) del año 2005 (Tabla 01), y del censo efectuado por el COER-Moquegua en el año 2006.

Ubicación		Nro. Localidades	Cantidad de Personas	Cantidad de Hogares	Cantidad de Viviendas
Región	Arequipa	59	1120	362	626
Provincia	Arequipa	59	1120	362	626
Distrito	San Juan de Tarucani	59	1120	362	626
Región	Moquegua	84	7484	2106	2306
Provincia	Gral. Sanchez Cerro	84	7484	2106	2306
Distrito	Chojata	15	1635	507	554
Distrito	Coalaque	5	280	73	102
Distrito	Ichuña	9	77	19	53
Distrito	Lloque	11	1152	225	239

Distrito	Matalaque	19	1228	376	401
Distrito	Ubinas	11	1776	533	546
Distrito	Yunga	14	1336	373	411
	Total	143	8604	2468	2932

Tabla 01. Resultado del censo del INEI-censo X de Población y V de Vivienda del 2005.

A menos de 40 km del volcán Ubinas se distinguen aproximadamente ocho distritos, localizados dentro del área de influencia del volcán. Entre ellos se encuentran: San Juan de Tarucani, perteneciente al departamento de Arequipa, y Chojata, Coalaque, Ichuña, Lloque, Matalaque, Ubinas y Yunga, pertenecientes al Departamento de Moquegua. En total, hacen una población de 8,604 habitantes. El número de viviendas de estos ocho distritos es de 2,930.

Poblados	Cantidad de Personas
Querapi	154
Ubinas	697
Sacohaya	300
Anascapa	287
Tonohaya	243
San Miguel	153
Huatagua	166
Huarina	176
Matalaque	250
Yalagua	278

Tabla 02. Resultado del censo efectuado por el COER-Moquegua en 2006.

En cuanto a la actividad económica, la población del valle de Ubinas se dedica principalmente a la actividad agrícola, ganadera y pecuaria.



Fig. 1.3 El poblado de Ubinas es uno de los siete poblados localizados en el valle de Ubinas, amenazado por la actividad del volcán Ubinas.

Además en áreas aledañas al volcán Ubinas existen obras civiles importantes como que podrían ser afectados en caso de una importante actividad eruptiva del volcán Ubinas:

- Represa Aguada Blanca,
- Central Hidroeléctrica de Lluta,
- Empresa Minera de Borateras Salinas “INKABOR”
- Carretera afirmada Arequipa-Salinas-Moche-Logen-Ubinas,
- Carretera afirmada Arequipa – Salinas – Tite - Yalagua.

1.5 DOCUMENTACIÓN BASE

La base topográfica empleada, es la hoja fotogramétrica de Ichuña elaborada en el año de 1974 por el Proyecto Especial de Titulación de Tierras (PETT), a escala 1:25 000.

Se utilizaron imágenes satelitales Landsat TM-5 del año 1997, y ASTER 2005 en combinaciones de bandas RGB (7,4,2); procesadas en el laboratorio de Imágenes Satelitales del INGEMMET; a escalas 1:70 000 y 1:100 000. También se utilizaron las fotografías aéreas del año 1955.

1.6 METODOLOGÍA DE TRABAJO

La metodología seguida para la elaboración del presente trabajo se dividió en tres etapas:

1.6.1 PRIMERA ETAPA: Trabajos de gabinete

Este trabajo consistió en:

- Recopilación de material bibliográfico relacionado a determinar características de los eventos eruptivos históricos, recientes y la geología del volcán.
- Procesamiento de imágenes de satélite Landsat TM, 1997; SPOT 2002 del volcán Ubinas y alrededores, a escalas 1:70,000 y 1: 100,000.
- Fotointerpretación geológica de fotografías aéreas a escala 1:42,000 pertenecientes al IGN y correspondientes al año 1955.
- Adquisición de un plano topográfico de Ichuña a escala 1:25,000 perteneciente al PETT, el cual sirvió como plano base para sobreponer los datos de campo, la fotointerpretación geológica, el plano estructural y el mapa de peligros del volcán Ubinas.

1.6.2 SEGUNDA ETAPA: Trabajos de campo

Los trabajos de campo permitieron el cartografiado, y estudio de los diversos productos volcánicos emitidos y/o asociados al volcán Ubinas. Se contó con dos salidas de campo, las cuales se dieron en forma alternada con los trabajos de gabinete.

1^{ra} salida de campo

- Se llevó a cabo entre los meses de Junio y Julio del 2007. El trabajo de campo se inició con el reconocimiento geológico y cartografiado de estructuras y depósitos que afloran dentro del cráter y en los flancos Oeste y Norte del volcán.
- Se efectuó el estudio tefroestratigráfico de los productos de caídas que afloran al SE del volcán, con el objeto de determinar la secuencia estratigráfica, la edad relativa, el comportamiento eruptivo y la distancia hasta donde se desplazaron los depósitos piroclásticos del volcán Ubinas.
- Se efectuó el muestreo y cartografiado geológico de los diversos depósitos volcánicos.

2^{da} salida de campo

- Se prosiguió con el cartografiado geológico y el muestreo de los diversos depósitos volcánicos que afloran en la parte baja del valle de Ubinas (flanco SE del volcán), para análisis químico y dataciones radiométricas.
- Se prosiguió con el levantamiento estratigráfico de los depósitos generados por el volcán Ubinas, que afloran en el valle de Ubinas.

-Se prosiguió con el cartografiado geológico de fallas y estructuras volcano-tectónicas. Además se continuó con el estudio tefroestratigráfico con énfasis en el estudio de erupciones históricas y holocénicas.

-Cartografiado geológico de tefras correspondientes a erupciones históricas hasta el poblado de Yalahua (a 18 km al Este del volcán Ubinas).

1.6.3 TERCERA ETAPA: Trabajo de gabinete y redacción del informe

- Reinterpretación de las imágenes satelitales Landsat TM y ASTER 2005.
- Envío de muestras de rocas a los laboratorios de química y análisis de los resultados.
- Elaboración de gráficos y tablas.
- Elaboración del plano geológico del volcán Ubinas y alrededores.
- Elaboración del mapa de peligro volcánico.
- Redacción del informe final.

1.7 ESTUDIOS ANTERIORES

Existen diversos trabajos relacionados al estudio geológico y vulcanológico del volcán Ubinas. La mayoría está centrada en la descripción de la actividad eruptiva pasada y al reconocimiento morfológico. Solamente pocos están referidos a los estudios de geología, petrología, geoquímica y la geofísica (estudio geofísico de potencial espontáneo -PS) del volcán. De los años anteriores al siglo XIX, existen pocos relatos y/o escritos por historiadores que describen el tipo de actividad volcánica y el tipo de material que emitió dicho volcán.

Entre los que estudiaron al volcán Ubinas se encuentran:

F. Alayza (1953), publicó un informe sobre la provincia de Moquegua y el departamento de Tacna (Bolt. de Cuerpo de Ingenieros de Minas del Perú N° 3), en el que hace un breve reconocimiento geológico del volcán Ubinas y de las áreas adyacentes a esta. Además reporta la leve e intermitente actividad fumarólica del Ubinas de aquél entonces.

H. Spann (1956) publica una síntesis de la geología del volcán Ubinas, en el octavo Congreso de Ciencias del Pacífico (2: 56-59).

S. Mendivil (1965) por encargo de la comisión de la Carta Geológica Nacional efectuó un estudio geodinámico de remoción en masas denominado: "Remoción de tierras en el distrito de Ubinas", pueblo ubicado a seis kilómetros al sur del volcán. En dicho estudio hizo una síntesis de la geología, poniendo poco énfasis en la estratigrafía y petrografía. Este estudio de movimiento en masa abarcó parte de la cabecera del valle de Ubinas (flanco sur del volcán Ubinas) hasta la parte baja del mencionado valle.

R. Marocco y M. del Pino (1966) efectuaron el cartografiado geológico del cuadrángulo de Ichuña, a escala 1:100 000. En este estudio se analizan y correlacionan estratigráficamente los diversos productos volcánicos, diferenciándolos por formaciones

y finalmente asignándoles un nombre. Es así que a las rocas que conforman la estructura superior del volcán Ubinas lo denominan "Volcánico Ubinas" y comprende una edad que va del "Neopleistoceno" al reciente, y al cono inferior le asignan como parte del Grupo Barroso.

Hantke G. y Parodi I. (1966) publican en la "Asociación Internacional de Vulcanología y Química del Interior de la Tierra" (IAVCEI), el catálogo de los volcanes activos del mundo. En este catálogo describen a los volcanes del Perú, Colombia y Ecuador; entre ellos el volcán Ubinas, del cual publican los períodos de su actividad eruptiva histórica y los tipos de emisiones.

A. Parodi (1975) publica un artículo denominado "Los Volcanes del Perú" en el boletín N° 94 de la Sociedad Geográfica de Lima, donde describe la ubicación y el tipo de actividad eruptiva del Ubinas en tiempos históricos.

S. de Silva y P. Francis (1991) publican un estudio denominado: "Los Volcanes de los Andes Centrales", realizado en base a la interpretación de imágenes de satélites Landsat Thematic Mapper (TM.). En este estudio enuncian posibles peligros asociados a una futura actividad eruptiva del volcán Ubinas.

T. Simkim y L. Siebert (1994) publican en la Smithsonian Institution "Volcanoes of the World" el tipo de actividad histórica del volcán Ubinas donde hacen referencia de los 17 eventos eruptivos, registrados desde 1550 hasta 1969, basados en los reportes de diarios nacionales y archivos históricos.

M. Rivera, J.-C. Thouret y A. Gourgaud (1999) publican en la Sociedad Geológica del Perú el primer estudio geológico - volcanológico sobre el volcán Ubinas, donde hacen mención de 24 eventos eruptivos presentados por el Ubinas durante los últimos 500 años, basados en estudios geológicos y recopilación de datos.

J.-C. Thouret, M. Rivera, G. Worner, M-Ch.Gerbe y K. Gonzales (2005). Publican en el Bulletin of Volcanology (Nro 67; pag. 557 – 589) resultados del estudio geológico, petrológico, geoquímico y los peligros asociados en caso de una eventual reactivación volcánica del Ubinas.

1.8 CLIMA E HIDROLOGÍA

El factor climático varía de acuerdo a la altitud, lo cual hace que exista un cambio o contraste de climas bien diferenciados respecto al volcán y a la parte baja del valle de Ubinas. Al nivel 4600 a 5570 m, donde se encuentra la parte alta y media del cono volcánico, corresponde a un clima frígido. El aire de ésta región es seco y poco denso. La temperatura diurna está por encima de los cero grados; en cambio por las noches casi siempre es inferior a cero grados, en ambos casos los parámetros o magnitudes dependen de la estación. También a estos se suma la baja presión atmosférica y la sequía la cual hace que se torne inconveniente para la vida de las

plantas. En los meses de invierno (diciembre - abril) tienen lugar las fuertes precipitaciones de lluvia, nieve y granizo, que se depositan dentro de caldera y en la parte superior de los flancos acumulándose en un espesor aproximado de 40 cm y 60 cm, en un área de 5 a 7 km² (que hacen un volumen aproximado de 30000 m³).

Hacia los niveles 3800 a 4600 m se encuentra la superficie Puna, caracterizado por las pampas de Para y la cabecera de los valles de Para y Ubinas. En esta zona la temperatura del día rara vez sobrepasa los 18 °C (estación de verano), las aguas de los manantiales y riachuelos se congelan superficialmente, formando capas de hielo. En esta zona se torna poco difícil la vida del hombre, de los animales y de las plantas.

Hacia el nivel 3800 a 2800 m, donde se encuentra el valle de Ubinas, el clima es templado y seco durante la mayor parte del año (mayo - noviembre). En esta zona a veces se dan heladas que afectan seriamente los cultivos (junio-julio) y durante los meses de diciembre a marzo se producen abundantes lluvias, que consecuentemente producen derrumbes y deslizamientos en los terrenos poco consolidados.

En cuanto a la hidrología, las características litológicas y estructurales del volcán Ubinas y de los diversos depósitos volcánicos asociados a él, dieron lugar a la formación de dos cuencas ubicadas al SE del Ubinas, por cuyos cauces drenan los ríos Para y Ubinas (Fig. 1.3) que se unen en la zona de San Miguel. Posteriormente estos ríos drenan sus aguas al río Tambo del cual son tributarios. Estos dos ríos reciben aportes de quebradas pequeñas que durante las épocas de invierno transportan mayor volumen de agua. En su conjunto pertenecen a la vertiente hidrográfica del Océano Pacífico. Los ríos Para y Ubinas se caracterizan por transportar agua durante todo el año, incrementando cada uno considerablemente su caudal hasta 12 m³/s durante el invierno (diciembre - marzo) y disminuyéndolo hasta 2 m³/s en los meses de verano (abril - noviembre). La alimentación de sus aguas es de origen glaciar, nieve y precipitación pluvial, las cuales al fusionarse son transportadas por percolación y por medio de escorrentia superficial hacia las partes bajas.

Ocasionalmente en los meses de diciembre a abril, los flancos Norte y NE del volcán Ubinas alimentan con sus deshielos a la pequeña laguna de Piscococha.

GEOMORFOLOGÍA

La zona estudiada, comprendida entre los 2,800 y 5,670 msnm., forma parte de la Cordillera Occidental de los Andes. En el estudio efectuado se distinguieron las siguientes geoformas:

2.1 GEOFORMAS DE ORIGEN GLACIAR

Con este nombre designamos a las unidades litológicas afectadas por la actividad glaciaria y a los depósitos producidos por dicha actividad, que afloran dentro del área de estudio. Entre estas geoformas de origen glaciario tenemos:

2.1.1 VALLES GLACIADOS (GG-VPU)

a) El valle de Ubinas.- Este valle se prolonga desde la Quebrada Volcanmayo (pie del flanco sur) hasta la confluencia del río Tambo. En la cabecera de dicho valle afloran depósitos volcánoclasticos y avalanchas de escombros, en donde los ríos Ubinas y Secuaya han producido encañonamientos. Hacia la parte baja del valle (3100 m) y ambos márgenes del río Ubinas, se encuentran áreas de cultivos asentadas sobre terrazas (Fig. 2.1). Dichas terrazas se hallan conformadas por depósitos aluviales y lahares. Además sobre las terrazas se levantan poblados como: Tonohaya, San Miguel y Huatagua.

b) El valle de Para.- Es un valle glaciario estrecho que tiene una forma transversal en "U" o artesa. En ambos márgenes de este río afloran depósitos de flujos piroclásticos soldados cubiertos por flujos de barro y depósitos aluviales, dispuestos en forma de terrazas escalonadas que miden más de 20 m de altura. El valle de Para se une al valle de Ubinas en los poblados de San Miguel.

2.1.2 CUMBRE DEL VOLCÁN (GG-CV)

Corresponden a la parte más alta del estrato-cono y la caldera del volcán Ubinas. Estas zonas presentan una morfología glaciaria típica, labrada en los diversos flujos de lavas y depósitos volcánoclasticos. En la cumbre del volcán la nieve se deposita en épocas de invierno (diciembre a marzo) y rara vez permanece hasta los meses de junio y julio, con un espesor promedio de 50 cm.

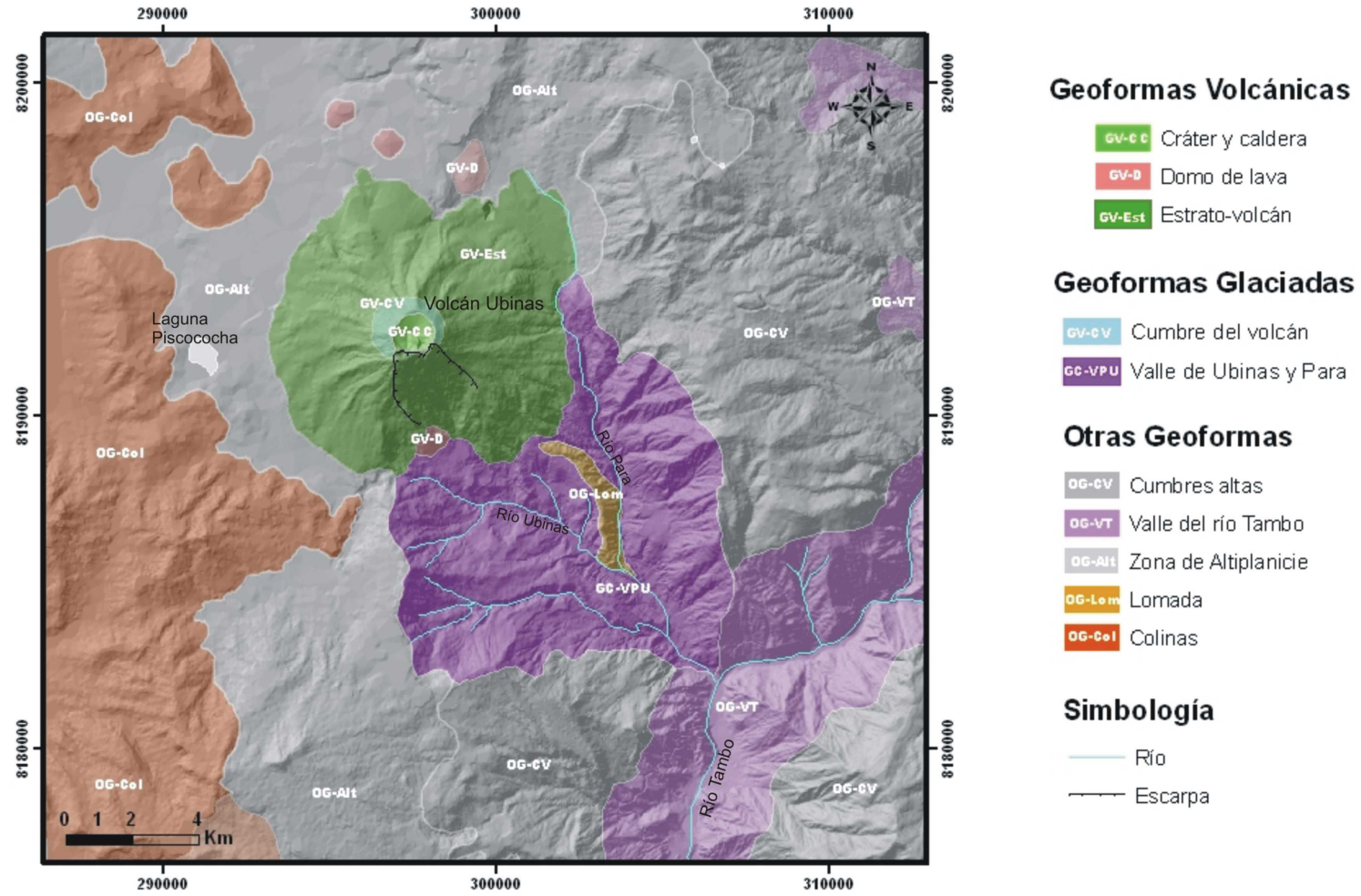


Fig. 2.1 Mapa Geomorfológico del volcán Ubinas y alrededores.

2.2 GEOFORMAS DE ORIGEN VOLCÁNICO

2.2.1 ESTRATO-CONO VOLCÁNICO (GV-Est)

El edificio volcánico está constituido por innumerables flujos de lava y flujos piroclásticos, los cuales en gran parte están cubiertos por depósitos de cenizas y materiales retrabajados. Morfológicamente dentro de dicha estructura se destacan dos zonas: la base y la cumbre del edificio. La parte baja se encuentra sobre los 4300 msnm., y presenta superficies onduladas de suaves pendientes ($< 20^\circ$). Hacia la parte alta se presenta un relieve de fuertes pendientes ($> 40^\circ$), constituido por flujos y coladas de lavas bastante inclinadas. La parte alta del edificio es truncada hacia los 5560 msnm., en donde se ubica la caldera semi-elíptica cuyo eje tiene una dirección NO-SE, y es de 1,5 km de diámetro (Fig. 2.1).

Los extremos de los flancos Oeste, Norte y Este corresponden a un área relativamente plana denominada zonas de altiplanicie. Mientras que en los extremos E, S, SE y NE se distinguen dos valles semi-encañonados de tipo glaciar. Entre los que figuran los valles de Ubinas y Para por donde drenan los ríos Ubinas y Para respectivamente. Estos valles son limitados por cerros cuyas elevaciones son marcadas y poseen cumbres empinadas.

2.2.2 DOMOS DE LAVA (GV-D)

Existen cuatro domos de lava que se ubican al N, NE y SW del Ubinas (Fig. 2.1). Dichos domos tiene formas cónicas semi-circulares. Poseen entre 1,2 a 1,6 km² y de 0,2 a 0,8 km de altura. Estos domos de lava en parte se encuentran cubiertos por cenizas holocénicas, históricas y cenizas emitidas durante la actividad 2006-2008.

2.3 OTRAS GEOFORMAS

2.3.1 ZONA DE ALTIPLANICIE (OG-AIt)

Morfología extensa que se destaca entre las demás por presentar superficies horizontales y/o ligeramente onduladas o de suaves pendientes, distribuidas al Norte, NW, Este y SW del volcán (Fig. 2.1). Esta zona de altiplanicie litológicamente está constituida por ignimbritas soldadas (al Norte y Este del volcán), flujos de lava que pertenecen al substrato del edificio. Sobre estos depósitos descansan sedimentos volcanoclásticos y depósitos de lapilli y cenizas.

La zona de altiplanicie durante el Pleistoceno a inicios del Holoceno fue intensamente glaciada, existiendo actualmente en ella gran cantidad de depósitos glaciares como:

a) morrenas frontales y laterales (flanco N, W y Sur del volcán Ubinas). Estas se destacan por presentar una mezcla heterogénea de bloques de rocas volcánicas, gravas y limos.

b) sedimentos glaciares y aluviales finos y bofedales rellenan las depresiones ubicadas al N y NE del volcán.

2.3.2 ZONA DE ALTAS CUMBRES (OG-CV)

Corresponden a las zonas más elevadas (> 4800 msnm) ubicadas dentro del área de estudio, donde las condiciones de vida tanto para los animales y plantas se hacen difíciles.

2.2.3 LOMADAS (OG-Lom)

Corresponden a las zonas elevadas con pendientes suaves y onduladas ubicadas dentro del área de estudio.

2.2.4 COLINAS (OG-Col)

Corresponden a zonas elevadas con pendientes abruptas, litológicamente en la mayoría de los casos constituidos por depósitos volcánicos masivos o compactos.

GEOLOGÍA

3.1 CONTEXTO GEODINÁMICO Y TECTÓNICO

En el sur del Perú, Bolivia y norte de Chile la subducción de la placa oceánica Nazca debajo de la placa continental sudamericana genera la existencia de una cadena volcánica Plio-cuaternaria denominada Zona Volcánica Central de los Andes (CVZ, 14° 30' -27° S), al cual pertenecen los volcanes activos del sur peruano. Este vulcanismo se produce a una distancia media de 250 km al Este de la fosa Peruano-Chilena. El plano de Benioff se encuentra debajo de esta zona, entre 120 y 150 km de profundidad (James, 1971; Barazangi y Isacks, 1976). La dirección de convergencia de la Placa Nazca debajo del continente sudamericano es N78°E y tiene una velocidad media de 5-7 cm/año (Enorabuena et al., 1999; Somoza, 1998). La edad de la placa subducida tiene aproximadamente entre 40 y 50 Ma.

Los diversos estudios petro-geoquímicos efectuados sobre los volcanes Plio-cuaternarios del sur del Perú por Lefèvre (1979); Dostal *et al.*, (1977); Delacour et al., 2006; Gerbe y Thouret, (2004); Legendre, 1999, Thouret et al., 2005; de Silva et al., (2008) han mostrado que la mayoría de los volcanes existentes en esta zona son de naturaleza calco-alcalina, con predominancia de andesitas y que pueden ser generados principalmente por la fusión parcial de la cuña del manto. Además, durante su evolución y posterior emisión intervienen otros procesos complejos de AFC (asimilación y cristalización fraccionada) y mezcla de magmas derivadas de la base la corteza continental y magmas provenientes del manto (proceso MASH: mezcla, asimilación, acumulación y homogeneización de Hildreth y Moor bath, 1988). Estos procesos son frecuentemente asociados a fenómenos de contaminación por la corteza al momento del almacenamiento y/o ascenso del magma hacia la superficie, debido a la presencia de una corteza continental muy espesa (~70 km, James, 1971).

La actividad volcánica registrada en el sur del Perú se incrementó desde el Oligoceno hasta el Pleistoceno superior disminuyendo en la actualidad. Probablemente esta alta actividad eruptiva estuvo supeditada a la alta velocidad de convergencia de la Placa de Nazca (Sebrier y Soler, 1991).

3.2 MARCO TECTÓNICO REGIONAL Y LOCAL

a) Estructuras de extensión regional

Fallas y fracturas de extensión regional se evidencian mediante lineamientos en las imágenes de satélite ASTER del 2006 (Fig. 3.1) y en las fotografías aéreas. Se distinguen 3 sistemas de fracturamiento y fallamiento.

- Fallas de rumbos predominantes N 28° O, que prosiguen la dirección del río Tambo (se prolongan desde Chichilaque hasta la parte alta del río Para). Asociadas a estas, se

encuentran fracturas de rumbos N 24° O y N 30°O que se prolongan al Norte, E y O del volcán Ubinas (Fig. 3.1).

- Fracturas con rumbo N 64° O (Fig. 3.1) al sur del Ubinas que afectan rocas de la formación Matalaque y rocas intrusivas del Terciario superior - Cretáceo inferior.

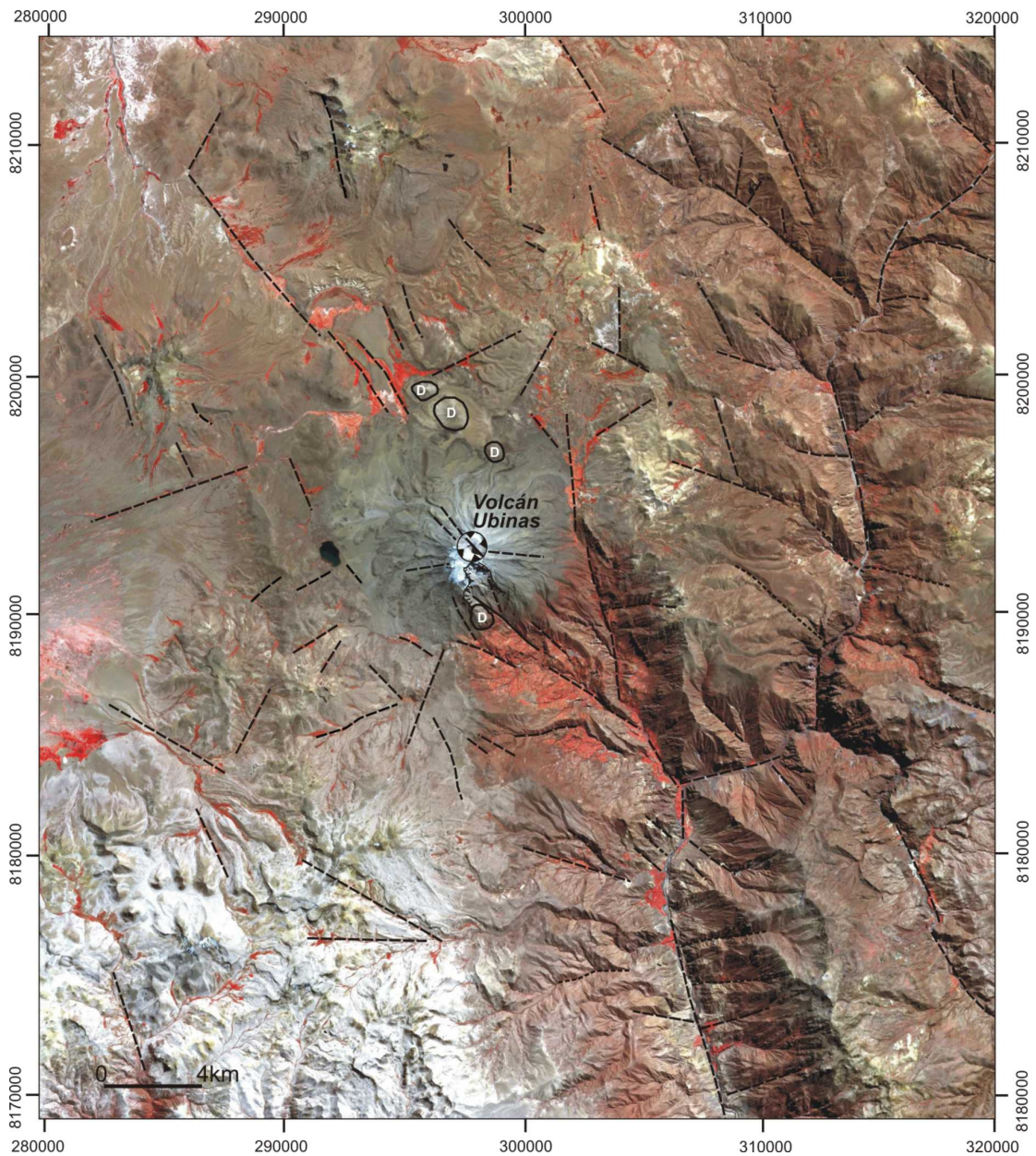


Fig. 3.1 Imagen Aster donde se muestran lineamientos y fallas en el volcán Ubinas y áreas aledañas.

- Una falla con rumbo N 42° O (Fig. 3.1), se evidencia dentro del valle de Ubinas. Esta fractura se prolonga desde la confluencia de los ríos Ubinas y Tambo hasta la parte baja del volcán Ubinas (flanco sur).

b) Estructuras de extensión local y/o dentro de estructura volcánica

- Existe una falla de rumbo N 30° O que cruza la caldera y cráter del volcán (Fig. 3.1).
- Falla en el flanco sur del volcán Ubinas de rumbo N 35° O, la cual posiblemente ha contribuido en la desestabilización de dicho flanco.
- Dentro del edificio volcánico existen fracturas verticales con rumbos N 6° E, N10°E y N 160° E (Fig. 3.1).

3.3 ESTRATIGRAFÍA GENERAL E HISTORIA GEOLÓGICA

Las unidades litológicas más antiguas que afloran en áreas aledañas al volcán Ubinas conforman su substrato. Dichas unidades corresponden a secuencias volcánicas que datan del Cretáceo inferior al Pleistoceno, y son: Volcánico Matalaque, Formación Maure, Volcánico Llallahui (Grupo Tacaza) y el Grupo Barroso.

Volcanismo y Fallamiento del Cretacio Superior - Terciario inferior

En el Cretáceo superior, en la actual Cordillera de los Andes (sur del Perú) se inició un vulcanismo efusivo y explosivo caracterizado por el emplazamiento de variados flujos de lavas e ignimbritas dacíticas y riolíticas, y emitidos desde extintos centros volcánicos. En esta época se depositó el Volcánico Matalaque.

3.3.1 VOLCÁNICO MATALAQUE

El nombre de Volcánico Matalaque fue utilizado por Marocco y del Pino (1966) para describir una serie de rocas volcánicas que afloran en los alrededores del distrito de Matalaque, ubicado al Sureste del volcán Ubinas. Esta formación se encuentra sobreyaciendo con ligera discordancia erosional a la secuencia sedimentaria del Jurásico correspondiente al Grupo Yura y subyace en discordancia angular a las rocas volcánicas del Grupo Tacaza (Eoceno - Mioceno). Las rocas volcánicas pertenecientes a al Volcánico Matalaque fueron reconocidas en la intersección de los ríos Ubinas y Tambo, de donde se prolonga río abajo, hasta inmediaciones del pueblo de Carumas y Quinistaquillas. Esta formación está constituida por una secuencia de lavas de composición andesítica epidotizadas y ocasionalmente bancos de ignimbritas soldadas. El conjunto litológico presenta coloraciones verde grisácea, gris oscuro y violeta producto de alteraciones (epidotización y seritización).

Por el poblado de Matalaque, el volcánico Matalaque se presenta meteorizado e hidrotermalizado, con tonalidades: ocre, verde oscuro y rojizo. Estos depósitos cubren flujos de lavas e ignimbritas. Por el área de estudio no se aprecia el contacto de la base,

sin embargo se le atribuye más de 800 m de espesor. En cuanto a la edad de emplazamiento no existen dataciones disponibles a la fecha. Pero se puede tomar el criterio basado en la similitud litológica, observada en la proximidad del distrito de Carumas por Mendivil (1966), en donde yacen sobre la Formación Murco y están cubiertos por la Formación Arcurquina. Según Garcia (1975), descansan sobre la Formación Omate, por lo tanto se emplazó durante el Cretáceo medio - superior.

Volcanismo del Mioceno

En el Mioceno a lo largo de la Zona Volcánica Central de los Andes y específicamente en el sur peruano se produce un intenso volcanismo explosivo que genera voluminosos flujos piroclásticos o ignimbritas, muchos de ellos ligados al colapso de calderas. Parte de este volcanismo es denominado Grupo Tacaza.

3.3.2 GRUPO TACAZA

Dentro de las áreas enmarcadas en la zona de estudio, como parte del Grupo Tacaza se considera al Volcánico Llallahuí. Las rocas que conforman esta unidad tienen una amplia distribución geográfica en el sur del Perú. Dentro del cuadrángulo de Ichuña, Marocco y del Pino (1966) describen como parte del Grupo Tacaza al Volcánico Llallahuí, que consiste en una secuencia intercalada de lava andesítica y flujos piroclásticos (ignimbritas) de composiciones riolíticas, dacíticas y andesíticas que en total miden más de 1200 m de espesor y se encuentran emplazados al S, SE y E del volcán Ubinas (cerros Llallahuí, Chimbuyo, Yanaccacca, Talaviejón, Huancarané y Malmure), donde se encuentran debajo de las lavas del Grupo Barroso. Además, se encuentran en los poblados de Huarina, Huatagua y San Miguel, las cuales sobreyacen a lavas del Volcánico Matalaque.

Superficialmente ofrecen diferentes matices producto de la erosión y meteorización; resaltando los colores rojizos, marrón y pardo. Las ignimbritas que conforman esta formación se presentan en bancos gruesos y con fracturas verticales.

Dataciones realizadas por Noble et al, (1974) y Tosdal et al. (1981) en el sur del Perú (regiones de Tacna, Moquegua y Nazca) determinaron una edad de 12,5 y 22 Ma. Por otro lado de acuerdo a su posición estratigráfica descansa directamente sobre el Volcánico Matalaque de edad Cretáceo medio a superior e infrayace a la Formación Maure del Mioceno medio a superior. Por lo tanto la edad del Grupo Tacaza ha sido inferida del Eoceno a Mioceno inferior.

3.3.3 ROCAS INTRUSIVAS

Rocas intrusivas de composiciones granodioritas y dioritas afloran en la confluencia del río Ubinas y Tambo, al SE del volcán Ubinas, en donde poseen un área aproximada de 21 km². Estas rocas se encuentran cortando rocas volcánicas del volcánico Matalaque (Cretáceo medio - superior), por lo que se infiere que correspondan

al Cretáceo superior - Terciario inferior. Dichas rocas en conjunto presentan un color bruno, pardo oscuro y gris oscuro producto de la meteorización.

Volcanismo, erosión y sedimentación de la Formación Maure

A través de las cuencas formadas al norte del volcán Ubinas se depositaron materiales terrígenos, producto de la erosión de los conos volcánicos y sus depósitos. Tales depósitos pertenecen a la Formación Maure. Este proceso de erosión y sedimentación continental fue acompañado de un vulcanismo de poca intensidad, el cual dió lugar a la deposición de rocas piroclásticas de composición andesítica.

3.3.4 FORMACIÓN MAURE

Mendivil (1965) describe como Formación Maure a una secuencia volcanoclástica emplazada sobre el Grupo Tacaza. En el cuadrángulo de Ichuña, Marocco y del Pino, (1966) distinguen a la Formación Maure, la cual aflora al Noroeste de la hoja.

Dentro del área de estudio y como parte del cuadrángulo de Ichuña, la formación Maure se encuentra ubicada al NO del volcán Ubinas (fig. 12). Litológicamente consiste de sedimentos de origen lacustre constituidos de areniscas arcósicas de grano fino a medio y tufo retrabajados de color blanco y amarillento de composición riolítica. Presentan estratificación delgada y una topografía plana, y a veces suavemente ondulada formando pequeñas terrazas escalonadas. La formación en su conjunto muestra una coloración amarillenta a marrón, a veces gris clara causada por la oxidación y/o por la presencia de tobas riolíticas. A la Formación Maure se le asigna del Mio-Plioceno (Quang et al., 2005).

Volcanismo del Plio - Pleistoceno

Después de una moderada fase de quietud manifestada por erosión y deposición de ambientes lacustres se reinicia en el sur del Perú (Plio- Pleistoceno), una intensa actividad volcánica de tipo efusivo y explosivo depositando lavas y flujos piroclásticos. Tales depósitos conforman el Grupo Barroso.

3.3.5 GRUPO BARROSO

Inicialmente el Grupo Barroso fue denominado como Formación Barroso por Wilson y Garcia (1962). Posteriormente Mendivil (1965) lo eleva a la categoría de grupo dividiéndolo en tres unidades de abajo hacia arriba como son: volcánico Chila, Barroso y Purupurine. El Grupo Barroso del Mioceno superior al Pleistoceno (Thouret et al., 2006) corresponde a una secuencia de rocas volcánicas anteriores a la última glaciación (Pleistoceno tardío) emplazadas a través de estrato-volcanes, calderas y domos localizados en el sur del Perú.

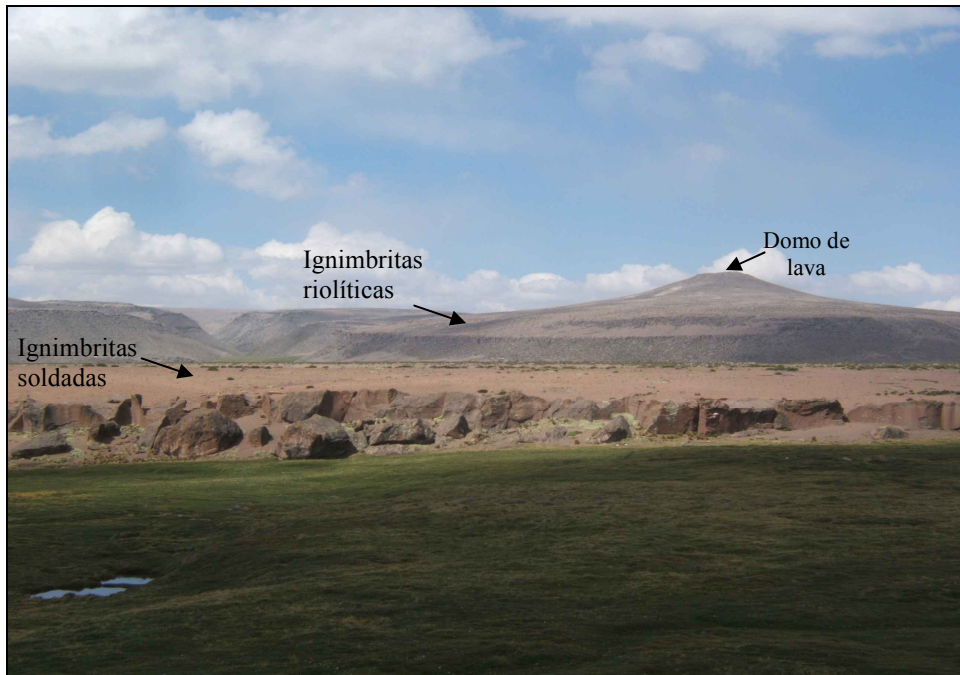


Fig. 3.2 Secuencia de flujos piroclásticos o ignimbritas riolíticas soldadas dispuestas en capas horizontales, pertenecientes al Grupo Barroso. Estos depósitos afloran al norte del volcán Ubinas.

Rocas del Grupo Barroso afloran al NO, O y SO del volcán Ubinas (Fig. 3.2). Litológicamente está compuesto por una serie de flujos y coladas de lavas andesíticas y dacíticas, y algunos niveles de flujos piroclásticos (ignimbritas), con espesores que varían de 20 a 30 m. Estas rocas provienen de conos volcánicos antiguos y erosionados. El conjunto posee un espesor muy variado encontrándolo entre 400 a 700 m.

Glaciaciones del Pleistoceno

Las glaciaciones del Pleistoceno ocurrieron poco antes, durante y después del vulcanismo que generó al Grupo Barroso. Estas glaciaciones afectaron los conos volcánicos y las áreas positivas conservadas, donde se produjeron intensas erosiones y meteorizaciones. Durante dichas glaciaciones se depositaron abundantes depósitos morrénicos en los entornos de los conos volcánicos.

3.3.6 ESTRATO-VOLCAN UBINAS

Está conformado por una potente intercalación de coladas de lavas y flujos piroclásticos (1200 m de espesor), en las que predominan las lavas. Estos depósitos en conjunto le dan una geometría cónica algo simétrica (Fig. 3.3). Sobre su estructura lávica yacen depósitos de caídas piroclásticas, productos de erupciones explosivas ocurridas durante el Holoceno y en la época histórica. El estrato-cono posee un volumen

de 54 km³. La parte baja de la estructura ofrece una topografía de suaves pendientes y hacia la parte alta, es muy inclinada. En cuyos sectores la inclinación de los flujos de lavas es >40°, la actividad glaciaria acaecida desde el Pleistoceno ha influenciado sobre la estructura, meteorizándola y consecuentemente generando circos y morrenas glaciares.



Fig. 3.3 Vista del flanco Norte del volcán Ubinas. Foto tomada en junio del 2007.

La caldera actual contiene el cráter y un cono extenso de cenizas hacia la base, ubicada a 5200 msnm. (Fig. 3.4). La caldera de explosión es el producto de por lo menos, dos grandes episodios explosivos distintos, acaecidos a fines del Pleistoceno e inicios del Holoceno. Dicha caldera probablemente almacena una napa freática o un gran acuífero, debido a su forma elíptica cerrada y a la alteración hidrotermal que presentan las lavas de la cumbre, sobre todo en el flanco sur donde existe, una falla, fracturas y diques. Hacia el pie de los bordes de la caldera yacen taludes de derrubios conformados por bloques hidrotermalizados, gravas y limos que se van desprendiendo de las paredes de la caldera.

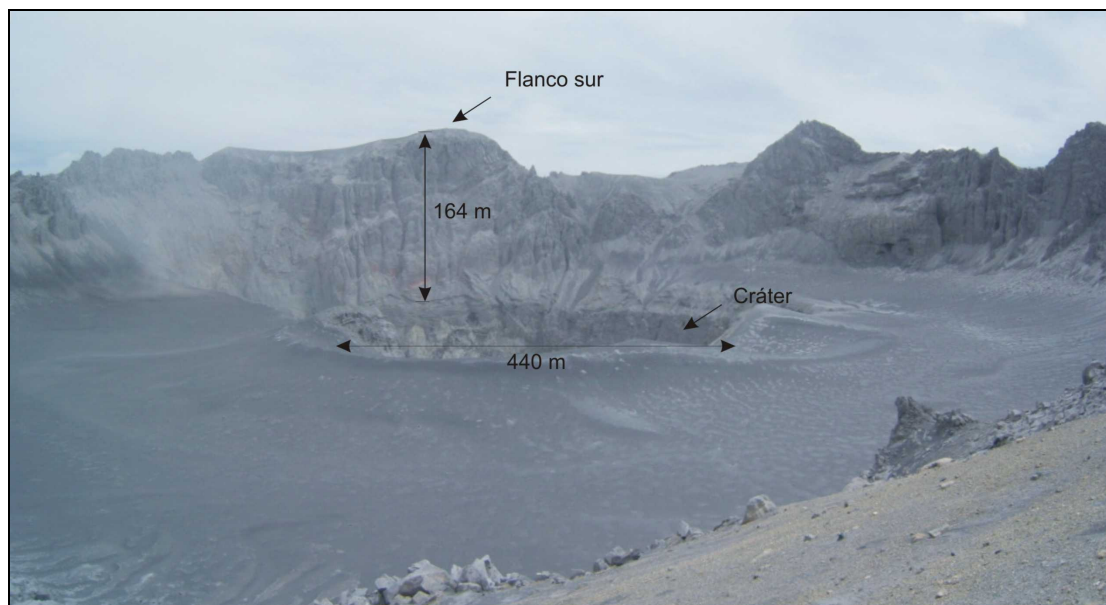


Fig. 3.4 Vista de la caldera del volcán Ubinas, en cuyo sector SE se localiza el cráter. Foto tomada en junio del 2008.

El cráter se encuentra ubicado al sureste de la caldera (Fig. 3.4), es de forma semi-cilíndrico y tiene una profundidad de 300 m. Hacia la base del cráter existe una abertura generada durante la presente actividad 2006-2009 por donde emanan los gases y productos volcánicos. Además los bordes de dicho cráter son verticales y están constituidos de lavas hidrotermalizadas, que a la vez se hallan cubiertas por cenizas estratificadas de colores ocre y gris que miden 22 m de espesor. Dentro del cráter existen dos terrazas cratéricas conformado por depósitos de cenizas estratificadas y que miden entre 16 y 20 m de espesor. Durante la historia eruptiva del volcán este cráter ha migrado. Actualmente se encuentra sobre una fractura de rumbo N 30° O.

3.4. ESTRATIGRAFÍA Y EVOLUCIÓN DEL VOLCAN UBINAS

El estudio estratigráfico muestra que el Ubinas se emplazó en dos etapas: Ubinas I y Ubinas II. En esta última etapa se emplazaron EL “Cono de la Cumbre” y “Caldera de la Cumbre” (Fig. 3.5).

3.4.1 UBINAS I (> 370 ka)

El primer periodo eruptivo del Ubinas fue esencialmente efusivo, prolongado, donde se emplazaron coladas de lava en bloques de composición andesítica que cubren una superficie de ~65 km² y constituyen la base del volcán (Fig. 3.3 y 3.5). Cada colada tiene al menos 40 m de espesor y el conjunto alcanza una potencia de ~600 m. Estas coladas yacen sobre ignimbritas riolíticas y campos de lava andesíticos del Eoceno-Pleistoceno.

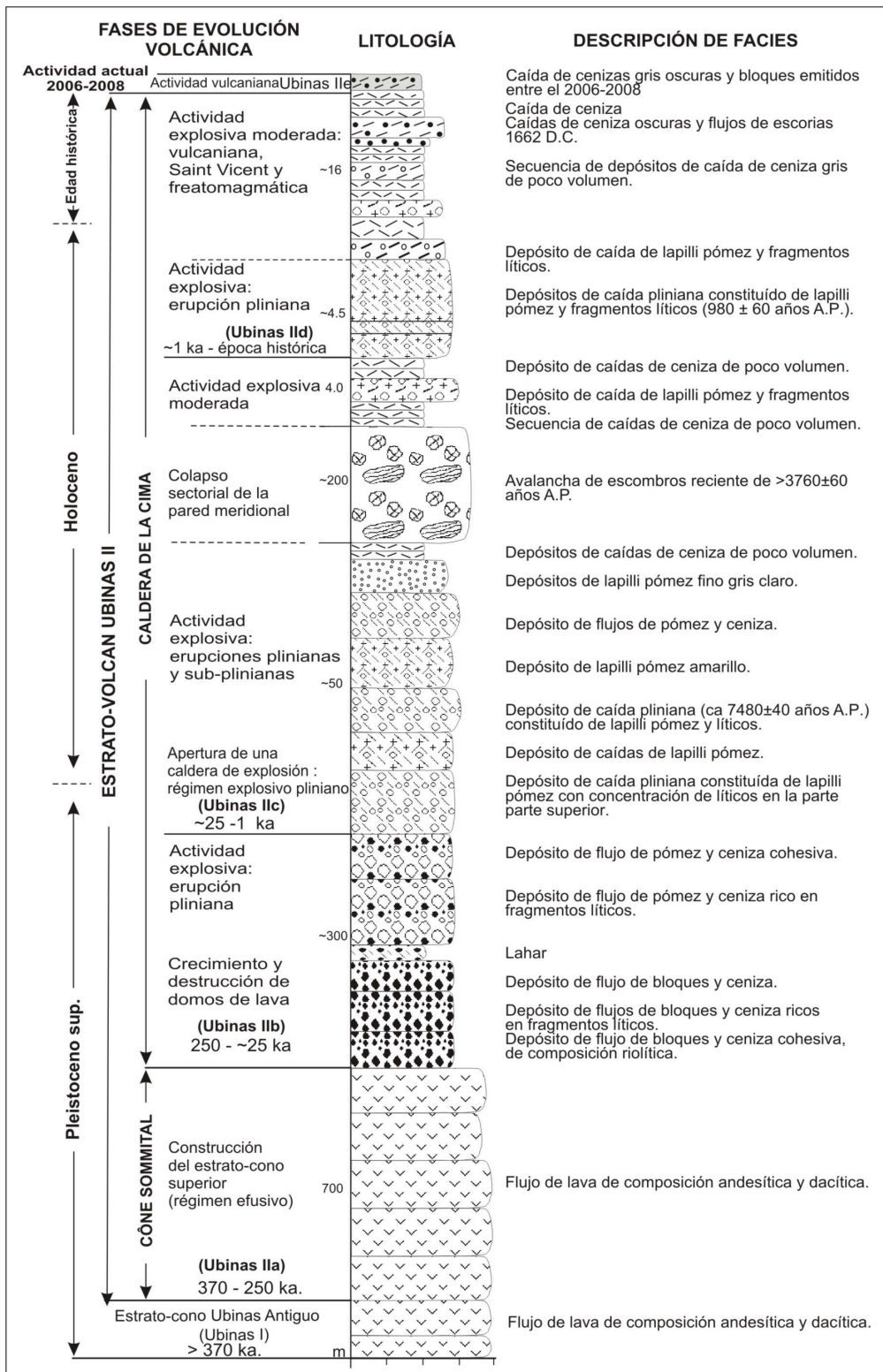


Fig. 3.5 Columna estratigráfica del volcán Ubinas: principales procesos e implicaciones para la evolución geológica y volcánica.

Después del periodo de actividad efusiva, un colapso del flanco sur del edificio volcánico "Ubinas I" generando depósitos de avalanchas de escombros de $\sim 2,8 \text{ km}^3$, que fueron canalizadas en los valles de Ubinas y Para. El espesor de estas avalanchas es variable, sobrepasan los 220 m a 4 km al SE del cráter, y disminuyen hacia la parte baja del valle de Ubinas (30 m a 10 km al SE del cráter). Los depósitos de estas avalanchas están constituidos de bloques lávicos subangulosos de tamaños métricos hasta decimétricos, donde la mayoría están hidrotermalizados. La mayoría de bloques presentan fracturas de tipo jigsaw incluidos dentro de una matriz limosa.

Seguido al colapso del flanco sur se produjo el emplazamiento de una secuencia de flujos de cenizas y pómez dacíticos no soldados de 1.8 km^3 . Estos depósitos que miden entre 40 y 60 m de espesor yacen de 5 a 8 km al pie del flanco sur (Fig. 3.6) sobre depósitos de avalanchas de escombros descritas anteriormente. Están constituidos de al menos cinco unidades de 14 y 24 m de espesor. Son masivos y de color ocre. Dentro de estos depósitos se distinguen fragmentos accidentales andesíticos centimétricos. El emplazamiento de estos voluminosos depósitos se ha producido probablemente como consecuencia del colapso de una caldera antigua del volcán Ubinas, sobre la cual posteriormente se emplazaron coladas de lava del cono de la cumbre que terminaron por cubrir los bordes de esta caldera. Actualmente la existencia de discordancia entre las coladas de lava del cono superior y cono antiguo (cambio de pendiente y presencia de fracturas), visibles en el flanco S y SE, puede representar la traza en superficie de la caldera. Estudios geofísicos de potencial espontáneo apuntan en este sentido (Pistre, 2000).



Fig. 3.6 Secuencia de flujos de pómez y cenizas emplazadas al pie del poblado de Sacuhaya.

3.4.2 UBINAS II (<370 ka hasta la actualidad)

Ila: Lavas del Cono superior (370 – 142 ka)

Seguido al colapso de una caldera antigua, se produjo el emplazamiento de coladas de lava dacíticas y andesítica en bloques que conforman el cono de la cumbre, de 4800 a 5672 m (Figs. 3.3 y 3.5). Una lava perteneciente a este periodo que yace a 5500 m ha sido datada por el método $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$, dando edades 142 ± 3 ka. (Thouret et al. 2005). Gran parte del cono superior puede haberse emplazado hace < 376 y 142 ka., respectivamente. Estas coladas de lava superpuestas presentan en general pendientes $\geq 40^\circ$. Cada colada de lava posee un espesor variable de 20 a 40 m y han recorrido una distancia máxima de 4 km alrededor del cráter.

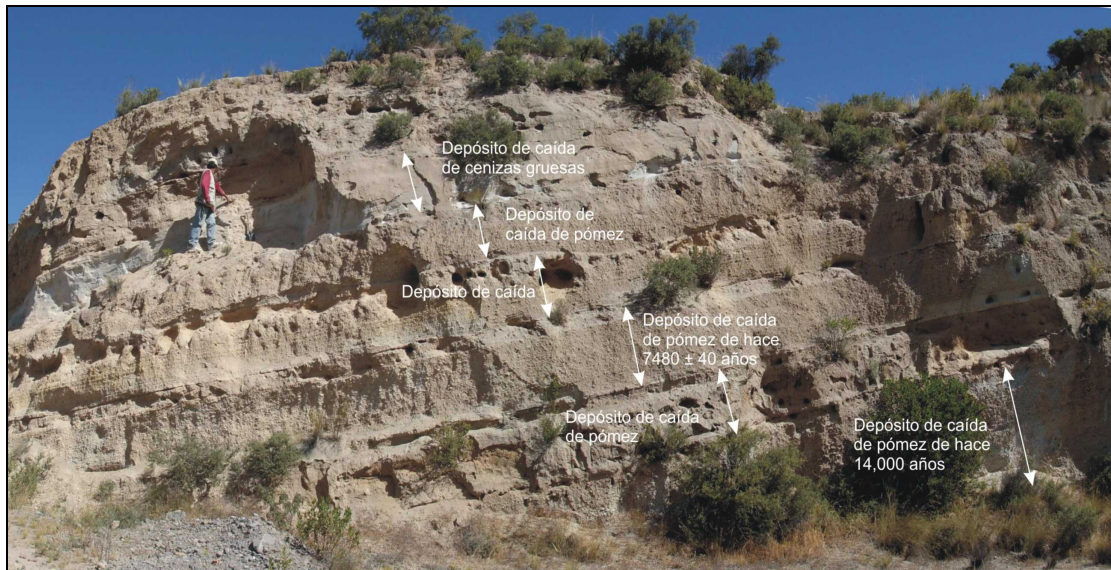
Ilb: Crecimiento de domos de lava (250 25 ka)

Después del emplazamiento de las lavas del cono de la cumbre, una actividad extrusiva genero el crecimiento de domos de lava, uno de ellos cuya edad es de ca. 250 ± 20 Ma (Thouret et al. 2005), se emplazo en el flanco sur del Ubinas (4100 m). Este domo se construyo y destruyo produciendo depósitos de bloques y cenizas, que fueron depositados en el fondo del valle de Ubinas, hasta 8 km al SE del volcán en donde miden 40 m de espesor. Estos depósitos están constituidos de bloques lávicos y fragmentos líticos incluidos dentro de una matriz cenizosa de color ocre y gris claro.

Ilc: Formación de la Caldera de la Cumbre (25 ka – época histórica)

Entre 25000 y 7480 años, al menos, dos erupciones explosivas plinianas han truncado la cima del volcán, formando la presente caldera de la cima (Fig. 3.4). Durante los últimos miles de años, la actividad eruptiva del Ubinas se ha caracterizado por erupciones de mediana a gran magnitud (freática, freatomagmática, pliniana). Durante esta última etapa eruptiva se emplazaron los siguientes tipos de depósitos:

1. Los depósitos de caída más antiguos ligados a erupciones plinianas son visibles a 9 km al sur del volcán Ubinas (poblado de Sacuhaya), Fig. 3.5. En esta zona, a la base se distingue una capa de lapilli pómez rico en líticos de 3.8 m de espesor, con granoclasificación inversa, emplazado antes de 14000 años. Este depósito de $\sim 3 \text{ km}^3$ es el más antiguo que encontramos alrededor del volcán y proviene de una erupción pliniana que ha dado probablemente lugar a la formación de la caldera actual del volcán. Encima de este depósito (Fig. 3.5) sobreyace una capa de cenizas de 80 cm de espesor y dos niveles de caída de lapilli pómez y cenizas de 14 y 18 cm de espesor, ligados a erupciones freatomagmáticas y vulcanianas. Encima de estos depósitos se distingue una capa de caída pliniana de 1.2 m de espesor datada en 7480 ± 40 años B.P. (Thouret et al., 2005), constituida de lapilli pómez dacíticos (16 cm de diámetro máximo) con abundantes fragmentos líticos centimétricos. Encima de este ultimo depósito afloran dos capas de caídas de lapilli pómez emplazadas hace algunos miles de años. Encima aflora una capa de lapilli fino de color blanquecina de 90 cm de espesor.



3.7 Secuencia de caída de tefras que aflora en la zona de Sacohaya.

Según las características de los depósitos emitidos en los últimos miles de años la actividad del Ubinas ha consistido en erupciones sub-plinianas, freatomagmáticas y vulcanianas que han generado depósitos piroclásticos, principalmente de caída distribuida en el flanco sur.

El depósito de la última erupción pliniana del Ubinas, datada en aproximadamente 980 ± 60 años B.P. (Rivera et al, 1998), alcanza 4.5 m de espesor a 6 km al SE del cráter (Fig. 3), y a 40 km al SE del volcán alcanza 25 cm de espesor. Está constituido de pómez andesíticos de 2 a 18 cm de diámetro y fragmentos líticos andesíticos de 1 a 8 cm de diámetro. Este depósito presenta una granoclasificación inversa. Entre 60 y 100 cm de la base del depósito, existen dos capas delgadas de lapilli y cenizas de color rosado de 10 cm de espesor ligados a eventos freáticos producido durante la erupción pliniana. Este depósito cuyo volumen es de $\sim 2,8 \text{ km}^3$ fue probablemente dispersado en un lóbulo cuyo eje estaba dirigido hacia el SE. Encima de este último depósito pliniano existen al menos dos capas de caída de lapilli pómez y fragmentos líticos de 60 y 80 cm de espesor (a 6 km al SE del cráter). La presencia de bloques juveniles densos, con superficies vitreas ovaladas y fracturas radiales sugiere eventos freatomagmáticos a lo largo del proceso eruptivo.

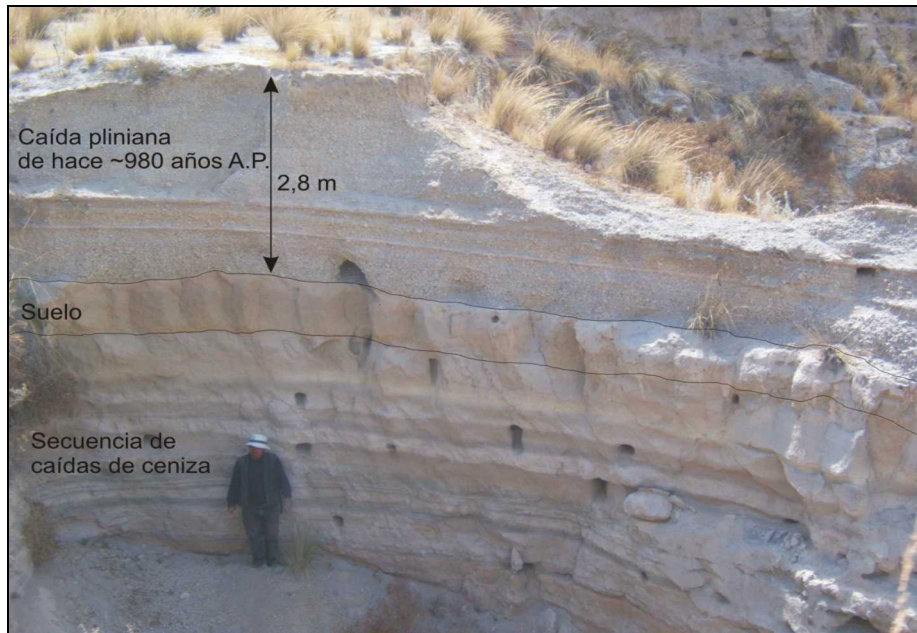


Fig. 3.7 Secuencia piroclástica visible en el sector de Corohuayo (6.5 km al Este del Ubinas), en el cual se distingue el depósito de caída pliniana de hace 980 años que cubre delgados niveles de cenizas grises.

IId: Colapso de flanco sur (~3670 ka)

Hace ~ 3670 años \pm 60 A.P. (Rivera et al., 1999), se produjo un segundo colapso del flanco sur del volcán que generó depósitos de avalanchas de escombros. Estas avalanchas de escombros de ~ 1,6 km³ afloran hasta 6 km al pie de la pared sur del Ubinas. Estos depósitos forman hummocks de 40 a 80 m de altura, y están constituidos de bloques de lava fracturados de hasta 10 m de diámetro, incluidos dentro de una matriz limosa. Algunos bloques están hidrotermalizados. La edad de 3670 años \pm 60 A.P. fue obtenida por la datación C¹⁴ de un trozo de carbón encontrado en la base de la avalancha, cerca de Querapi (4000 msnm).

Ile: Erupciones históricas (900 años)

Los últimos 900 años B.P. se ha producido el emplazamiento de variados depósitos, principalmente de caídas de cenizas de poco volumen <0.1 km³, ligados a una intermitente actividad eruptiva de tipo freática, freatomagmática y vulcaniana. Los depósitos son delgados y están constituidos de lapilli pómez y cenizas grises, algunas veces removidas, y fragmentos líticos centimétricos alterados e hidrotermalizados. Estos depósitos yacen sobre los flancos del volcán, caldera del volcán y sobre la altiplanicie volcánica, distribuidos hasta una distancia de 15 km hacia el O, N y NE del cráter.

Depósitos preservados y relatos históricos ocurridos los últimos 500 años muestran que el Ubinas tuvo al menos 24 episodios eruptivos de bajo Índice de Explosividad

Volcánica (IEV 1 - 3) y crisis fumarólicas, con una recurrencia de 3 a 6 eventos por siglo, considerándolo como el volcán más activo del Perú durante los últimos 5 siglos (Rivera et al., 1998; Simkin and Siebert, 1994; Hantke and Parodi, 1966). Un depósito de flujo de escorias de color gris que mide 1 m de espesor y emplazado a 1 km al Oeste del cráter corresponde a la erupción de tipo Saint Vincent, ocurrido en 1677 (VEI 3, según Simkin and Siebert, 1994). Este depósito reposa sobre la téfra dacítica del volcán Huaynaputina (erupción AD 1600). Durante el siglo XX se han repertoriado al menos 6 crisis fumarólicas y/o emisiones de cenizas, ligadas a eventos de tipo freático y freatomagmático. La última crisis de tipo fumarólica ligado a una desgacificación del Ubinas ha sido observada en diciembre de 1995 y se acentuó en abril de 1996 (Thouret et al., 1996, Rivera et al., 1998).

Las erupciones producidas durante la época histórica han emitido cenizas que ocasionaron daños considerables en terrenos de cultivo, fuentes de agua, centros poblados situados alrededor del volcán. Han causado la muerte de más de 10 personas y la desaparición de ganados a consecuencia de haber ingerido alimentos mezclados con cenizas. También, las cenizas se mezclaron frecuentemente con el agua y se transformaron en lahares destruyendo cultivos localizados en la parte baja del valle de Ubinas.

Actividad 2006 - 2009

Entre julio de 2005 y 27 de marzo 2006, el volcán Ubinas presentó un incremento ligero en la emisión de gases, que se elevaban entre 100 y 300 m por encima de la caldera. Del 27 de marzo al 18 de abril, el Ubinas empezó a emitir gases y cenizas finas en forma de columnas eruptivas que alcanzaron hasta 1000 m de altura, siendo dispersadas a más de 7 km alrededor del volcán. Las cenizas emitidas en este tiempo contienen un alto porcentaje de fragmentos de lavas alterados e hidrotermalizados que formaban parte del conducto y/o el sistema hidrotermal del volcán. Estas características sugieren que el Ubinas hasta esa fecha presentó una actividad de tipo freática freatomagmática. A partir del 19 de abril el Ubinas cambió a un régimen magmático, primero con la emisión de lava de muy poco volumen en el fondo del cráter, y luego a partir del 20 de abril, con emisiones de columnas de cenizas que ascendieron entre 2800 y 3000 m de altura sobre la cima. Además, ocasionalmente se registraron explosiones con la proyección de bloques balísticos de hasta 2 m de diámetro que alcanzaron distancias de hasta 0.5 km del cráter.



Fig. 3.8 Foto del fondo del cráter del Ubinas tomada el 19 de abril del 2006.

Esta actividad explosiva importante se mantuvo durante los meses de abril a agosto del 2006, con emisiones de ceniza en formas de plumas volcánicas que excepcionalmente ascendieron hasta 3500 y 4000 m sobre la cima (29 de mayo; 02, 18, 23 de junio; y 19 de julio), siendo luego dispersadas preferentemente al Norte, Oeste y SE del volcán hasta una distancia mayor de 50 km. Desde el mes de septiembre 2006 hasta fines de diciembre del 2008 en general la actividad del Ubinas disminuyó.

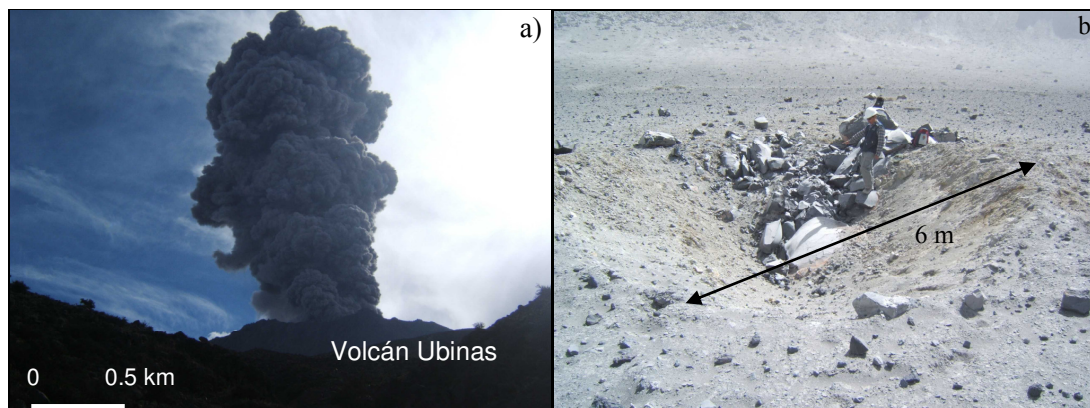


Fig 3.9. a) El 20 de abril de 2006 el Ubinas emite una columna de cenizas que alcanza 3 km de altura sobre la cima. b) Una bomba de 2 m de diámetro et un crater de impacto de 6 m a una distancia de 300 m del cráter. Foto J. Mariño del 06 de Mayo del 2006.

Según las características de estas erupciones moderadas y los productos emitidos, la mayoría de estos eventos probablemente se debieron a la descompresión de gases atrapados por debajo de un “tapón de lava” que sellaba el conducto volcánico. Estas

características y la composición del magma andesítico actual, sugieren un comportamiento eruptivo moderado de tipo vulcaniano.

3.4.3 DEPÓSITOS VOLCANOCLÁSTICOS RECIENTES

3.4.3.1 Lahares

Estos depósitos se encuentran distribuidos en las quebradas que descienden por los flancos del volcán. Están constituidos de bloques de lava y grava, incluidos dentro una matriz fina areno-limosa. Poseen espesores de 1 a 6 m, y se prolongan a distancias de 4 a 5 km del volcán, hacia donde disminuyen de espesor. Además lahares se encuentran hasta una distancia de 10 km del cráter (actual cauce del río Ubinas), en donde se encuentran formando terrazas escalonadas que hacen un espesor total de hasta 4 m. En general los lahares debieron generarse durante lluvias fuertes o también debieron provenir de las interacciones entre los productos eruptivos calientes y una parte de la nieve y el agua que se encontraban en la cumbre y caldera del volcán, o después de erupciones.

3.4.4 OTROS DEPÓSITOS

3.4.4.1. Depósitos aluviales

A lo largo del valle de Ubinas se distinguen más de cuatro niveles de terrazas aluviales que descansan a ambos márgenes del río Ubinas. Estas se depositaron sobre avalanchas de escombros del Pleistoceno superior. En dicha zona las terrazas aluviales tienen un espesor total de 5 a 20 m. Litológicamente están conformado por una gran variedad de gravas, bloques lávicos (0,05 a 2,2 m de diámetro) y fragmentos subredondeados y subangulosos, englobados dentro de una matriz limo arcillosa poco compactada.

Por otro lado dentro del valle de Para (margen izquierda del río Para) existen pocas terrazas (entre 3 y 6 m de espesor) que tienen un espesor total de 10 m. Estos depósitos se encuentran constituidos por sedimentos finos y bloques de lava e ignimbritas subredondeados de hasta 1,5 m de diámetro.

3.4.4.2. Depósitos coluviales

A lo largo de la margen izquierda del río Para (sobre todo en áreas comprendidas entre los 2800 a 3300 msnm.) se tienen depósitos coluviales. Estos depósitos se encuentran cubriendo terrazas aluviales. Se caracterizan por presentar clastos que van desde bloques a limos heterogéneos y sueltos, producto de la erosión y meteorización de las rocas circundantes. Además dentro de dichos depósitos se encuentran lapilli y cenizas removidas pertenecientes a caídas de tefras.

3.4.4.3. Morrenas

Sobre la altiplanicie lávica (al pie del flanco Oeste del volcán), yacen depósitos glaciares o morrenas. Estas morrenas predominantemente están constituidas de bloques de lava y escasos sedimentos limo-arcillosos. Dichas morrenas se encuentran dispuestas en montículos que cubren áreas de 0.4 a 0.8 km².

PETROGRAFÍA Y GEOQUÍMICA

4.1 PETROGRAFÍA

Un total de 54 muestras fueron recolectadas alrededor del volcán Ubinas. Estas muestras fueron analizadas y cada muestra fue situada en su respectiva unidad estratigráfica. Los productos del cono de la cumbre, primera etapa de edificación del Ubinas, son esencialmente constituidos de coladas de lava; mientras que los productos pertenecientes a la segunda etapa de edificación (caldera de la cumbre) son representados por depósitos piroclásticos, provenientes de caídas y flujos, en forma de pómez, escorias y bombas.

La descripción petrográfica se centra más particularmente sobre las muestras seleccionadas para efectuar los análisis químicos.

4.1.1 Ubinas I

Como ya se vio anteriormente, en esta tapa se emplazaron flujos de lava en bloques (Ubi-82, 79). Macroscópicamente, estas lavas son masivas y presentan un color gris claro a gris oscuro.

Estas rocas tienen una textura porfirítica. El tamaño de los fenocristales varia entre 150 μm y 1.5 mm. Los fenocristales de plagioclasa son las más abundantes; ellos son euhedrales a subhedrales y a veces contienen inclusiones de apatita y óxidos. Además, estas lavas contienen fenocristales de anfíbol de forma subhedral (frecuentemente desestabilizados y rodeados de óxidos). El clinopiroxeno (augita) está presente en los términos más básicos e intermedios, y aparece casi siempre en equilibrio con la matriz. Los ortopiroxenos son subhedrales y euhedrales. En los términos intermedios a veces estos coexisten con el clinopiroxeno. Los óxidos de Fe-Ti de tamaño inferior al milímetro están presentes, tanto en la matriz, como en forma de inclusión en el clinopiroxeno, ortopiroxeno, anfíbol y raramente en la plagioclasa.

La matriz de la mayoría de muestras está constituida de un vidrio gris a gris oscuro, y en algunos se distinguen microlitos, en muy poca cantidad. En algunas facies andesíticas aparecen agregados glomeroporfíricos constituidos de piroxenos, óxidos y plagioclasas (Ubi-79, 10).

4.1.2 Ubinas II

4.1.2.1 Lavas del cono superior

El cono superior del volcán está constituido esencialmente por coladas de lava en bloques (Ubi-20, 22a, 22b, 29, 33, 34, 35, 41, 62). Macroscópicamente, estas lavas son masivas y presentan un color gris claro a gris oscuro.

Estas rocas tienen una textura porfírica a microlítica fluidal. La paragénesis mineral consta de fenocristales de plagioclasa, anfíbol, clinopiroxeno, ortopiroxeno, biotita y óxidos de Fe-Ti. Las plagioclasas son euhedrales a subhedrales y a veces contienen inclusiones finas de apatito y óxidos. Asimismo, se distinguen fenocristales de anfíbol bruno de forma subhedral (frecuentemente desestabilizados y rodeados de óxidos), y la biotita subhedral (Ubi-20, 35). El clinopiroxeno (augita) está presente en los términos más básicos e intermedios (Ubi-20, 29, 34, 35), y aparece casi siempre en equilibrio con la matriz. Los ortopiroxenos son subhedrales y euhedrales. En los términos intermedios a veces estos coexisten con el clinopiroxeno. Los óxidos ferro-titaníferos de talla inferior al milímetro están presentes, tanto en la matriz, como en forma de inclusión en el clinopiroxeno, ortopiroxeno, anfíbol y raramente en la plagioclasa.

La matriz de la mayoría de muestras está constituida de un vidrio gris. Algunas presentan microlitos de plagioclasa. En algunas facies andesíticas aparecen agregados glomeroporfíricos constituidos de piroxenos, óxidos y plagioclasas (Ubi-20, 62). La mineralogía es relativamente constante, solo las proporciones de las fases mineralógicas son susceptibles de variar en dichas rocas.

4.1.2.2 Domos de Lava

Estas rocas tienen una textura porfírica. La paragénesis mineral consta de fenocristales de plagioclasa, anfíbol, biotitas y óxidos de Fe-Ti. Las plagioclasas son euhedrales a subhedrales y a veces contienen inclusiones finas de apatito. Asimismo, se distinguen fenocristales de anfíbol bruno de forma subhedral (frecuentemente desestabilizados y rodeados de óxidos), y la biotita subhedral (Ubi-20, 35). Los óxidos ferro-titaníferos de talla inferior al milímetro están presentes, tanto en la matriz, como en forma de inclusión en el anfíbol y raramente en la plagioclasa. Estas rocas son andesitas.

4.1.2.3 Depósitos de la Caldera de la Cumbre

Entre los depósitos piroclásticos de la Caldera de la Cumbre se distinguen esencialmente caídas plinianas constituidos de pómez blanquecinos, porfíricos y poco vesiculadas (Ubi-26, 49, 48, 127, 128, 99-02, 99-03, 99-04). Estas pómez presentan una textura vítroclástica y porfírica. Las vesículas frecuentemente presentan un tamaño considerable (algunos milímetros de diámetro) y son poco alargadas y deformadas. Los fenocristales miden menos de 1.4 mm.

En los términos básicos (Ubi-99-02, 99-03, 99-04), la matriz está constituida de un vidrio gris donde la mayoría de fenocristales son fragmentados. Los fenocristales de plagioclasa subhedrales, a menudo de forma tabular son ópticamente zonados y ciertos contienen inclusiones de óxidos y anfíbol. El ortopiroxeno subhedral aparece en muy poca proporción. El anfíbol aparece como fenocristal de forma alargado y subhedral. Estos presentan bordes nítidos y contienen inclusiones de óxidos. Los óxidos ferro-

titaníferos están presentes en forma de microcristales en la matriz y en inclusiones en ciertos minerales nombrados precedentemente. Estos productos de caídas piroclástica son andesitas.

En los términos ácidos, la matriz está constituida de un vidrio incoloro donde la mayoría de fenocristales son subhedrales producto de la fragmentación del magma. Los fenocristales de plagioclasa subhedrales, a menudo en forma alargada, son a veces ópticamente zonados. La biotita está presente en forma subhedral y presenta pequeñas inclusiones de óxidos y plagioclasa. En ciertos casos (Ubi-26) se resalta la presencia de algunos microcristales de feldespatos potásico y cuarzo libre en la matriz. Los óxidos ferro-titaníferos se presentan en forma de fenocristales libres en la matriz y como inclusiones en la biotita y raramente en la plagioclasa. Estos productos de caída piroclástica son riolitas.

La pómez de la caída pliniana datada en ca. 980 ± 60 años B.P. contiene esencialmente pómez pocas fibrosas, porfíricas y de color amarillento (Ubi-5a, 6, 12, 14, 15, 16, 113, 115). Estas pómez en general presentan una textura vítrea y porfírica. Ellos son fuertemente vesiculados (aproximadamente 30 - 40%). La matriz está constituida de un vidrio incoloro donde la mayoría de los fenocristales están fragmentados. Los fenocristales miden menos de 1,5 mm. Los fenocristales de plagioclasa son predominantes y se encuentran en forma subhedral, y a veces son ópticamente zonados. El ortopiroxeno, aparece en forma de grandes fenocristales subhedrales (<1.2 mm) y a veces son rodeados de óxidos. El anfíbol bruno se presenta en forma tabular subhedral, a veces maclado. Ciertos fenocristales de anfíbol contienen inclusiones de plagioclasa y óxido. La biotita está a menudo en forma de cristales subhedrales en muy poca proporción y ocasionalmente presenta inclusiones de óxido y plagioclasa. Los óxidos ferro-titaníferos aparecen en diversas formas, tanto como fenocristales anhedral en la matriz, como inclusiones en los anfíboles, ortopiroxenos y raramente en las plagioclasas.

En la matriz existe una gran proporción de microlitos de plagioclasa y de los minerales citados anteriormente. Existen agregados glomeroporfíricos de anfíbol y agregados de piroxeno y plagioclasa (pómez de la base y medio del depósito).

4.1.2.4 Depósitos piroclásticos de edad histórica (< 1000 años)

Según el estudio estratigráfico, dos tipos de depósitos piroclásticos históricos son distinguidos:

a. Caídas piroclásticas: bombas y escorias

Macroscópicamente estas rocas piroclásticas (Ubi- 28, 30, 38, 39) son de color gris a gris oscuro. Se observa a menudo bloques de escorias y bombas en forma de corteza de pan.

Estas rocas presentan una textura microlítica porfírica a microlítica fluidal. En la mayoría de casos, la matriz está constituida de un vidrio bruno oscuro (Ubi-28,39) a gris oscuro (Ubi-38,30). Estas lavas contienen fenocristales de talla variable (100 μm a 1.5 mm) y una gran cantidad de microlitos (Ubi-28, 38, 39). Estas rocas presentan entre 10 y 20% de vesículas deformadas de algunos milímetros de diámetro. Los fenocristales de plagioclasa son predominantes y de forma euhedral a subhedral. Estos son frecuentemente zonados y presentan a menudo inclusiones de apatito. Ellos muestran a veces un manto de inclusiones vitrosas mas o menos grueso (10-40 μm). Los cristales de clinopiroxeno (augita) euhedrales a subhedrales son abundantes. Ellos son a veces rodeados de óxidos. Algunos presentan discretas figuras de reabsorción, mostrando su desequilibrio con la roca que la hospeda (Ubi-28). El ortopiroxeno a menudo de forma subhedral está en poca proporción (Ubi-30,39). En ciertas muestras (Ubi-39), se observa fenocristales de ortopiroxeno con una aureola de augita. El anfíbol a menudo de forma subhedral es frecuentemente rodeado por óxidos (Ubi-28, 38, 39, 30). En los términos más básicos (Ubi-39) se observan también xenocristales de olivino que son rodeados de microlitos de plagioclasa y que reaccionan con la matriz. Los óxidos ferro-titaníferos están presentes en forma de fenocristales libres en la matriz y como inclusión dentro de los clinopiroxenos.

La matriz contiene microlitos de plagioclasa y minerales citados anteriormente. Estos productos de caída son andesitas y andesitas básicas.

b. Coladas piroclásticas de cenizas y escorias de edad histórica

Macroscópicamente estas rocas (Ubi-77, 19, 31, 37) son de color negro a gris oscuro. Se distingue a menudo bloques de escorias que presentan una gran cantidad de vesículas subredondeadas.

Estas rocas presentan una textura microlítica porfírica y porfírica. La matriz está constituida de un vidrio gris a bruno oscuro. Dentro de estas rocas se puede observar fenocristales de tamaño variable (100 μm a 1.2mm) y una gran cantidad de microlitos. Los fenocristales de plagioclasa subhedrales a euhedrales son a veces ópticamente zonados y presentan inclusiones de apatito. Los cristales de clinopiroxeno euhedrales a subhedrales (augita) son abundantes y a veces maclados. El ortopiroxeno subhedral se encuentra en muy poca proporción. Se observa también microfenocristales de olivino subhedrales, en equilibrio con la matriz. Los óxidos ferro-titaníferos están presentes en forma de microcristales y como inclusiones en el clinopiroxeno y olivino.

La matriz contiene microlitos de plagioclasa y de minerales citados anteriormente. Estos flujos piroclásticos son de naturaleza andesítica básica.

4.1.2.5 Depósitos emitidos en la crisis 2006 - 2009

Se analizaron fragmentos de lava (Ubi-13, 14), emitidos los días 7 y 29 de mayo durante explosiones presentadas por el Ubinas. Macroscópicamente, estos son de color

gris oscuro, algunos escoráceos y otros densos. Microscópicamente, estas rocas presentan texturas porfíricas y traquíticas.

En estas rocas se distinguen fenocristales de plagioclasa de formas alargadas, con hábitos subhedral y euhedral, de hasta 2 mm. Algunas de estas plagioclasas están zonadas. También se distinguen fenocristales de clinopiroxeno y ortopiroxeno miden hasta 2 mm. En general presentan bordes limpios, y algunos contienen inclusiones de plagioclasa. A veces se distinguen aglomerados de fenocristales de plagioclasa, clinopiroxeno, ortopiroxeno y óxidos que están reaccionando entre si. Los óxidos están como microcristales principalmente en la matriz. Los fenocristales de olivino tienen forma subhedral y miden menos de 200 μm . Además se distinguen xenocristales de biotita que presentan gruesos bordes de óxidos. Algunos están completamente desestabilizados en óxidos.

Según estas características las muestras emitidas por el Ubinas son de composición andesítica. La presencia de algunos xenocristales de biotita con gruesos bordes de óxidos y presencia de aglomerados de plagioclasa, piroxenos y óxidos, probablemente puede sugerir procesos de mezcla de magmas, entre dos magmas químicamente diferentes entre si, que influenciaron en la generación del proceso eruptivo (Rivera et al, 2007).

4.2 GEOQUÍMICA

Un total de 8 análisis químicos por elementos mayores han sido realizados en el Laboratorio de Química del INGEMMET, mientras que 8 análisis químicos por elementos trazas han sido realizados en los laboratorios de SGS. Todos los elementos mayores han sido analizados por fluorescencia de rayos X. Mientras que los elementos trazas han sido analizados por ICMS90 y por fluorescencia de rayos X. Además en este estudio se tomaron 26 análisis químicos de Rivera et al., 1998 y Thouret et al., 2005. Todas las muestras pertenecientes al Ubinas fueron ordenados en orden cronológico dentro de la secuencia estratigráfica.

Los resultados de los análisis químicos son representados en diagramas de clasificación clásica de rocas volcánicas, como el diagrama TAS ("Total Alcalis vs Silice") de Le Bas *et al.*, (1986), diagrama de Miyashiro (1974) y diagrama triangular de AFM de Kuno (1968), Figs. 4.1, 4.2, 4.3.

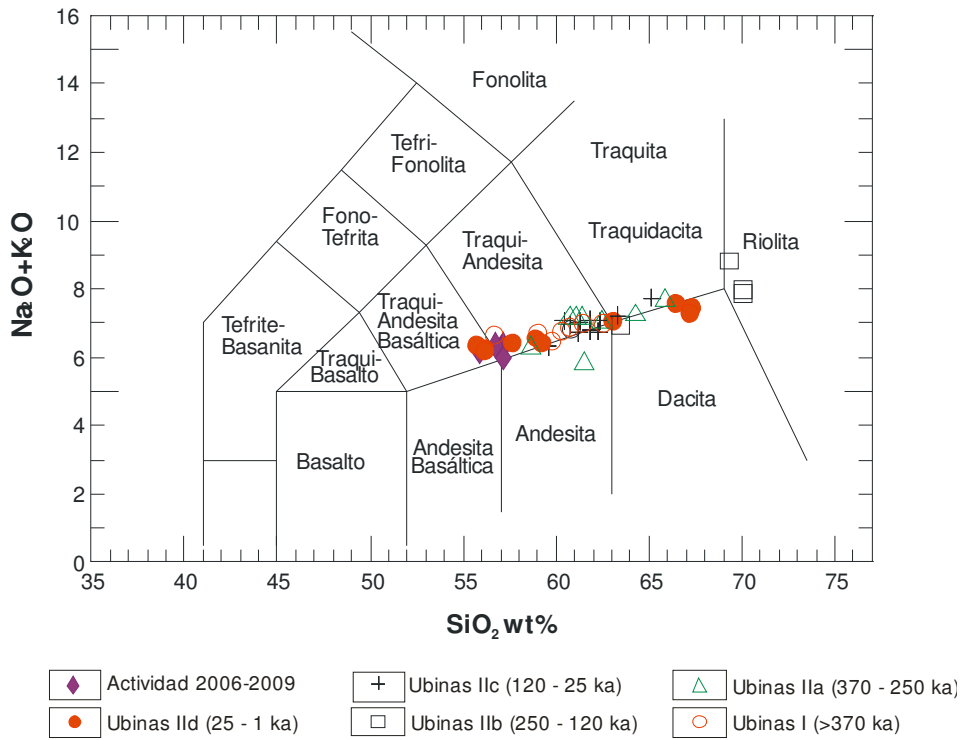


Fig. 4.1 Clasificación de rocas del volcán Ubina en el diagrama TAS (Alcalis Total vs Silice) de Le Bas et al., (1986).

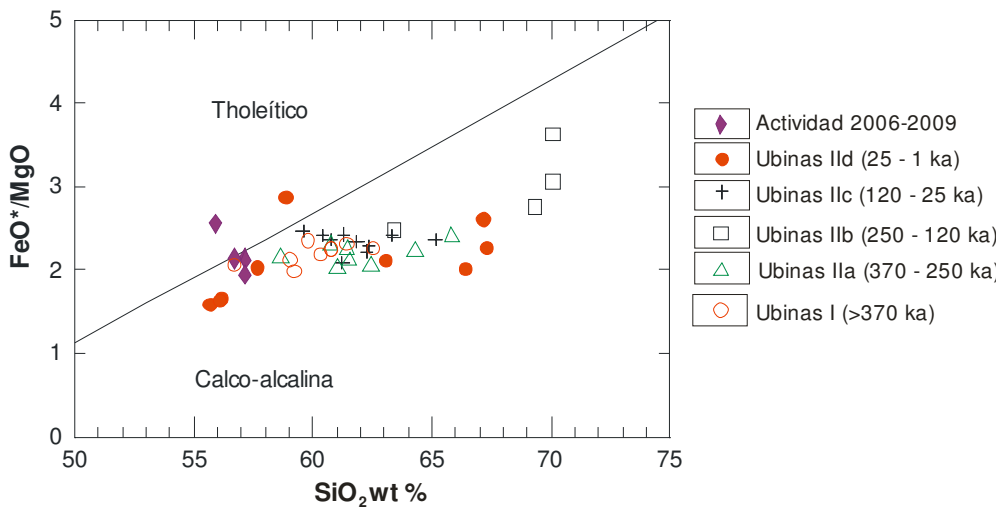


Fig. 4.2 Clasificación de la serie del volcán Ubina en el diagrama FeO*/MgO vs. SiO₂ de Miyashiro (1974).

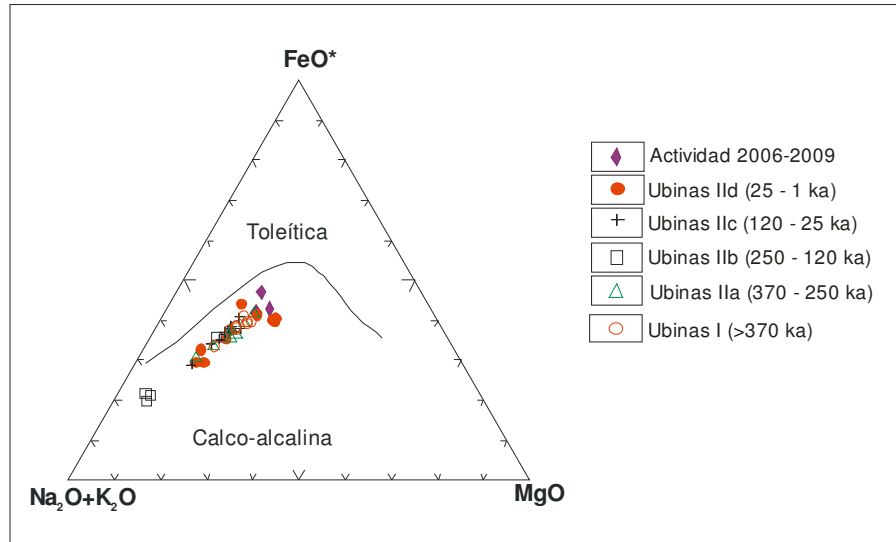


Fig. 4.3 Composición de rocas del volcán Ubinas en el diagrama AFM (A=Na₂O + K₂O; F=FeO*; M=MgO de Kuno (1968), indicando el carácter calco-alcalino del conjunto de rocas.

Según estos diagramas, la totalidad de rocas del Ubinas son constituidas de traquiandesitas basálticas, traquiandesitas, traquidacitas, andesita y dacitas (55.71 - 70.10 % SiO₂), altamente potásicas (2.12 - 4.84 %K₂O).

El carácter calco-alcalino de las rocas es claramente mostrado en las Figs. 4.2 y 4.3. El diagrama FeO*/MgO = f(SiO₂) de Miyashiro (1974; Fig. 4.2), muestra bajos valores en la relación FeO*/MgO y además, en el triangulo AFM de Kuno (1968; Fig. 4.3), se observa una línea de enriquecimiento en alcalisis, clásico de la series calco-alcalinas.

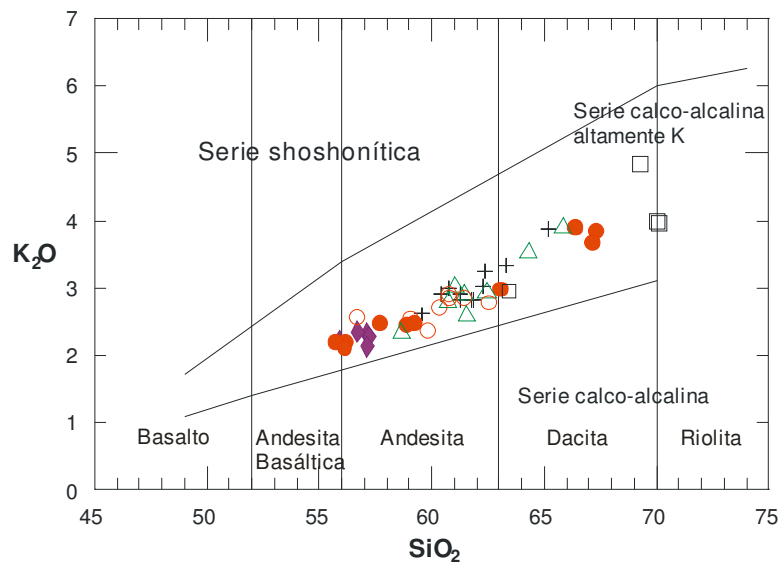


Fig. 4.4 Composición de rocas del volcán Ubinas en el diagrama K₂O en función de SiO₂ de Peccerillo y Taylor (1976).

Por otro lado, en el diagrama K_2O en función de SiO_2 de Peccerillo y Taylor (1976; Fig. 4.4), se observa que las lavas y rocas piroclásticas del volcán Ubinas pertenecen a la serie calco-alcalina rica en potasio, característico de los estratovolcanes de la Zona Volcánica Central de los Andes (CVZ), y del sur peruano; como los estratovolcanes Misti (Legendre, 1999), Huaynaputina (Eissen *et al.*, 1996) y Ubinas (Thouret *et al.*, 2005).

4.2.1 Evolución de los elementos mayores

Los análisis de los elementos mayores han sido recalculados en base anhidra y al 100%, mientras que el hierro es expresado en forma de hierro total (Fe_2O_3). Además en los diagramas de Harker (Fig. 4.5) para los elementos mayores la sílice ha sido utilizada como índice de diferenciación, ya que esta muestra un variado espectro de composición y permite de visualizar más claramente las variaciones.

Las lavas del cono inferior: Ubinas I (Ubi-18, 20, 35) son rocas de composición ácida e intermedia, en donde el porcentaje en SiO_2 varía de 58.6 a 65.8% y el porcentaje en K_2O de 2.1 a 4.8%.

Las lavas del cono de la cumbre: Ubinas II (Ubi-18, 20, 35) son rocas de composición ácida e intermedia, en donde el porcentaje en SiO_2 varía de 58.6 a 65.8% y el porcentaje en K_2O de 2.1 a 4.8%.

Los depósitos piroclásticos de la caldera de la cumbre (Ubi- 8, 99-04) son rocas de composición ácida e intermedia, donde el porcentaje en SiO_2 varía de 62.3 a 65.2 % y el porcentaje en K_2O de 3.0 a 3.9 %. Las tefras de la actividad 2006-2007 (Ubi- 5a, 6, 9, 15, 12, 14, 16) son rocas de composición intermedia. Estas rocas presentan un porcentaje en SiO_2 de 59.6 a 61.9 % y un porcentaje en K_2O de 2.8 a 3.0 %. Finalmente los productos piroclásticos de edad histórica (Ubi- 17, 19, 28, 30, 31, 38, 39).

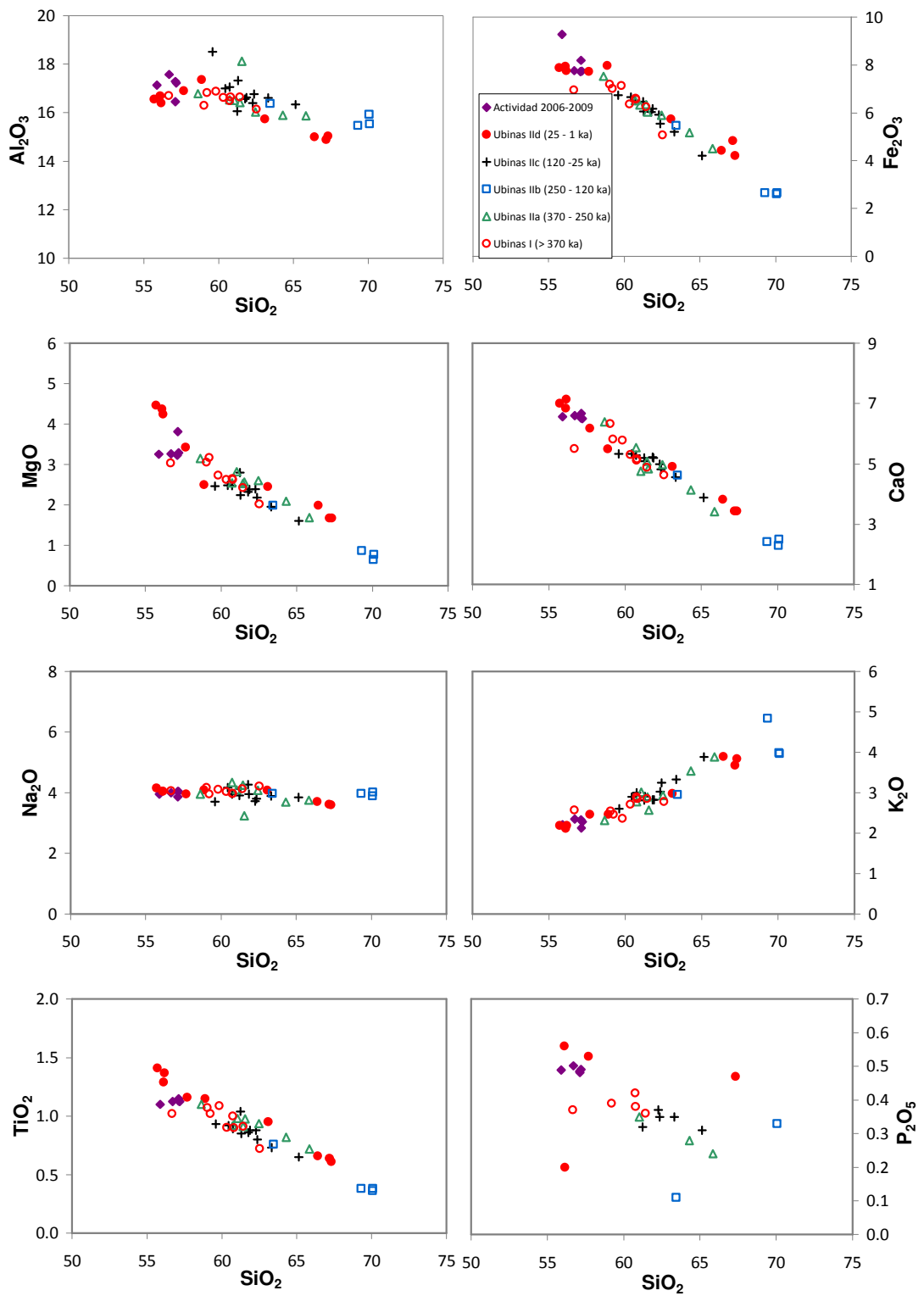


Fig. 4.5 Diagramas de Harker, mostrando la evolución de la serie del volcán Ubinas.

En los diagramas de Harker (Fig. 4.5) podemos visualizar que la evolución es marcada por una disminución de CaO, MgO, Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂, P₂O₅, la estabilidad del MnO y Na₂O y el aumento de K₂O con el aumento en SiO₂. La tendencia general de los principales óxidos en las andesitas básicas hasta las riolitas parece compatible con un proceso de cristalización fraccionada.

La disminución de los porcentajes en MgO y Fe₂O₃ con el aumento en SiO₂ puede ser ligada al fraccionamiento temprano del olivino y piroxenos, seguido del anfíbol y la biotita.

El conjunto de rocas muestra una relación decreciente de CaO en función de SiO₂. Esta evolución del porcentaje en CaO puede corresponder a la cristalización temprana de los clinopiroxenos y plagioclasas, seguido del anfíbol en los términos más evolucionados de la serie. La plagioclasa es responsable del fraccionamiento de Al₂O₃. En el diagrama Al₂O/SiO₂, una primera inflexión de pendiente tiene lugar a 62% de SiO₂, lo que podría marcar una influencia predominante del fraccionamiento de la plagioclasa y el paso de un ensamble clinopiroxeno + plagioclasa a plagioclasa + anfíbol.

El porcentaje en P₂O₅ disminuye a medida que el porcentaje en SiO₂ aumenta, lo que puede ser ligado a un elevado fraccionamiento de apatito durante la diferenciación. El porcentaje de TiO₂ y Fe₂O₃ disminuye en toda la serie indicando el fraccionamiento de la magnetita, ilmenita y en menor medida de la biotita. Dentro de este contexto, la influencia de la biotita durante los últimas etapas de fraccionamiento resta mínima debido ha que el porcentaje en K₂O no ha sido afectado.

Se resalta que no existe una evolución marcada de los porcentajes en elementos mayores en función de la SiO₂ desde el emplazamiento de las lavas del cono de la cumbre (Pleistoceno inferior, datación en proceso) hasta la época histórica. Por el contrario, los diagramas de Harker ponen en evidencia una más grande dispersión de los porcentajes de los productos piroclásticos emplazados durante la época histórica (andesitas básicas a dacitas).

4.2.3 Los elementos trazas

El Rb y Th tienen un comportamiento incompatible durante la diferenciación. Ellos presentan correlaciones positivas con respecto a los porcentajes en SiO₂. Mientras que el Sr es un elemento compatible. En efecto, el Sr es fuertemente incorporados en los minerales que fraccionan. Por ende, ellos presentan correlaciones negativas a medida que aumentan los porcentajes en SiO₂.

El estroncio (Sr) muestra un carácter compatible durante la diferenciación. La disminución de este elemento en el líquido residual es más acentuada al comienzo. El carácter compatible del estroncio durante la diferenciación puede ser atribuido al fraccionamiento de la plagioclasa en una etapa inicial de la diferenciación.

CAPITULO V

ACTIVIDAD VOLCÁNICA HISTÓRICA DEL UBINAS

De acuerdo a los estudios geológicos y vulcanológicos se ha podido observar que el volcán Ubinas es el producto de una intermitente y variada actividad volcánica ocurrida desde el Pleistoceno superior. Eso lo demuestran los depósitos que conforman el actual estrato-cono y sobre todo los depósitos que afloran en la parte baja de los flancos Sur y Sureste. Dicha actividad explosiva se vino prolongando hasta el Holoceno, para continuar durante el siglo XX con intensa actividad fumarólica y algunas emisiones de cenizas, en forma intermitente.

Denominamos "actividad histórica" a la actividad eruptiva ocurrida desde la llegada de los españoles al actual territorio peruano ocurrida en 1530.

Los estudios efectuados sobre la actividad eruptiva histórica del volcán Ubinas están basados en la recopilación de relatos históricos, diarios antiguos de los siglos XVIII y XIX, y encuestas realizadas a pobladores que viven desde las primeras décadas de este siglo. También están basados en el trabajo efectuado por Rivera (1998), y los datos obtenidos de los catálogos "Volcanoes of the world" (Simkin and Siebert, 1994) y "The active volcanoes of Perú" (Parodi and Hantke, 1966). Según estos trabajos el volcán Ubinas presentó 24 eventos volcánicos, referidos a altas emisiones de gases y cenizas, ocurridas durante 5 siglos (desde 1550 hasta la actualidad), con una recurrencia de 4 – 8 erupciones por siglo. La mayoría de las erupciones se caracterizaron por presentar un índice de explosividad volcánica ≥ 1 (Tabla N° 03). Las fechas de tres eventos eruptivos (1778, 1912 o 1913 y 1923 o 1925) no son muy precisas, debido a que los datos fueron encontrados en un artículo y mencionan pocas características de las erupciones. Según estos reportes, el volcán Ubinas en ocasiones ha manifestado intensa actividad fumarólica que provocaron alarma y tensión entre los pobladores del valle de Ubinas, quienes aún padecen de efectos provocados por la actividad de este volcán.

Tabla 03. RESUMEN DE LA ACTIVIDAD HISTÓRICA

AÑO	INICIO	FINAL	TIPO DE ACTIVIDAD	IEV	OBSERVACIONES
1550			Erupción central y explosiva	3 ?	
1599	07 Feb.	22 Feb.	Erupción explosiva moderada	2	Cenizas grises cayeron cerca a Arequipa.
1600			Erupción explosiva		
1662			Erupción explosiva	2 ?	Las cenizas alcanzaron hasta las pampas de Sama y Locumba.
1677			Erupción explosiva de gran magnitud	3	Probablemente cayeron cenizas y flujos de escorias encontradas al NW y N del volcán.

1778			Erupción explosiva		
1784			Erupción central y explosiva	2	Alta actividad fumarólica y emisión de cenizas.
1826			Erupción central y explosiva	2	
1830			Erupción central y explosiva	2	
1862			Erupción central y explosiva	2	
1865			Erupción central y explosiva	2	Emisión de cenizas grises.
1867	24-May	28-May	Erupción central y explosiva	2	
1869		Octubre	Erupción central y explosiva	2	
1906		Octubre	Erupción central y explosiva	2	
1907		Octubre	Erupción central y explosiva	2	
1912-1913 ?			Erupción central y explosiva	2	Cenizas cayeron sobre Ubinas, Chojata y Yalahua afectó tierras de cultivo y murieron ganados por epidemias.
1923-1925 ?			Erupción explosiva		Cenizas grises cayeron cerca a la ciudad de Arequipa.
1936	03 Ene.	Julio	Erupción explosiva y fumarólica	2	En el valle de Ubinas las cenizas destruyeron los cultivos.
1937	Mayo	Julio	Erupción central y explosiva	2	Las cenizas destruyeron terrenos de cultivo y generaron epidemias en el valle de Ubinas.
1951	Mayo	21 Oct.	Erupción central y explosiva	2	En el valle de Ubinas las cenizas causaron daños.
1956	Junio		Erupción explosiva y fumarólica	2	Emisión de cenizas causaron daños en los terrenos de cultivo y en poblados del valle de Ubinas.
1969	Mayo	Dic. ?	Erupción explosiva	2	En el valle de Ubinas las cenizas destruyeron los cultivos y afectaron a la población.
1995-1996	Dic.	Abril ?	Alta actividad fumarólica	1	Alarmó a la población en general, fue reportado por el IGP e IRD.
2006-2009	Marzo	Actual	Actividad explosiva: freatomgámica, vulcaniana y alta actividad fumarólica	1	Las cenizas afectaron la salud de la población. La población de cinco poblados del valle de Ubinas fueron evacuados en junio del 2006.

A continuación se describe las características de los eventos eruptivos registrados desde 1550, en la que se muestra el grado de actividad y los diversos daños que ocasionaron a los diversos poblados aledaños dentro de un radio de 12 km del cráter.

Actividad eruptiva de 1550

Corresponde a la erupción histórica más antigua y según Simkin y Siebert (1994) fue de tipo central y explosiva, con un índice de explosividad volcánica igual a 2 (tabla 2). Posiblemente la edición de estos primeros reportajes se inició con la llegada de los españoles al territorio peruano actual.

Actividad eruptiva de 1599

"Del 7 al 9 de Febrero de 1599 se percibió en el Ubinas intermitentes estruendos. El 9 de Febrero empezó una gran oscuridad, desgarrada por truenos y lluvias; algo aclaró el 11, a las 4 de la tarde, pero el sol volvió a verse únicamente el día 13; y durante 15 días cayeron cenizas en los contornos, amenazando aún a la ciudad de Arequipa". (Tauro del Pino, 1967; Polo, 1899). No existen datos referentes a las magnitudes ni daños ocasionados a los poblados aledaños a este volcán (tabla 2).

Actividad eruptiva de 1600 ?

Esta erupción se encuentra registrada en el catálogo "Volcanoes of the world" (Simkin y Siebert, 1994, tabla 2). Sin embargo se refiere quizás a la erupción del volcán Huaynaputina, ocurrido el 19 de febrero de 1600 D.C. (Thouret et al, 1997). Afirmamos esto porque dichos volcanes se encuentran separados por una distancia de 30 km en línea recta, y los que interpretaron inicialmente debieron ser naturales que vivieron fuera del lugar.

Actividad eruptiva de 1662

En 1662 se registró una gran erupción durante la cual, las cenizas alcanzaron hasta Moquegua, a las pampas de Sama y Locumba ubicadas a 280 km al SW del volcán (Tauro de Pino, 1967). Esta erupción probablemente emitió flujos de escorias y cenizas tipo St. Vincent los que actualmente se encuentran en el flanco NW del volcán. Suponemos que esta erupción debió ser la más grande que tuvo el volcán Ubinas desde el siglo XVI, en donde la dirección y velocidad de viento contribuyeron en el desplazamiento de las cenizas hacia el sur. Según el catálogo "Volcanoes of the world" (Simkin y Siebert, 1994), esta erupción tuvo un índice de explosividad volcánica igual a 3 (Tabla 03), pero se desconoce los daños ocasionados en los poblados aledaños.

Actividad eruptiva de 1677 y 1778

Según el catálogo "Volcanoes of the world" (Simkin y Siebert, 1994), estos eventos eruptivos corresponden a erupciones centrales y explosivas. La erupción de 1677 tuvo un índice de explosividad volcánica igual a 3 (Tabla 03), actualmente se desconoce el alcance que tuvieron sus depósitos. Igualmente sucede con la erupción de 1778, de la cual se desconoce la magnitud, características y alcance de sus depósitos. Esta última fecha de erupción fue obtenida de relatos históricos por pobladores del lugar que posteriormente en 1995 fueron publicados por Juan Valdivia.

Actividad eruptiva de 1784

Según el catálogo "Volcanoes of the world" (Simkin y Siebert, 1994), este evento eruptivo corresponde a una erupción central y explosiva, con un índice de explosividad volcánica igual a 2 (Tabla 03). Este dato es corroborado por Zamácola y Jaúregui quienes acompañaron en visita pastoral (1789), al obispo Chávez de la Rosa al pueblo de Ubinas. Ellos señalaron que "en el pueblo de Ubinas, distante a 30 leguas (de Arequipa) existe un volcán que continuamente está exhalando humo; así lo observamos cuando fuimos aquel pueblo" (Zamácola y Jaúregui, 1789).

Actividad eruptiva de 1826, 1830 Y 1862

Por las características de las actividades eruptivas reportadas por Parodi y Hantke (1966) y Simkin y Siebert (1994), estos eventos eruptivos corresponden a erupciones de tipos centrales y explosivas, con un índice de explosividad volcánica igual a 2 (Tabla 03). Dentro de los datos de archivos recopilados en Arequipa, no tuvimos la oportunidad de conocer el área de proyección de los depósitos ni los efectos provocados por estas erupciones.

Actividad eruptiva de 1865

La erupción de 1865 inicialmente fue reportada por Raymondi, quién visitó Ubinas en Febrero de 1865. Raymondi además dió a conocer las coordenadas del volcán Ubinas. Posteriormente Parodi y Hantke (1966) y Simkin y Siebert (1994), reportan como un evento eruptivo central y explosiva, con un índice de explosividad volcánica igual a 2 (Tabla 03).

Actividad eruptiva de 1867

Según Parodi y Hantke (1966) esta erupción ocurrió entre el 24 y 28 de Mayo de 1867. Simkin y Siebert (1994) la catalogan como una erupción central y explosiva, con un índice de explosividad volcánica igual a 2 (Tabla 03).

Actividad eruptiva de 1869, 1906 y 1907

Las erupciones de 1869 y 1906 ocurrieron en el mes de octubre. Inicialmente estas erupciones fueron registradas por Parodi y Hantke (1966). Según Simkin y Siebert (1994), estos eventos eruptivos corresponden a erupciones centrales y explosivas, con un índice de explosividad volcánica igual a 2 (Tabla 03).

Actividad eruptiva de 1912 - 1913 ?

Por los años de 1912 o 1913 hubo una erupción que duró de 3 a 4 años, la cual perjudicó los terrenos de sembríos y consecuentemente ocasionó la muerte de ganados. Por este motivo muchas familias trataron de establecerse en Arequipa, en salvaguarda de sus vidas e intereses. Durante esta erupción el volcán emitió cenizas negras, por lo menos de tres a cuatro años acompañados de movimientos sísmicos. Inicialmente las nubes de cenizas negras cayeron sobre Ubinas, luego se giraron y se prolongaron hasta Chojata y Yalahua, distantes 18 km al Sureste y Noreste del volcán respectivamente (Benamente,1997 - comunicación oral; Diario El Pueblo, 1936). Por las características descritas en los relatos, inferimos que el índice de explosividad volcánica fue igual o superior a 2 (tabla 2). La erupción de 1912 -1913 ? no fue registrada en el catálogo "Volcanoes of the world" (Simkin y Siebert, 1994).

Actividad eruptiva de 1923 - 1925 ?

El señor Juan Almuelle (Chavéz, 1993) relata: "Por el año de 1923, Arequipa amaneció con ceniza. Era por coincidencia miércoles de ceniza, y las calles estaban llenas de cenizas, que eran del volcán Ubinas. La capa delgada de esta erupción era muy fina y no se observaba claramente en el campo". Según Benamente,1997 (comunicación oral) la erupción consistió en emisiones de cenizas calientes de color gris, estas se prolongaron por Para y Yalahua (Noreste del volcán). Asociados a este evento eruptivo se sintieron movimientos sísmicos de baja intensidad en áreas aledañas (Tabla 03). Posteriormente las cenizas emitidas se mezclaron con el agua formando flujos de barro que se desplazaron por los flancos S y SE, con dirección al valle de Ubinas. Este evento duró casi tres años con niveles variables de la actividad eruptiva.

Actividad eruptiva de 1936

El fenómeno eruptivo consistió en alta actividad fumarólica y emisiones de cenizas grises, además estuvo acompañado con intermitentes movimientos sísmicos de baja intensidad. Por las características descritas de sus depósitos, el tipo y grado de actividad, y los daños provocados le inferimos un índice de explosividad volcánica igual a 2 o 3 (Tabla 03).

Según relatos que se muestran a continuación los pobladores del valle de Ubinas pedían al gobierno central el traslado hacia la zona de la Joya, a fin de protegerse de un gran desastre que amenazaba destruir el distrito. Estos pedidos fueron hechos en años anteriores a 1936, pero lamentablemente no se hizo nada en ese entonces. Los siguientes datos periodísticos de la erupción de 1936 obtenidos del diario "el Pueblo", muestran los efectos o daños que la actividad eruptiva del volcán Ubinas ha causado en el valle de Ubinas, sobre todo en el distrito de Ubinas:

EL VOLCAN UBINAS ENTRO EN ERUPCION ARROJANDO GRAN CANTIDAD DE CENIZAS

La actividad del volcán Ubinas amenaza al pueblo que florece en sus faldas; una gruesa capa de cenizas ha cubierto los terrenos de sembríos malogrando las cosechas.

MEMORIAL PRESENTADO AL GOBIERNO DE REPUBLICA (4 de Enero de 1936)

El pueblo de Ubinas distante 25 leguas de Arequipa, y que más de una vez ha presenciado terroríficas erupciones del volcán del mismo nombre, se halla nuevamente hoy poseído de indescrutable pánico, a consecuencia de que, desde el 3 de los corrientes parece que el Ubinas hubiese entrado en actividad pues durante las primeras horas de la tarde y en el transcurso de la noche surgen del cráter del volcán espesas columnas de fuego intenso y de humo asfíxante; así mismo ha comenzado en los últimos días a caer lluvia de cenizas que están destruyendo totalmente los sembríos y malogrando como consecuencia las cosechas.

Hace algunos años se pensó trasladar al pueblo de Ubinas, a fin de salvar a los moradores de un peligro que amenazaba destruir el distrito, pero desgraciadamente, no se hizo en ese momento nada práctico, hoy que, nuevamente se cierne sobre Ubinas idéntico peligro es prudente dictar las medidas que solicitan los vecinos y conjurar así desgracias que bien pueden presentarse.

Por las informaciones que nos han suministrado, parece que "los fenómenos volcánicos que desde el día tres se suceden con cierta frecuencia en Ubinas, son de carácter alarmante y han provocado el consiguiente pánico entre los numerosos moradores que hoy más que nunca solicitan el auxilio de los poderes públicos, para conseguir que el traslado del pueblo sea en esta vez una realidad". Una comisión especial representativa del pueblo de Ubinas, se ha constituido en ésta ciudad, desde ayer, a fin de dar los pasos tendientes para conseguir el objetivo que persiguen. Esta comisión que esta formada por el gobernador del distrito señor Mariano Valdivia, el juez de paz Florencio Román y del vecino notable Sr. Nicolas Salinas, visitó esta mañana al señor presidente del congreso doctor Revilla, quien recibió con toda amabilidad a la comisión y les ofreció ayudarlos eficazmente a fin de que se dicten las medidas que faciliten el traslado del pueblo, ya sea dándoles parcelas en la Joya o en otro lugar aparente. En presencia de las razones que exponen los vecinos de Ubinas y siendo necesario salvar a toda una población no solo de la miseria que ya se ha cernido por cuanto los sembríos están destruidos, sino también a fin de salvar las propias vidas de los moradores de Ubinas. El memorial en referencia es el siguiente:

Señor ministro de Fomento.

Los suscritos vecinos y naturales del pueblo de Ubinas, capital del distrito del mismo nombre, de la provincia de Moquegua a los cuatro días del mes de enero de mil novecientos treintiseis; con el debido respeto exponemos:

Que en la madrugada del tres del presente se han visto salir llamaradas del cráter del volcán Ubinas, sintiéndose también ruidos y toda la quebrada donde está situado este pueblo y otros caseríos amaneció cubierto de humo que saliendo del cráter desprendía ceniza volcánica. Hace más de 24 horas que ha empezado la erupción y sigue aumentando la intensidad. Los terrenos y sembríos están cubiertos por una espesa capa de ceniza. Como este pueblo y otros de este distrito están situados muy cerca del volcán y en una quebrada que parte de las faldas del mismo, estamos en peligro inmediatamente de perecer abrasados en una erupción de lavas. Todos somos de escasos recursos económicos; y por esta causa y en vista de nuestra aflictiva situación pedimos que el supremo gobierno nos conceda una parcela de terrenos en la irrigación de La Joya para construir nuestras viviendas así como para atender a nuestra subsistencia. **(Diario El Pueblo, Arequipa, 11 de Enero de 1936)**

**MEMORIAL DE LOS VECINOS DE UBINAS A LA PERFECTURA DEL
DEPARTAMENTO DE AREQUIPA**

"Conocedores del peligro que día a día toma mayores proporciones, en lo que respecta a la erupción del volcán Ubinas, y lo efectos de este nos hemos permitido presentar el siguiente memorial, solicitando su valiosa influencia para salvaguardar las vidas de los habitantes de este; suplicándole a la vez obre y labore en bien de los que clamarosamente pedimos haga saber al supremo gobierno nuestra aflictiva situación; a pesar de que hemos trabajado para solucionar éste complejo y difícil problema, pero tenemos a bien recurrir hacia usted, por ser la autoridad más próxima a nuestro pueblo. "Asi mismo cumplimos en comunicar a usted que el día de ayer, siendo las diez y media horas se sintió un fuerte movimiento sísmico acompañados de grande y densa cantidad de humo; lluvia de cenizas, arena y piedras; lo cual ha sembrado el pavor".

Terminan pidiendo se haga publicar su memorial, en el cual suscriben más de sesenta personas de Ubinas, Tonohaya y lugares vecinos (**Diario El Pueblo, Arequipa 30 de Junio de 1936**).

ERUPCION DE 1937

Esta erupción fue reportada en la mayoría de textos y diarios recopilados. Según Simkim y Siebert (1994), esta erupción tiene un índice de explosividad volcánica igual a 2 (Tabla 03). Al igual que los datos mostramos anteriormente, las características de éste evento eruptivo y los daños que provocó, ayudarán en la evaluación de riesgos. A continuación se muestra tres reportes periodísticos obtenidos sobre su actividad:

DESDE HACE OCHO DIAS EL VOLCAN UBINAS SE HALLA EN PERIODO DE GRAN ACTIVIDAD

"Los pobladores del pueblo del mismo nombre se encuentran poseidos de enorme pánico. Los gases expelidos afectaron el ambiente".

"El volcán Ubinas ha entrado de nuevo en actividad. Desde el 8 del mes en curso (Mayo) está arrojando cenizas sobre el sembrío y a la población del pueblo que se asienta a sus faldas sembrando como es natural el pánico entre sus moradores. Día y noche cae una lluvia gris espesa sobre Ubinas a tal extremo que los vecinos están desesperados por este constante tormento y esta amenaza continúa. No sólo los sembríos y los ganados están sufriendo el peligro, sino la vida misma de los naturales está comprometida ya que los gases sulfurosos y demás materias que se desprenden del volcán han infectado el ambiente. Durante ochos meses el

pueblo de Ubinas y sus alrededores habían vivido un tanto tranquilos ya que en ese tiempo el volcán se calmó. Hoy nuevamente ha iniciado tan ingrata labor".

"Los pobladores piden recordar a las autoridades las gestiones que se tienen hechas a raíz de la pasada erupción, para que se cambie el pueblo a una zona que no tenga éste peligro. Sus sembríos, ganados e intereses están expuestos a fuertes pérdidas y peligros que a tiempo hay que conjurarlos si se quiere evitar una penuria y una situación difícil a esa gente que se halla sobresaltada y angustiada" (**Diario "El Pueblo" Arequipa, 25 de Mayo de 1937**).

TRASLADO DEL PUEBLO DE UBINAS

"Por noticias transmitidas por nuestro corresponsal en Arequipa se tiene conocimiento de que nuevamente y desde hace más de ocho días el volcán Ubinas ha entrado en una etapa de gran actividad arrojando enorme cantidad de gases sulfurosos y cenizas que han infectado el ambiente del pueblo que se asienta en sus faldas y han malogrado los sembríos y ocasionando la muerte del ganado. Con este motivo, los pobladores de ese lugar se encuentran llenos de pánico y reiteran la solicitud que presentaron hace ocho meses, cuando ocurrió un fenómeno similar en el sentido de que se disponga por los poderes públicos la traslación del pueblo de Ubinas, pudiendo hacerse a la zona de irrigación de la Joya, ya que sus moradores viven en constante peligro de experimentar los efectos de una intensa erupción volcánica".

"Ante los repetidos perjuicios ocasionados por el volcán Ubinas los habitantes del pueblo inmediato tratan de abandonar el paraje y trasladarse a la región de la Joya..." (**Diario El Pueblo, Arequipa, 10 de junio de 1937**).

DESDE PUNO SE VEN LAS DENSAS COLUMNAS DE HUMO QUE SALEN DEL VOLCAN UBINAS

Lo que revela la gran actividad en que se encuentra. "Muchas personas y numerosos indígenas que han llegado a las alturas de los cerros de San Antonio y Esquilache manifestaron, que desde dichos lugares pueden apreciarse densas columnas de humo que desde hace días lanza el volcán Ubinas, los cuales revela que se halla en actividad" (**Diario El Pueblo, Arequipa, 15 de Junio de 1937**).

***SE SOLICITARA EL ENVIO DE UNA COMISION PARA ESTUDIAR LA
ACTIVIDAD DEL VOLCAN UBINAS***

"Desde el 9 de Mayo último, como ya hicimos conocer a nuestros lectores oportunamente se encuentra el volcán Ubinas en período de gran actividad arrojando diariamente grandes cantidades de humo y cenizas que al caer lo cubren todo y de vez en vez lenguas de fuego". "Este fenómeno como es fácil de suponerse tiene sumidos a los pobladores de Ubinas y pueblos cercanos situados en las faldas del volcán, en verdadero temor y a medida que aumenta la actividad volcánica que se va apoderando de ellos gran pánico. Esto en cuanto a la fase moral del asunto, en cuanto a la materia es realmente calamitosa, pues, las cenizas volcánicas han cubierto los terrenos de cultivo, quemando las sementeras y dejándoles estériles. Como consecuencia se ha producido la falta de forraje por lo que los ganados se han enfermado. Y finalmente hasta el agua del río que se utiliza para los usos domésticos y como bebida se halla contaminada por las cenizas, presentando una coloración parecida a la de la tinta, a pesar de la cual tiene que ser consumida, desde luego, con grave peligro para la salud" (**Diario El Pueblo, Arequipa 22 de Junio de 1937**).

Actividad eruptiva de 1951

Al igual que la anterior erupción, la erupción de 1951 fue descrita por los pobladores del lugar, y posteriormente registrada en "volcanoes of the world" (Simkin y Siebert, 1994), con un índice de explosividad volcánica igual a 2 (tabla 2). Los pobladores de los pueblos aledaños, sobre todo del pueblo de Ubinas, durante la erupción estuvieron tensos y alarmados, padeciendo de los efectos provocados por la emisión de cenizas y gases.

A continuación se muestra relatos de diarios y archivos registrados en la ciudad de Arequipa.

EL UBINAS SE ENCUENTRA EN PLENA ACTIVIDAD DESDE EL MES DE ENERO

"El señor Luis Gómez Iquira quién presta servicios como auxiliar en la escuela de segundo grado de varones N°1804 del distrito de Ubinas de la provincia de Sanchez Cerro, nos ha dirigido atenta comunicación para informarnos acerca del volcán Ubinas que se encuentra en plena actividad desde el mes de enero del año en curso. El señor Gómez Iquira nos dice que el 17 de Junio a las 11 a menos dos minutos de la noche, se sintió un fuerte temblor en Ubinas que

alarmó sobre manera a todos los pobladores. Minutos antes de esa hora, en Arequipa se sintió un fuerte movimiento sísmico del cual dieron cuenta los periódicos de la localidad".

"Dicho señor relaciona estos movimientos sísmicos con la gran actividad del Ubinas y dice que constantemente produce ruidos sordos que infunde pavor y desprende nubes de humo negro ceniza que cubre los campos, manteniendo en constante zozobra a los vecinos del pueblo y de los lugares aledaños. Nuestro informante nos dice que el volcán entró en actividad en la madrugada de uno de los primeros días de enero, y que desde los primeros momentos infundió pavor en los habitantes de Ubinas, por los ruidos y las inmensas columnas de humo negro y cenizas que desprendían, cubriendo este último residuo todos los campos de cultivo y ocasionando la muerte del ganado. Hay días en que las cenizas nublan el cielo y tornan el ambiente con un fuerte olor sulfuroso que molesta mucho y que imprime ese sabor inclusive al agua. Desde enero a la fecha, lo que más alarmó a la población fue la erupción que se produjo el 8 de mayo a las 6 de la tarde. Después de un ruido subterráneo muy perceptible se vió gran cantidad de humo negro cuyas columnas se elevaron varios centenares de metros nublando totalmente el cielo. El volcán parecía un horno de cal y a medida que se anochecía iba tomando un aspecto muy siniestro" (**Diario El Pueblo, Arequipa, 24 de Julio de 1951**).

***DIA Y NOCHE SE LEVANTAN INMENSAS COLUMNAS DE HUMO NEGRO DEL
VOLCAN UBINAS SEMBRANDO JUSTIFICADO TEMOR***

"Los ríos se han convertido en torrentes de barro negro y los pobladores no tienen en donde proveerse de agua, por efecto de la terrible nevada del 21 de Agosto murieron sepultados algunos pastores y numerosas cabezas de ganado. Criaturas y adultos mueren por efecto de fiebres desconocidas, se pide al gobierno el traslado del pueblo de Ubinas a otro lugar". En anteriores ediciones informamos ampliamente, de la extraordinaria actividad del volcán Ubinas, que está originando múltiples daños a los pobladores del distrito de ese nombre y los otros comprendidos en la jurisdicción de la provincia General Sanchez Cerro, departamento de Moquegua con el consiguiente pánico del vecindario.

Insertamos la comunicación que nos envía el Sr. Luis Gómez I. y cuyo contenido corrobora las aseveraciones que nos hiciera en sus declaraciones a el Pueblo, los señores Pedro Valdivia B. y Miguel Esquiche F., alcalde de Ubinas y juez de paz de Matalaque respectivamente:

Ubinas 9 de Setiembre de 1951

S. D. del diario el Pueblo; de toda mi consideración nuevamente me dirijo a usted, para informarle que desde hace varios días el volcán se encuentra en lo más récio de sus actividades."Las gigantescas nubes de humo negro que arroja y que ya se producen durante todo el día y la noche tienen alarmado a los pobladores de esta región, notándose que ya no hay posibilidad de que se normalice como las veces anteriores el estado de este nevado". "Hay días en que la lluvia de cenizas, molesta la vista al extremo que no se puede caminar, el suelo está cubierto de una capa de ceniza que alarma. Como consecuencia de todo esto, los ríos se han convertido en torrentes de barro negro, que ya el ganado no puede tomar. Los moradores no tienen de donde proveerse de agua y así tienen que tomarlas, y las criaturas están muriendo. Así como los adultos con fiebres desconocidas que es más sorprendente que se hinchan. Además como el agua es una espesa masa de ceniza, que ya no se puede regar los terrenos que se preparan en esta época para las siembras. Se me encarga informar a su prestigioso diario de la situación desesperante de todos los moradores, rogándoles su publicación".

"El ganado ha muerto en gran número así como algunos pastores, perecieron sepultados por la nieve en los campos y que todavía no se ha precisado el número. A todo esto se ha sumado las grandes cantidades de cenizas que cubren todos los campos. Hay días en que la negras nubes de cenizas que oscurecen el cielo, ocasiona un malestar horrible sobre todo por el fuerte olor a azufre". (**Diario El Pueblo, Arequipa, 13 de setiembre de 1951**)

Actividad eruptiva de 1956

Esta erupción fue registrada por Parodi y Hantke (1966) y Simkin y Siebert (1994), quienes señalan que se inició en mayo de 1956 con la emisión de cenizas, y culminó en octubre del mismo año. Esta erupción causó daños en los terrenos agrícolas del valle de Ubinas. Por las características descritas corresponden a una leve erupción explosiva, con un índice de explosividad volcánica igual a 2 (Tabla 03).

Actividad eruptiva de 1969

La erupción registrada en 1969 se inició el 16 de mayo, y se caracterizó por la emisión de cenizas grises y alta actividad fumarólica. Ocasiónó la muerte de ganados por la contaminación de las aguas de regadío con cenizas emitidas por el volcán. Las características de su manifestación y los tipo de depósitos alegan que la actividad eruptiva era explosiva y con un índice de explosividad volcánica igual a 2 (Simkin y Siebert, 1994).

A continuación se muestra tres relatos de diarios y archivos registrados en la ciudad de Arequipa:

POBLACION DE UBINAS ALARMADA POR HUMOS QUE ARROJA EL VOLCAN

"Con sorpresa los vecinos de Ubinas han constatado que el volcán que da nombre a la ciudad, despide una pequeña humareda, este fenómeno que se registra desde hace muchos años ha provocado la natural preocupación del vecindario y los pobladores del valle". "Desde hace quince días, en horas de la mañana, se viene observando este hecho. En años anteriores en que se registró este fenómeno causó diversos estragos en la agricultura y ganadería local. Los humos despedidos por el volcán afectan los cultivos especialmente de papas. También a la ganadería: vacunos y ovinos sufrieron los extraños efectos de los humos y en una rara epidemia fallecieron cientos. Después de un tiempo cesaron de improviso los humos y el índice de producción volvió a ser normal. Ahora nuevamente los agricultores y ganaderos se encuentran temerosos porque nuevamente se produce el fenómeno" (**Diario El Pueblo, Arequipa, 1 de Junio de 1969**).

EI VOLCAN UBINAS SIGUE DESPIDIENDO PEQUEÑAS COLUMNAS DE HUMO DIARIAMENTE

"Los vecinos se encuentran temerosos porque hace varios años, el volcán comenzó ha arrojar humo, los cuales causaron diversos estragos en la agricultura y ganadería. El agua que llevaban los ríos y acequias se volvió de color gris y despedía un profundo olor. Los animales empezaron subitamente a mostrarse enfermos y muchos de ellos murieron además de que los cultivos en forma extraña se secaron, llegaron al extremo de que los alfalfares se tiñan de gris, por la ceniza y los animales se negaban a comerla" (**Diario El Pueblo, Arequipa, 19 de Junio de 1969**).

DESCONOCIDO MAL ATACA AL PUEBLO DE ANASCAPA

"Una desconocida enfermedad con carácter epidémico se ha presentado en esta ciudad, causando la preocupación de toda la población. Las características de esta enfermedad son: elevado grado de fiebre, continuas hemorragias nasales y obstrucción en los oídos. Las víctimas se cuentan entre la mayoría de la población y se teme que por el momento al no poderse diagnosticar con seguridad, no se pueda combatir en forma efectiva. El pueblo atribuye tal situación a los humos que desde hace más de un mes ha venido despidiendo el volcán Ubinas, y que según ellos, produce ésta y otras enfermedades que afectan no solamente a personas sino a

animales y los cultivos; como consecuencia de ello murieron cinco personas " (**Diario El Pueblo, Arequipa, 4 de Julio de 1969**).

Alta actividad fumarólica de 1995 - 1996

La alta actividad fumarólica fue reportada en diciembre de 1995 por miembros de ORSTOM e IGP (Thouret et al., 1996; Rivera et al., 1997), dicha actividad se prolongó hasta mayo de 1996 en forma permanente y hasta mediados de 1997 en forma discontinua. La actividad fumarólica consistía en "bocanadas" de gases que se desplazaban por las mañanas y las noches por encima de la cumbre del volcán (Fig. 5.1). La altura promedio que las fumarolas alcanzaron fue de 300 a 700 m y esporádicamente alrededor de 1 km. Las fumarolas estuvieron constituidas de vapor de agua y gases calientes que se emanaban de seis orificios ubicados al fondo del cráter. Más no se ha registrado emisión de cenizas.



Fig. 5.1 Vista del flanco sur del volcán Ubinas en junio de 1996. Durante esa época el volcán Ubinas experimentó su última gran actividad fumarólica, la cual se venía prolongando desde diciembre de 1995. Las "bocanadas" de fumarolas eran grises claras y estaban constituidas de gases sulfurosos y vapor de agua. Estas fumarolas ascendían diariamente más de 500 m de altura y se prolongaban con dirección Noreste.

CAPITULO VI

EVALUACIÓN DE PELIGROS VOLCÁNICOS POTENCIALES

Los estudios de geología y vulcanología están basados en datos de campo, en la fotointerpretación geológica, el análisis de imágenes de satélite Landsat TM-1997, y en la recopilación de los registros históricos y datos de la última actividad 2006-2009. Estos estudios permitieron reconocer y diferenciar las distintas estructuras, depósitos y geoformas volcánicas formados durante la historia eruptiva del volcán Ubinas. Las cuales dependiendo de sus parámetros y efectos son indispensables en la evaluación de los peligros.

Para evaluar los peligros volcánicos del volcán Ubinas establecimos un registro estratigráfico de los productos emitidos por este volcán a lo largo de su historia eruptiva y determinamos en forma relativa la extensión de sus depósitos y el modo de depositación de tales productos. Asimismo se hizo un estudio geoquímico de los productos para ver el grado de explosividad de las erupciones. Finalmente, se evaluó la morfología del volcán y áreas aledañas. Desde luego se supone que una próxima erupción no diferirá mucho de las anteriores y que el área afectada también será similar.

Todo lo expuesto a continuación referente a los peligros del volcán Ubinas, se refleja en el mapa de peligro volcánico presentado en este estudio.

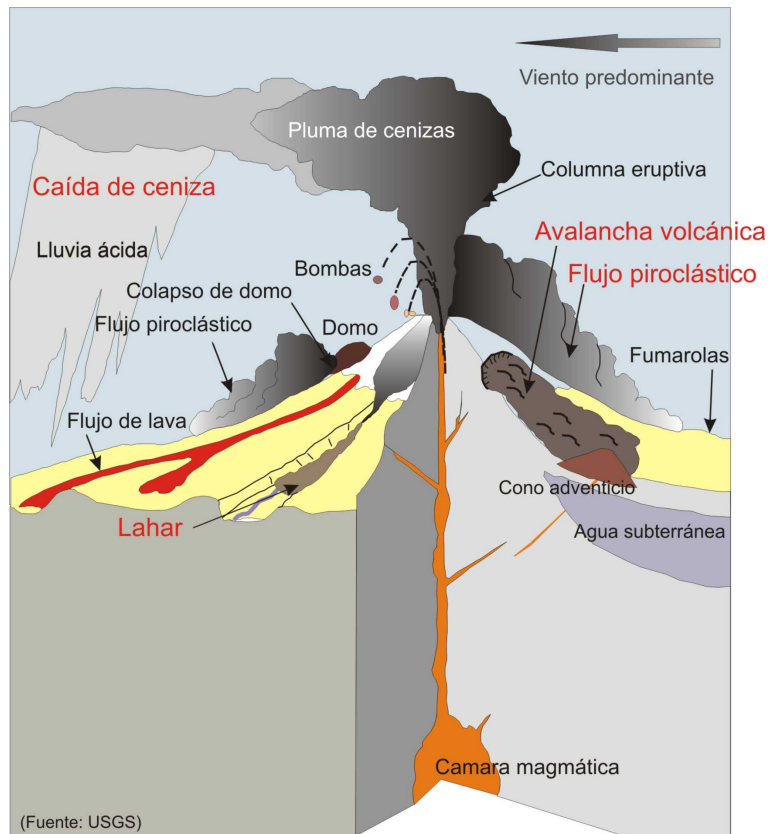


Fig. 6.1 Esquema gráfico que muestra los tipos de peligros volcánicos que puede presentar un volcán andesítico como el Ubinas.

En consecuencia según el grado de recurrencia estimado se presentan cuatro tipos principales de peligros volcánicos para los ~5000 habitantes que viven dentro de un radio de 14 km de distancia alrededor del volcán Ubinas.

6.1 PELIGROS POR CAIDAS DE TEFRAS

Según la estratigrafía estudiada se distinguen dos casos:

2) Emisiones de cenizas finas de moderado volumen ($<1 \text{ km}^3$), y materiales balísticos productos de erupciones freáticas, freatomagmáticas y vulcanianas que podrían cubrir un área aproximada de 60 km^2 . Esta hipótesis está basada en:

a) Los diversos depósitos de cenizas finas y bloques balísticos de origen vulcaniano, freático y freatomagmático distribuidos dentro de la caldera, en los flancos del volcán y los que afloran a 6 km del Ubinas (Quebrada Infiernillo). Los productos balísticos que yacen dentro de la caldera están constituidos de fragmentos lávicos con diámetros de hasta 2 m y los encontrados a una distancia de 2 km al Este del cráter miden hasta 20 cm. Mientras que las cenizas

son de colores grises y alcanzan espesores de hasta 10 cm a 6 km al Este del Ubinas.

b) En las cenizas del siglo XX reportadas hasta las inmediaciones de los poblados de Yalahua y Torata (Diario El Pueblo, 1925 y 1936), localizadas a 18 y 16 km al NE y E del volcán respectivamente. Asimismo en las cenizas emitidas durante la actividad eruptiva reciente ocurrida entre 2006-2009, donde cenizas cayeron en áreas distales como Omate, a 50 km al SE del Ubinas.

1) Abundantes depósitos de lapilli pómez producto de erupciones plinianas y sub-plinianas que podrían cubrir los flancos del volcán, hasta una distancia mayor de 20 km alrededor del cráter. Esta hipótesis está basada en:

a) En dos depósitos de caída pliniana de menos de 7000 años que afloran en la quebrada Infiernillo y en el poblado de Anascapa, ubicados a 6 km al SE y S del cráter, respectivamente (áreas proximales), en donde miden más de 2 m de espesor. Dichos depósitos plinianos también afloran por los poblados de Pachas y Totorá, ubicados a 40 km al SE (áreas distales), en donde tienen 25 cm de espesor.

6.2 PELIGROS POR FLUJOS DE BARRO O LAHARES

Durante los meses de diciembre a marzo en la parte alta de la cumbre (5000 a 5670 msnm.) se acumula el hielo y la nieve en un promedio de 60 cm de espesor y cubre un área de 5 a 7 km² (que hace un volumen de 0.003 km³ aproximadamente). Una erupción explosiva vulcaniana, freatomagmática, sub-pliniana o una explosión de domo genera flujos piroclásticos y/o tefras calientes, estos pueden interaccionar y a la vez fundir el hielo y la nieve, para luego generar flujos de barro o lahares. Los cuales se desplazarían desde la parte alta por las diversas quebradas que surcan los flancos, sobre todo por aquellos ubicados al Sur y SE del volcán. Estos flujos de barro conforme se desplazan, irán acumulando gran cantidad de materiales sueltos como cenizas, lapilli y bloques esparcidos en los flancos.

El volumen de los flujos generado dependerá del tipo de erupción y cantidad de nieve o hielo que permanece en la cumbre del volcán (estación del año). Los flujos de barro recorrerían por las quebradas de los flancos S, SE con dirección al río Ubinas y Tambo hasta una distancia mayor a 10 km del cráter, desde luego generando destrucción de las propiedades encontradas a su paso. Están sujetas a este tipo de peligro terrenos agrícolas, carreteras y pueblos como Ubinas, Tonohaya, San Miguel y Huatahua las cuales se ubican en los márgenes de la quebrada Chillón y río Ubinas.

El peligro por flujos de barro está basada en los diversos depósitos que se encuentran en las quebradas de los flancos Sur, SE y E (quebrada el Infiernillo, quebrada Chillón y río Ubinas). Estos fueron transportados y depositados con la ayuda del agua, proveniente de los períodos de lluvia y/o debido a la fusión de la nieve que permanece desde la parte alta del volcán. La posibilidad de ocurrencia de este proceso

es muy alta aún sin actividad eruptiva y también después de cualquier erupción (véase erupciones de 1923 y 1969; y la ocurrida en febrero del 2007).

6.3 PELIGROS POR FLUJOS PIROCLÁSTICOS

Una erupción explosiva moderada a alta (tipo vulcaniana, freatomagmática o pliniana) puede generar flujos de cenizas, flujos de escorias, flujos de bloques y cenizas o flujos de pómez. Estos flujos piroclásticos podrían canalizarse por las diversas quebradas que surcan al estrato-cono, sobre todo, por las quebradas que dan hacia los valles de Ubinas y Para. Durante su recorrido causarían destrucción por enterramiento e incineración de todo lo que encuentren a su paso (tierras de cultivo y poblados). La distancia a recorrer superaría los 6 km del cráter, calculada a partir de la metodología propuesta por Crandell, (1988); Scott, (1989) y Siebert, (1987) para flujos piroclásticos, y también basada en la presencia de flujos de cenizas que yacen encima de las avalanchas de escombros que afloran en la quebrada Infiernillo y en la parte baja del valle de Ubinas, poblados de Tonohaya, San Miguel y Huatahua.

En otro caso puede producirse la emisión de coladas de escorias (erupción moderada tipo vulcaniana o Saint Vicent), estas pueden cubrir los flancos al igual que los flujos de pómez y/o cenizas. Siendo probable su canalización hacia las partes bajas (valles de Ubinas y Para). Estas hipótesis están basadas en la presencia de coladas de escorias distribuidas sobre el flanco Oeste, NO, NE y Norte del volcán en un radio de 3.5 km del cráter.

6.4 PELIGROS POR AVALANCHA DE ESCOMBROS

El flanco SE del volcán Ubinas es inestable por tres razones: (1) dicho flanco es semi-vertical, mide entre 1.2 a 1.4 km de altura, (2) se encuentra alterado e hidrotermalizado y (3) muestra una red de fracturas verticales y dos fallas (rumbos 30° y 35° NO).

En caso de la ocurrencia de un sismo de magnitud mayor de 5, de una erupción violenta (sub-pliniana o freatomagmática) o del crecimiento de un domo de lava dentro del cráter, puede provocar el colapso o derrumbe de una parte de la pared sur, generando la formación de avalanchas de escombros. Estas avalanchas se canalizarían por las quebradas Sacuhaya, Volcanmayo, Chillón y prolongarse hasta la parte baja del valle de Ubinas, hasta una distancia mayor a 8 km del volcán. La hipótesis sobre la generación de avalanchas de escombros está basada en la existencia de:

- a) Avalanchas de escombros del Pleistoceno superior que actualmente ocupan todo el valle del río Ubinas y parte baja del valle de Para hasta la confluencia del río Tambo (10 km al SE del cráter). Estas avalanchas poseen un volumen aproximado de 2.6 km³.
- b) Avalanchas de escombros recientes de hace un poco más de 3670 ± 60 años B.P. (Thpuret et al., 2005), depositadas al pié de la pared sur del cono, cuyos testigos son las colinas cónicas (*hummocks*) que afloran a 4.5 km al Sureste del cráter, sobre el cual se

asientan caserios como Querapi y Sacuhaya. Estas avalanchas poseen un volumen aproximado de 0.8 km^3 .

6.5 OTROS PELIGROS

a) La mayoría de volcanes calco-alcalinos situados dentro del Círculo de fuego del Pacífico emiten gases volcánicos constituidos de vapor de agua, dióxido de carbono y compuestos sulfurosos. En menor cantidad, monóxido de carbono, cloro, flúor, boro, compuestos de amonio y otros (Hoblitt et al., 1995). El volcán Ubinas puede emitir gases similares, representando un peligro para los ojos y el sistema respiratorio de personas y animales. La acumulación de gases venenosos como SO_2 y CO en las depresiones topográficas de los flancos Este y SE provocarían la muerte casi instantánea de personas y animales que habitan en las partes bajas de dichos flancos por asfixia e intoxicación. Además los gases pueden envenenar las fuentes naturales y artificiales de agua, con grave riesgo para la salud humana, agricultura y ganadería.

b) Lluvias ácidas, producidas por disolución de volátiles presentes en los gases magmáticos, pueden afectar las construcciones y estructuras metálicas produciendo corrosión. Las zonas afectadas pueden estar localizadas a más de 8 km del volcán, pero los efectos principales se presentarían en zonas aledañas, caso de los poblados ubicados dentro del valle de Ubinas.

CAPITULO VII

ESCENARIOS ERUPTIVOS GENERADORES DE PELIGROS

Estudios efectuados sobre peligros volcánicos en estos últimos años por Decker & Decker, 1989; Tilling, 1989; Scott et al., 1997 y Hoblitt et al., 1995, determinaron que los peligros volcánicos generadores de amenaza y riesgo incluyen: las caídas de tefras y proyectiles balísticos, los flujos piroclásticos (coladas de escorias, flujos de bloques y cenizas e ignimbritas), oleadas piroclásticas, explosiones laterales dirigidas, lahares, flujos de lava, los peligros asociados al crecimiento de domos de lava, las emisiones de gases y las avalanchas de escombros.

A partir del análisis y evaluación de los diferentes elementos morfológicos del Ubinas, así como, la actividad eruptiva pasada y comportamiento actual, nosotros hemos establecido y descrito 6 escenarios eruptivos posibles generadores de amenaza y de riesgo. Además, la evaluación de los peligros y efectos se basa en datos sobre erupciones históricas, modelos existentes de dispersión de tefras (Carey y Sparks, 1986), extensión de flujos piroclásticos (Hayashi y Self, 1992) y avalanchas de escombros (Crandell, 1988) para obtener una idea general de las áreas que probablemente podrían ser afectadas por futuras erupciones. Una estimación sobre el estilo eruptivo que el volcán Ubinas presente en una nueva erupción, está basado en la recurrencia de dichos eventos obtenidos de la actividad actual, información histórica y de su comportamiento geológico pasado. Apoyado por los ejemplos de erupciones volcánicas semejantes dentro de la Zona Volcánica de los Andes Centrales: volcanes Misti (Thouret et al., 2001) y Huaynaputina (Thouret et al., 2002; de Silva et al., 2009), volcán Ubinas (Rivera et al., 1998; Thouret et al., 2005), correlacionados con los desastres de origen volcánico ocurridos dentro del continente sudamericano (Tilling, 1989).

7.1 ERUPCIONES VULCANIANAS Y/O FREATOMAGMATICAS: DINAMISMO EXPLOSIVO MODERADO

Una erupción vulcaniana consiste en una serie de explosiones discretas que tienen lugar a intervalos de minutos a horas. A menudo el material expelido no es juvenil, sino fragmentos despedazados de un tapón de lava solidificada en el conducto de emisión o cráter (Morrisey y Mastin, 2000). La erupción es debida a la presión generada por exsolución del magma a profundidad y/o debido a la presión generada por la vaporización del agua subterránea (Francis, 1993).

Una erupción freatomagmática tiene lugar cuando una lava o un flujo piroclástico alcanzan durante su ascenso un nivel en el que exista cierta cantidad de agua provocando explosiones de vapor que fragmentan la roca y riegan los pedazos alrededor del cono volcánico. La situación es similar a la erupción "surtseyana" (en medio litoral o marino), aún que en casos extremos no haya efusión de productos magmáticos, ya que el magma puede detenerse en su ascenso y transmitir su calor a un acuífero, cuya evaporación provoca una explosión puramente freática. Durante dicha

explosión arroja fragmentos del propio acuífero y de las rocas que se encuentran sobre el mismo (Francis, 1993).

Parte de los depósitos de caída conformado por cenizas finas y fragmentos líticos hidrotermalizados que afloran actualmente sobre los flancos del volcán Ubinas y los depósitos que se encuentran dentro de la secuencia piroclástica holocénica corresponden a depósitos generados por erupciones vulcanianas y freatomagmáticas.

7.1.1 CAÍDAS DE TEFRAS

Durante una erupción vulcaniana las tefras son eyectadas a la atmósfera en forma de una pluma que puede alcanzar alturas mayores o iguales de 4 km. Las tefras están conformados de proporciones variables de fragmentos de rocas arrancados del conducto y materiales de baja densidad (escoria), cuyos tamaños varían desde cenizas hasta bloques y bombas (proyectiles balísticos). Estos materiales también son conocidos como depósitos de caída, que a la vez se depositan en áreas mayores de 200 km² alrededor de un volcán. Las tefras pueden causar daños y víctimas a la propiedad por el impacto de los materiales que caen sobre estas, formando una capa encima del terreno. Cuanto mayor sea el espesor, el tamaño de los diámetros y la elevada temperatura, tanto más trágico serán los efectos. La acumulación de las tefras puede causar que los techos de las construcciones (viviendas, colegios, centros médicos) colapsen, perturben el tránsito, afecten la agricultura y ganadería y contaminen fuentes de agua tanto para consumo humano, como para la ganadería. La capacidad destructiva de la caída de piroclastos dependerá de su volumen y dispersión (peso por m²) así como de la toxicidad de los gases asociados.

Existe una gran posibilidad de que en una próxima actividad eruptiva del Ubinas este sería de tipo moderada, es decir vulcaniana, freática y/o freatomagmática, la cual generaría caídas de cenizas, ya que este fenómeno se ha dado los últimos 500 años (tabla 2), y durante la crisis actual 2006-2009. Incluso si hay un aporte de magma básico en la cámara magmática puede desencadenar una erupción explosiva moderada. Durante una erupción vulcaniana se generarán materiales de caída y desde luego viajarán en mayor proporción hacia el NE, E, S y SW, influenciados por la dirección y la velocidad de los vientos (fig. 19) que prevalecen para esas zonas. La distancia recorrida para las caídas de cenizas podría sobrepasar los 15 km. Las cenizas y demás productos asociados a erupciones vulcanianas pueden contaminar el agua destinado al consumo humano y a la agricultura de todo el valle de Ubinas, e incluso afecte la Represa Aguada Blanca cuyas aguas abastecen la ciudad de Arequipa.

Los datos sobre erupciones históricas muestran que las emisiones de cenizas son los productos más comunes en el volcán Ubinas; algunas veces se ha reportado transformación de caída de cenizas en flujos de lodo o barro, debido a la ocurrencia de lluvias fuertes durante un proceso eruptivo (ejemplo 17 de Febrero del 2007).

7.1.2 FLUJOS PIROCLÁSTICOS

Los flujos piroclásticos son nubes secas y calientes compuestos de una mezcla de bloques, bombas, lapilli y cenizas dentro de una emulsión de gases calientes que los soportan. Dichos flujos piroclásticos al ser expulsados a la superficie pueden desplazarse a velocidades de 100 a 300 km/hora (Hoblitt et al., 1995). El movimiento es controlado por la fuerza gravitacional e impulsado por la energía inicial adquirida en el momento de la erupción (Francis, 1993). Tiene por lo tanto tendencia a desplazarse y encauzarse a lo largo de las quebradas y valles.

La temperatura máxima de los flujos piroclásticos varía en un rango de 350 °C a 800 °C. Los flujos piroclásticos son comunes en la mayoría de las erupciones volcánicas explosión de moderada a alta (>3 IEV). En erupciones vulcanianas pueden cubrir áreas que van de 1 a 80 km². Los peligros asociados con los flujos piroclásticos debido a su alta velocidad, alta densidad y alta temperatura incluyen asfixia, entierro, incineración y daños a la propiedad.

Los flujos piroclásticos producidos por una actividad vulcaniana del Ubinas son poco abundantes. Solamente ha sido reconocido un flujo de escorias generado por una actividad similar: erupción Saint Vicent. Este flujo de 0.8 m de espesor emplazado en 1667 aflora en el flanco NE, a 3 km del cráter.

Durante un evento explosivo moderado a alto la posibilidad de ocurrencia de flujos piroclásticos en el volcán Ubinas es de alta a moderada, la zona de mayor riesgo por estos flujos comprende un área aproximada de 80 km², con un radio de 6 km alrededor del cráter. Se considera dentro esta categoría de amenaza, las quebradas Sacuhaya, Volcanmayo, Chillón, Infiernillo, la cabecera del valle de Ubinas y del valle de Para (fig. 19).

7.1.3 FLUJOS DE BARRO O LAHARES

Un flujo de barro o un lahar está compuesto por una mezcla de derrubios de origen volcánico con agua que fluye y se origina directa e indirectamente por la actividad eruptiva de un volcán (McPhie et al., 1993). Los lahares pueden ser producidos de diversas maneras: el elevado drenaje de agua de un depósito formado al interior del cráter o caldera, producto de una erupción explosiva, la mezcla de flujos piroclásticos con el agua, y en menos casos el deshielo de nieve por el emplazamiento de productos calientes (lava o piroclastos). La distancia alcanzada por un lahar depende de su volumen y puede llegar a más de 100 km incorporando fuentes adicionales de agua. La forma y el gradiente del valle también afectará el alcance del lahar; un valle angosto de pendiente pronunciada permitirá que un lahar de un volumen dado avance a una mayor distancia. Los lahares por su alta densidad y velocidad pueden destruir estructuras en su trayecto tales como puentes, enterrar poblaciones, áreas de cultivo, cerrar y desviar canales de agua produciendo inundaciones (Scott et al., 1997; Hoblitt et al., 1995).

En el volcán Ubinas pueden generarse flujos de barro, con o sin erupción (período de lluvias), ya que, durante diciembre y marzo presenta hielo y nieve en la cumbre sur. Este hielo y nieve puede fusionarse y así se convertiría en agua que fluye y se mezclaría con el material susceptible de ser incorporado en el camino del lahar. También juegan un rol importante la pendiente (45° en la parte alta del volcán), la sinuosidad del cauce de las quebradas Volcanmayo, Sacuhaya y Chillón, por donde se desplazarían los materiales acarreados por el lahar. La presencia de depósitos de flujos de barros antiguos y recientes en los cauces de ríos Ubinas y Para, y en las quebradas Infiernillo, Secuaya y Chillón, indican la posibilidad de ocurrencia de este tipo de evento ante cualquier erupción volcánica es alta.

7.2 ERUPCIONES PLINIANAS: DINAMISMO EXPLOSIVO ALTO Y SOSTENIDO

Una erupción pliniana es una poderosa actividad volcánica explosiva, que consiste en la descarga sostenida de una gran columna eruptiva, mayor de 14 km de altura (Francis, 1993). Dicha columna eruptiva está constituido de tefras que a la vez se depositan en extensas áreas, mayores a 800 km^2 , debido a la gran altura de la columna eruptiva que la erupción produce (Cas and Wright, 1987). Una erupción pliniana produce además flujos y oleadas piroclásticas. Los factores que controlan estas erupciones son variados e incluyen: el contenido de gas dentro del magma, forma del conducto volcánico, radio del conducto y volumen del magma (Francis, 1993). Generalmente involucran magmas ricos en silice como riolitas y dacitas.

La erupción ocurrida en el volcán Huaynaputina (Moquegua) en febrero de 1600 D.C. representa un ejemplo clásico de erupción pliniana ocurrida en el sur peruano y dentro de la Zona Volcánica de los Andes Centrales en tiempos históricos. Según los estudios sobre esta erupción, el 17 de febrero de 1600 tras una intensa actividad sísmica que duró más de cuatro días sobrevino una intensa actividad explosiva que duró 16 días y que generó una columna eruptiva de pómez y cenizas de cerca de 24 km de altura. Estos productos cubrieron un área que sobrepasa los $210\,000 \text{ km}^2$, afectando gran parte del sur del Perú, norte de Chile y Bolivia (Thouret et al., 1999; Thouret et al., 2002, Adams et al., 2001). Esta erupción causó la muerte de más de 1500 personas y sepultó más de siete poblados aledaños al volcán y a la vez causó efectos climáticos globales.

Para el volcán Ubinas, aun que una proxima erupción de este tipo que ocurra a corto a mediano plazo (años a decenas de años) tiende a ser poco probable, es necesario realizar la estimación sobre una posible erupción pliniana, toda vez que este tipo de actividad se ha manifestado más de dos veces. La última erupción pliniana ocurrió hace cerca de 980 años, cuyos depósitos cubrieron un área de 800 km^2 y cuyo eje máximo se prolongó a más de 40 km en dirección Sureste, donde el espesor del depósito alcanza 25 cm.

7.2.1 CAÍDAS DE TEFRAS

Una erupción sub-pliniana o pliniana producida por el volcán Ubinas generará tefras que desde luego caerán en áreas aledañas al volcán >20 km. La dirección y distancia a recorren por las caídas de pómez está en función de la dirección y velocidad de los vientos de altura (mayores de 10 km). Esta hipótesis está basada en fenómenos similares ocurridos en el Holoceno, descritos en la estratigrafía. El último depósito de caída pliniana de hace 980 años que aflora a más de 40 km al Sureste del volcán (zona de Torata y Pachas), fue depositada debido a la dirección del viento, que en esa época era favorable al Sureste.

Desde el punto de vista de peligros y riesgos las tefras (lapilli pómez, bloques y cenizas) expelidas por dicha erupción pueden causar daños a la propiedad y víctimas por impacto de los materiales que caen sobre estas. La acumulación de las tefras puede causar que las construcciones (viviendas, colegios, centros médicos, etc) colapsen, rompan las líneas de transmisión y afecten la agricultura, ganadería y fuentes de agua para consumo humano. Las tefras depositadas formarán una capa encima del terreno, mayor de 1 m hasta 6 km alrededor del volcán, igualmente mayor de 10 cm a 40 km al SO y/o al NE del volcán. A la vez pueden perturbar el tráfico vehicular. La tefra suspendida en el aire puede causar serios problemas respiratorios, dañar las maquinarias, perturbar el transporte aéreo. La capacidad destructiva de caída de tefras a gran escala, dependerá de su volumen y dispersión (peso por m²) así como de la toxicidad de los gases asociados. Cuanto mayor sea el espesor de la caída de pómez, el tamaño de los materiales y la temperatura, más trágico serán los efectos.

En el mapa de peligro, se ha definido una zona semi-circular de 40 km de radio, con posibilidad de depositación de tefras, influenciados por las direcciones de los vientos.

7.2.2 FLUJOS PIROCLÁSTICOS

Una erupción pliniana genera la formación de flujos piroclásticos, comúnmente debido al colapso de la pluma volcánica. Los flujos piroclásticos generados por una erupción pliniana al igual que los generados por una erupción vulcaniana son expulsados a la superficie y se mueven rápidamente a lo largo del terreno inclinado. Tienen por lo tanto tendencia a desplazarse por las depresiones topográficas de más de 500 m de altura, y luego son encauzados a lo largo de las quebradas y valles. Algunos flujos voluminosos logran sobrepasar barreras topográficas (cerros, lomas, etc). Los flujos piroclásticos generados por una erupción pliniana pueden desplazarse a velocidades de 100 a 300 km/hora y cubrir áreas que van de 1 km² a más de 10000 km² (Hoblitt et al., 1995). Las amenazas y riesgos asociados con los flujos piroclásticos son debido a su alta velocidad, alta densidad y alta temperatura, incluyen asfixia, entierro, incineración y daños a la propiedad.

Los flujos piroclásticos generados por erupciones plinianas son los productos poco abundantes de la actividad eruptiva pleistocénica y holocénica del Ubinas. En

cuanto a la cantidad de eventos registrados en su historia eruptiva y la distribución en el área es básicamente flujos de pómez y cenizas distribuidos en quebrada la Infiernillo y en el valle de Ubinas. En una posible ocurrencia, los cálculos efectuados sobre la distancia que irán a recorrer están basados en coeficientes de correlación propuestos por Scott (1989), Crandell (1988) y Siebert et al., (1987 quienes proporcionaron coeficientes de relación entre Altura o Desnivel (H) y distancia de viaje (L). Según este resultado la distancia mínima a recorrer sería de 8 km, igual como la producida anteriormente. Desde luego, en caso de producirse en el volcán Ubinas una erupción pliniana la posibilidad de ocurrencia de flujos piroclásticos es de moderada a alta. La zona de mayor peligro por flujos piroclásticos radica en un área de 180 km^2 , con radio de 8 km alrededor del cráter. Dentro de esta área se consideran las quebradas Sacuhaya, Volcanmayo, Chillón, Infiernillo y los ríos Ubinas y Para (Sur y SE del volcán Ubinas), por donde se canalizarían.

7.2.3 OLEADAS PIROCLASTICAS

Las oleadas piroclásticas están conformadas de cenizas y gases calientes, las cuales pueden resultar ser más movibles con respecto a las ignimbritas. Inicialmente emitidos se mueven a velocidades de 20 y 50 m/seg. Las oleadas son flujos diluidos de baja densidad, pueden traspasar barreras topográficas y cubrir altos cerros o cumbres (Francis, 1993). En una eventual erupción pliniana y freatomagmática generada por el volcán Ubinas es probable que se generen oleadas piroclásticas, estas al igual que los flujos de cenizas o pómez se canalizarían por las diversas quebradas que surcan el estrato-cono.

7.2.4 AVALANCHAS DE ESCOMBROS

Desde la erupción de 1980 del Mount St. Helen en los Estados Unidos (Siebert, 1996; Siebert et al., 1987), se sabe que los volcanes con conos muy elevados y con pendientes muy empinadas están propensos a movimientos en masa, debido al fracturamiento, grado de alteración en que se encuentran las rocas e influenciado por sismos fuertes, erupciones y/o crecimientos de domos, que desencadenan el colapso de una parte del flanco y/o de toda la cumbre del volcán. Estos movimientos de masa se encuentran en numerosos volcanes del sur del Perú como el Chachani, el Misti, Tutupaca, Ticsani y el Hualca-Hualca. Constituyen una de los principales peligros volcánicos, puesto que estas avalanchas de escombros pueden involucrar más de 1 km^3 de material suelto, y se desplazan a más de 100 km/hora y más de 40 km de su fuente o sea de la cumbre (Scott et al., 1997; Hoblitt et al., 1995).

El volcán Ubinas presenta esta morfología característica de colapsos (caldera de avalancha en forma de herradura) en el flanco Sureste. Esto es, en la cabecera del valle de Ubinas y Para, que por sus características alegan que hubo dos colapsos de flanco, uno en el Pleistoceno superior y otro hace más de 3670 años.

En cuanto a las distancias que podrían recorrer las avalanchas de escombros en un próximo evento volcánico, la evaluación está basada en cálculos de coeficientes de

correlación propuestos por Scott, (1989), Crandell, (1988) y Siebert et al., (1987) al igual que para flujos piroclásticos proporcionaron valores de coeficientes de relación entre ALTURA O DESNIVEL (H) y DISTANCIA (L). Estos cálculos están basados en la distribución de depósitos de avalanchas pre-existentes $>1 \text{ km}^3$ y $<1 \text{ km}^3$ que recorrieron hasta 6 km del volcán.

Según los resultados, la distancia mínima a recorrer sería de 3 km y la distancia máxima sería de 11 km. Por otra parte cálculos efectuados por Hayashi y Self (1992), en 40 avalanchas producidas en volcanes calco-alcalinos calculó para $f = 0.22$

Empleando este coeficiente para el Ubinas se tiene para $f = 0.22$

Donde:

$L = 5.45$ km. Es la distancia promedio que recorrerían las avalanchas de escombros. Entonces es preciso prever una zona alta localizada a más 6 km al sur del cráter en donde se debe evacuar a la población en caso de sismos fuertes o erupciones. Esta zona podría estar en la parte alta de los poblados de Secuaya o Anascapa (sur del poblado de Ubinas).

Por consiguiente, si se produce un sismo de gran magnitud, el crecimiento de un domo y/o una erupción explosiva de gran magnitud provocaría el colapso de una parte del edificio y/o del flanco sur de la estructura, provocando la acumulación de avalanchas de escombros a lo largo del valle de Ubinas. Estas recorrerán una distancia proporcional al tipo y magnitud de evento que los produzca. Suponiendo que ocurra una erupción explosiva moderada: vulcaniana o freatomagmática con I.E.V. 3 – 4, se generarían avalanchas de escombros de menos 1 km^3 que viajarían de 3 a 6 km de distancia por el valle del río Ubinas. Suponiendo que se produzca una erupción explosiva: pliniana o freatomagmática con I.E.V. ≥ 5 , se generarían avalanchas de escombros y viajarían más de 8 km del cráter. Todo depende del estilo eruptivo y de los factores asociados a él, como la cantidad de nieve o agua disponible en la parte alta del volcán.

7.2.5 EXPLOSIONES LATERALMENTE DIRIGIDAS

Las explosiones lateralmente dirigidas ("blast") son fenómenos complejos que comparten características de flujos piroclásticos y oleadas. Se tratan separadamente por cuanto tienen un componente inicial de ángulo bajo y pueden afectar amplios sectores de un volcán de hasta 180 grados alrededor del cráter y alcanzar distancias de decenas de kilómetros. Un ejemplo ocurrió en 1980 en el Mont St. Helens (Decker and Decker, 1989), donde un cuerpo magmático estuvo en crecimiento dentro del volcán, por un período de 52 días. El crecimiento de dicho cuerpo magmático provocó el "hinchamiento del volcán", y un sismo generó avalancha de escombros, consecuentemente se despresurizó el cuerpo magmático produciéndose una explosión lateralmente dirigida. Los depósitos de avalancha y los flujos piroclásticos generados por dicha explosión viajaron alrededor de 28 km del cráter. Desde aquel entonces se sabe que las grandes explosiones dirigidas resultan de la despresurización repentina del sistema magmático y/o hidrotermal dentro del volcán por el deslizamiento de una parte del flanco.

Aunque en la historia eruptiva del volcán Ubinas no se ha registrado tal evento, en un futuro puede producirse tal evento, la cual se generaría por el flanco Sureste, ya que dicho flanco se encuentra alterado hidrotermalizado y a la vez debilitado por fenómenos de colapso. Los flujos piroclásticos recorrerían por los flancos Este y SE canalizándose por los cauces de los ríos y quebradas del valle de Ubinas y Para, entre una distancia de 6 km hasta probablemente más de 11 km del volcán.

7.3 ERUPCION EFUSIVA: FLUJOS DE LAVA Y DOMOS

Una erupción efusiva consistente en la emisión pasiva de flujos y coladas de lava de composición intermedia (en nuestro medio principalmente de composición andesítica) donde las velocidades de efusión no superan los metros cúbicos por segundo, y los flujos raramente se prolongan más de 8 km (Francis, 1993).

Aunque el volcán Ubinas ha emitido gran cantidad de flujos de lava durante el Pleistoceno superior hasta inicios del Holoceno, actualmente es poco probable que ocurra tal evento. Esto se sustenta en los diversos depósitos de caída y flujos piroclásticos recientes encontrados sobre los afloramientos lávicos que alegan ue l actividad durante el holoceno y la época historica fue de tipo explosiva. Además debido a la semejanza volcanológica a muchos volcanes de la Zona Volcánica de los Andes Centrales (volcanes Ticsani, Tutupaca, Yucamane, Huaynaputina, Misti).

Actualmente si se produciría una erupción efusiva o extrusiva, las lavas serían similares a las emplazadas en épocas anteriores de composición andesítica y/o dacítica. Estas lavas tendrían que rellenar la caldera, para poder desplazarse por los flancos. Para que ocurra este proceso, las lavas deberían sobrepasar un volumen de 2 km^3 y desde luego no recorrerían mucha distancia a partir del cráter (menos de 5 km), pudiendose predecir su curso. Así los flujos de lavas emitidos por el volcán Ubinas tendrían una distribución semi-radial y recorrerían por las quebradas de los flancos Norte, NW y NE. Los flujos de lava causarían graves daños por incendio, impacto e incineración, y consecuentemente enterrarían todo lo que encuentren a su paso. El área amenazada por este fenómeno se estima que no sobrepasa los 40 km^2 . En cualquier caso los flujos de lava rara vez amenazarían la vida de los pobladores por que les daría tiempo para evacuar la zona.

Asociado a cualquier erupción efusiva se presenta inevitablemente el descongelamiento de la nieve que se encuentra en la parte alta del volcán y en consecuencia puede dar lugar a la formación de flujos de barro. Estos flujos de barro al recorrer a las partes bajas serían más peligrosos que las lavas.

Por otro lado, es más probable la formación de un domo de lava que la emisión de flujos de lava. El domo se forma cuando la lava por extrusión de una chimenea es demasiado viscosa para fluir más de unas decenas o cientos de metros, de tal modo que el movimiento principalmente es hacia el centro del domo (Francis, 1993). Los extremos vienen a ser inestables y pueden dar lugar a la formación de avalanchas que pueden ser

originadas por explosiones volcánicas o por el crecimiento y colapso por gravedad del domo. La mayor amenaza asociada a domos de lava radica en los flujos piroclásticos producidos por explosiones o colapsos. Estos flujos pueden producirse sin previo aviso y desplazarse a velocidades mayores de 50 m/s y mayores a 20 km de su fuente (Millar, 1989).

El escenario que describe una futura erupción generada por el colapso de un domo de lava y la consecuente formación de flujos piroclásticos en el volcán Ubinas está basado en los depósitos de flujos de bloques y cenizas (nubes ardientes) que se encuentran distribuidos en la parte baja del valle de Ubinas (localidad de Tonohaya y la quebrada Infiernillo). Estos depósitos pueden compararse con los depósitos recientes producidos por colapsos de domos de los volcanes Unzen y Redoubt, ocurridos en el Japón en mayo de 1991 y en Alaska en enero de 1990, respectivamente (Brantley et al., 1993) Fig. 7.1. Ambos volcanes extrujeron domos y sus coladas de lavas que recorrieron alrededor de los flancos empinados. Dichos domos colapsaron, produciendo flujos piroclásticos (Fig. 7.1), asociados a oleadas de cenizas que acompañaron en la parte superior, lateral y en frente de dichos flujos.

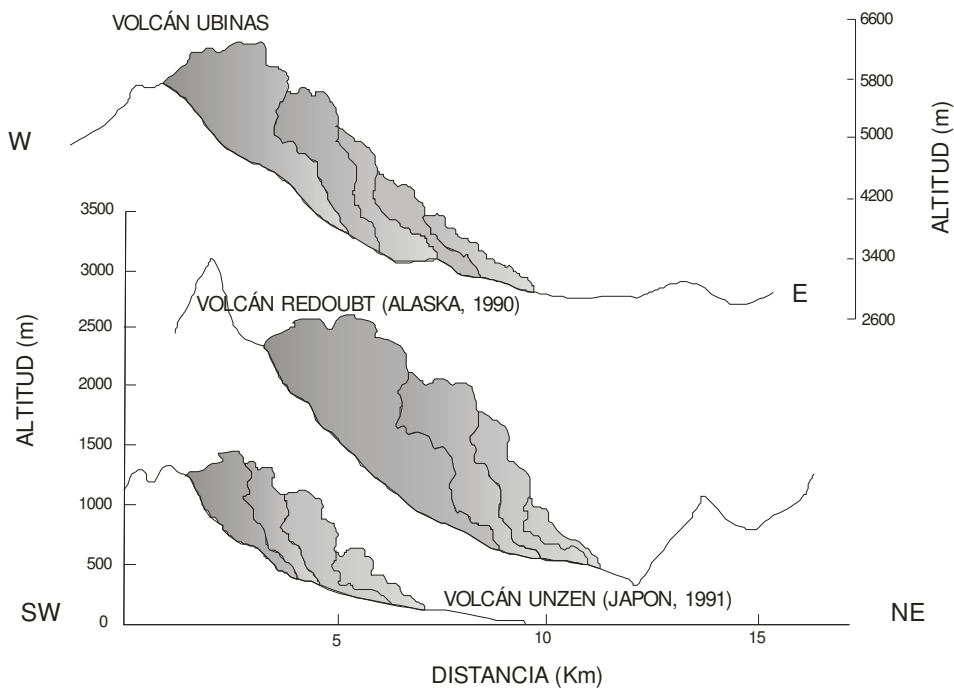


Fig. 7.1. Perfiles topográficos y distancias recorridas por los flujos piroclásticos y nubes de cenizas acompañantes. La flecha señala los domos de lava en cada perfil. Los gráficos para el Redoubt y Unzen (Brantley et al., 1993) muestran observaciones recientes; el gráfico del volcán Ubinas está inferido en base de depósitos holocénicos. Los promedios de espesores y la distancia recorrida por los flujos y oleadas de cenizas acompañantes debido al colapso de domo pueden preverse por la línea guía gruesa, la cual sirve para estimar el rango de distancias de futuros eventos que se irán a recorrer.

MAPA DE PELIGROS**8.1 Introducción**

Un mapa de peligro volcánico es un medio de comunicación sobre el riesgo volcánico y está dirigido al público en general. Este mapa es utilizado para mostrar y explicar las zonas de peligros y los niveles de riesgos de áreas localizadas alrededor de un volcán. Los mapas de peligros forman una parte fundamental de los planes de emergencia y respuesta y son considerados vitales para la coordinación de prevención, protección y evacuación (Dymon and Winter 1993; Nourbakhsh et al. 2006).

Anterior a la crisis del años 2006-2009 no se disponía de un mapa de peligro volcánico oficial del volcán Ubinas, a escala adecuada que permitiera efectuar un adecuado manejo de crisis por parte de las autoridades. Con la reactivación del volcán Ubinas manifestada en marzo del 2006, se iniciaron con los trabajos de la geología del volcán. La cual tuvo por objeto determinar las estructuras y depósitos volcánicos asociadas a él, para luego evaluar las posibles amenazas y enunciarlos mediante un mapa de peligro. También se procedió a recopilar toda la información geológica disponible, evaluar los tipos de peligros volcánicos descritos en los trabajos de Rivera et al., (1998) y Thouret et al., (2005).

Este mapa antes de su publicación fue previamente revisado por algunos expertos vulcanólogos y técnicos del Comité Regional de Defensa Civil de Moquegua (CRDCM). Como suele suceder en épocas de crisis volcánicas, el mapa fue elaborado en corto tiempo, por lo que no se pudo recibir demasiadas sugerencias por parte de las autoridades locales y la población afectada en su diseño, ya que estos últimos son los usuarios y requieren de un entrenamiento previo para su utilización.

El mapa muestra diversas áreas que incluyen terrenos agrícolas, carreteras y poblados que podrían ser afectados por una actividad eruptiva del volcán Ubinas que tenga como foco de emisión el cráter actual, suponiendo que el comportamiento eruptivo sea similar al que ha presentado el Ubinas a lo largo de su historia eruptiva, principalmente durante los últimos 500 años, durante el cual presentó erupciones vulcanianas y freatomagmáticas, es decir erupciones de baja a moderada magnitud (IEV 1 - 3) y emisiones de gases.

8.2 Metodología de elaboración

La zonificación de peligros en el mapa está basada en las áreas afectadas en erupciones pasadas, en las características morfológicas del área circundante al volcán, en la actividad pasada reciente, es decir ocurrida hace menos de 1000 años, la cual fue de tipo explosiva moderada. De modo tal, se diferenciaron tres zonas de peligro en función de su grado de peligrosidad: alto, moderado y bajo peligro, cuyos límites fueron

trazados considerando el alcance máximo de los productos emitidos en erupciones pasadas y en base a cálculos matemáticos aplicados en vulcanología (ej. Calculo de líneas de energía). Según el grado de recurrencia, desde los más frecuentes a los más ausentes, los principales peligros volcánicos corresponden a caídas de cenizas, flujos piroclásticos, flujos de barro (lahares), colapso del flanco sur con generación de avalancha de escombros, y flujos de lava.

En la elaboración del mapa también se tomaron en cuenta los datos de alturas y direcciones de vientos que predominan en áreas aledañas al volcán Ubinas proporcionados por SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Peru), quienes al inicio de la crisis volcánica (abril y mayo 2006) lanzaron globos aerostáticos al espacio al oeste del volcán Ubinas, con el fin de determinar la dirección y velocidad de los vientos que influirían en la dirección y alcance de las cenizas emitidas por el Ubinas durante una importante erupción.

En el mapa existen líneas que limitan las zonas sujetas a un grado de peligro. Por la naturaleza del mapa no implican que inmediatamente por fuera de ella se esté absolutamente exenta del peligro y riesgo o que al interior de las mismas necesariamente se tenga que ser afectada.

8.3 Descripción del Mapa

En el mapa se diferencian tres zonas pintadas de diferentes colores:

La zona de *alto peligro* (rojo) comprende un área semi-circular alrededor del cráter la cual puede ser severamente afectada por la ocurrencia de flujos piroclásticos, colapso del flanco sur, flujos de barro (lahares) y/o flujos de lava. Cualquier tipo de erupción puede afectar dicha área, inclusive las de baja magnitud, como las ocurridas desde el año de 1550 hasta 1969 (IEV 1-3). La probabilidad de ocurrencia de erupciones de magnitud baja (IEV 1 - 3) es alta, aproximadamente uno a cinco eventos cada 100 años.

La zona de *moderado peligro (anaranjado)* se extiende desde ~3.0 km hasta una distancia máxima de 12 km del cráter, la cual corresponde a cauces de quebradas y valles localizadas en el flanco Sur y SE. Esta zona puede ser cubierta por flujos piroclásticos, oleadas piroclásticas, lahares y/o avalanchas de escombros las cuales causarían graves daños en la zona. Estos últimos están basados en: a) Depósitos de avalanchas de escombros generados en el Ubinas hace aproximadamente 3760 años (Rivera et al, 1998), distinguible en la zona de Querapi. b) Depósitos de avalanchas de escombros “antiguas” depositados hace más de 150 ka (Thouret et al., 2005).

La zona de *bajo peligro* (amarillo) se proyecta a más de 30 km alrededor del cráter. Esta zona puede ser afectada por flujos piroclásticos incandescentes, oleadas piroclásticas, caídas de cenizas y/o flujos de barro. Siendo principalmente las caídas de cenizas las cuales cubrirían grandes áreas. En este caso, la distancia afectada estaría en función de la velocidad y dirección de los vientos prevalecientes en la zona. El área afectada está basado en la ocurrencia de erupciones de magnitud moderada (IEV 3 - 5)

presentada por el Ubinas, como las erupciones explosivas presentadas desde hace 25,000 años hasta hace 980 años antes del presente (Rivera, 1998; Thouret et al., 2005).

8.4 Aplicación del Mapa

Este mapa fue elaborado para ser utilizado por las autoridades de CRDCM, Gobiernos Regionales de Arequipa y Moquegua, Municipalidades Distritales, instituciones educativas y población en general que viven en inmediaciones al volcán Ubinas, como una herramienta de gestión ante una eventual erupción de moderada a gran magnitud del volcán. Este mapa tienen dos propósitos primarios: (1) mostrar las áreas de peligros ante una inminente erupción, y (2) mostrar que áreas están fuera de peligros las cuales pueden servir como refugios inmediatos en caso de una eminente erupción.



Fig. 8.1 El mapa de peligros del volcán Ubinas empleado por el Sr. Alcalde de Ubinas y la población para la gestión de crisis volcánica 2006-2009.

Durante la crisis iniciada en el año 2006-2007 INGEMMET hizo entrega de ejemplares del mapa directamente a las autoridades locales, regionales y nacionales, así como a municipalidades del valle de Ubinas, instituciones públicas educativas y de salud del valle de Ubinas para el manejo de crisis. Posteriormente, a fines de 2007 instituciones nacionales y de ayuda social como Caritas Moquegua, Oxfam América, el Gobierno Regional de Moquegua, la Municipalidad de Ubinas e INGEMMET, emprendieron la difusión del Mapa de Peligros, en todas las localidades afectadas por la erupción del volcán. Esta difusión se realiza en el marco del proyecto “LLUSP’TY: conviviendo con el riesgo, erupción del volcán Ubinas”. Para la difusión del mapa de peligros, se

imprimieron varios cientos de mapas. Actualmente el mapa de peligros se encuentra estratégicamente expuesto en muchos lugares públicos, tales como la municipalidad distrital, locales comunales, centros educativos, y centros de salud. Consideramos que esta difusión es muy importante, por que permitirá a los pobladores acceder con facilidad a la información, conocer mejor su entorno y que hacer en caso de un incremento de actividad del volcán.

CONCLUSIONES

1) El volcán Ubinas, se ubica en el Departamento de Moquegua y es el volcán más activo del sur del Perú, con aproximadamente 24 eventos volcánicos registrados los últimos 500 años. Actualmente presenta una leve e intermitente actividad explosiva.

2) La estratigrafía, el modo de disposición y distribución de los depósitos asociados al volcán Ubinas señalan que se construyó en dos grandes etapas evolutivas: la primera etapa denominada “Ubinas I”, donde se depositaron coladas de lava de composición andesítica. En la segunda etapa “Ubinas II” dividida en dos periodos: “Depósitos del cono de la cumbre y depósitos de la caldera de la cumbre. En el primer periodo se constituyó el estrato-cono superior de hasta más de 5780 m de altura, caracterizado por presentar coladas de lavas andesíticas, y dacitas que buzaban entre 30° y 40°. Esta última etapa ocurrió la formación de la caldera de explosión la cual truncó la cumbre del volcán, producto de variados episodios explosivos que produjeron depósitos de caídas piroclásticas con características freáticas y freatomagmáticas. Entre ellas dos erupciones plinianas, la última ocurrió hace 980 años.

3) Los análisis petrográficos y geoquímicos muestran que las lavas y los depósitos piroclásticos pertenecen a la serie calco-alcalina altamente potásica. Los productos emitidos en la fase inicial: Ubinas I, consisten de lavas, relativamente heterogéneas de composición andesítica, por lo tanto con una viscosidad intermedia a baja para fluir. Las cuales sustentan por que no recorrieron mucha distancia a partir del cráter, alcanzando una distancia máxima de 9 km alrededor del cráter. Los productos emitidos durante el Ubinas II (<250 ka) son relativamente heterogéneos en composición distinguiéndose desde andesitas a riolitas.

4) Según la literatura vulcanológica, la mayor amenaza y riesgo es generado por volcanes con magmatismo calco-alcalino (lavas viscosas y elevado contenido de gases, que aumenta su potencial explosivo) y condiciones hidrogeológicas favorables al desarrollo de erupciones freatomagmáticas (de gran explosividad). Situaciones que hacen del Ubinas una gran fuente de amenazas.

5) La estratigrafía del volcán Ubinas, generada en las diversas etapas de su evolución y el estado actual de la actividad fumarólica, señalan que existe la posibilidad de una próxima erupción de este volcán, ya sea de tipo freática, freatomagmática y/o vulcaniana, y que por su inmensa proporción podría asumir los caracteres de una catástrofe.

6) El mapa de peligro volcánico muestra tres zonas de peligros: alto (rojo), moderado (anaranjado) y bajo (amarillo). Este mapa fue elaborado teniendo en cuenta el principio básico de que los volcanes tendrán un patrón de comportamiento similar al que han mostrado en el registro geológico reciente y en épocas históricas. Por tal razón, para la elaboración de dicho mapa, se tuvo en cuenta las erupciones históricas y los estudios

geológicos de campo que incluyen la identificación de productos asociados a la historia eruptiva pleistocénica, holocénica y reciente del Ubinas.

7) Los datos históricos, aunque limitados en el tiempo, muestran que el volcán Ubinas tuvo 23 erupciones desde 1550 hasta 1996, entre las que se destacan eventos caracterizados por alta actividad fumarólica y emisiones de cenizas; por lo que es considerado como el más activo del sur del Perú. Además posee un período de recurrencia de 4 a 5 erupciones por siglo, razón por la cual es conveniente tener preparados planes inmediatos de prevención, en caso de que ocurra una crisis volcánica.

8) El área más afectada en caso de una futura erupción volcánica y/o un evento asociado a él sería la parte Sur, SE y E del volcán donde se localizan los valles de los ríos Ubinas y Para.

9) El flanco sur es inestable y durante un erupción moderada a importante puede colapsar y generar serios daños en el valle de Ubinas. Incluso podrían generar lahares que pueden viajar por el río Tambo hasta el océano Pacífico.

RECOMENDACIONES

Es necesario tomar en consideración los peligros que presenta el volcán Ubinas puesto que al igual que la última crisis presentada en 2006-2009 y en años anteriores (desde 1550 hasta 1996), se pueda dar en cualquier momento e incluso aumentar, anunciando una actividad eruptiva con emisión de cenizas tal como fué el caso del volcán Nevado Sabancaya (entre 1988 y mayo de 1990). Existen en Ubinas varios criterios que hacen probable una erupción futura, por lo menos con una amplitud semejante a las erupciones de los últimos cuatro siglos (caída de cenizas y lapilli con un radio de alcance de 5 a más de 18 km, alrededor del volcán). Para ello se recomienda:

1) Coordinando entre autoridades del Gobierno Regional de Moquegua, Defensa Civil y grupos de científicos y técnicos, se recomienda la elaboración de planes de emergencia local, tendientes a mitigar los efectos de una erupción volcánica. Estos planes comprenderían campañas educativas a la población que den a conocer diferentes aspectos del volcán para que conozcan las medidas a seguir en caso de una eventual erupción volcánica, ya que de esto depende el comportamiento y la colaboración de las comunidades. Estas medidas deberán incluir planes de evacuación.

2) Se recomienda evitar construir viviendas cercanas al flanco sur, a menos de cuatro kilómetros del volcán, y sobre todo al borde del río volcanmayo y Para. Con el objeto de prevenir a los pobladores ante cualquier evento eruptivo y/o el riesgo por la generación de avalanchas de escombros y/o flujos de barro.

3) Continuar con la vigilancia sísmica, la cual es una manera de comprobar el estado actual de la actividad del volcán, instalando por lo menos 4 estaciones sismológicas telemetradas sobre los flancos, para obtener datos en tiempo real de la actividad diaria del volcán. Con esta vigilancia se obtendrá información de posibles variaciones dentro de la estructura volcánica y predecir cualquier evento volcánico. También, este tipo de vigilancia es importante para detectar y localizar posibles cuerpos magmáticos en profundidad.

4) Se debe realizar el control periódico de la temperatura y la geoquímica de las aguas termales que brotan en los alrededores del volcán Ubinas, así como también de los gases (fumarolas) que emite dicho volcán. Por otro lado se debería continuar con el control periódico de observaciones visuales del fondo del cráter.

5) Continuar con la vigilancia visual (vigilancia de la fenomenología) permanente de la actividad volcánica, vigilancia de la deformación (con distanciómetro láser, GPS e interferometría radar), y vigilancia de geoquímica de las fuentes termales asociadas al volcán Ubinas que ayudarán a predecir posibles eventos de mayor magnitud para evacuar a la población.

6) Si la actividad volcánica en la presente crisis se incrementara, se recomienda a las autoridades y los pobladores de Querapi, Tonohaya, Ubinas, San Miguel, Escacha y

Huatahua, evacuar a las zonas de refugio (Anascapa y Chacchagen) hasta que la crisis volcánica culmine. Todo ello con la finalidad de que no sean afectadas por caída de cenizas y gases tóxicos que emanan constantemente el volcán. Además poder prevenir eventuales efectos desastrosos ante un incremento impredecible de actividad del Ubinas.

7) Es necesario que periódicamente SENAMHI determine las direcciones de viento en altura en el Ubinas ya que estos cambian en el tiempo. Los vientos influyen en la dispersión de las cenizas que son emitidas constantemente por el volcán, que causan efectos dañinos en las poblaciones localizadas alrededor del volcán.

8) Se recomienda a la población que permanece aun en áreas aledañas al volcán, evitar contacto con las cenizas que han cubierto sus terrenos de cultivos ya que estos causan efectos graves en el sistema respiratorio y visual.

9) Proteger las fuentes de agua de consumo humano ante la ocurrencia de caída de cenizas.

10) Realizar el mantenimiento periodico de las rutas de evacuación así como los sitios de refugio, mientras la población no haya sido reubicada de manera definitiva.

REFERENCIAS

- Alayza F., (1953) - Notas sobre el departamento de Moquegua. Boletín de la Sociedad Geográfica de Lima, Tomo LXX, p. 24-56.
- Araña V. y Ortíz R., (1983) - Volcanología, Editorial Rueda, Madrid, 458 p.
- Brantley S., Scott W., (1993) - The Danger of Collapsing Lava Domes: Lessons fir Mount Hood, Oregon. Earthquakes and Volcanoes, volume 24, number 6, U.S. Geological Survey, p. 240 – 269.
- Cas R. And Wright J., (1987) - Volcanic Successions: Modern and Ancient, Unwim Hyman, London, p. 487.
- Crandell D. R. (1988) - Deposits of pre-1980 pyroclastic flow and lahars from Mount St. Helens, Washigton, U.S. Geol. Serv. Prof. Paper 1444, 91 p.
- Chávez Chávez J., (1993) - La erupción del Volcán Misti. Pasado, presente y futuro, Zenit, Arequipa, 176 p.
- De Silva S.L., Francis P.W., (1991) - Volcanoes of the Central Andes. Springer - Verlag Berlin Heidelberg, Germany, 219 p.
- De Silva S., Salas G., Schubring S. (2008). Triggering explosive eruptions- The case for silic magma recharge at Huaynaputina, southern Peru. *Geology*, v. 36 (5), p. 387-390.
- Decker R. and Decker B., (1989) - Volcanoes; (revised and updated edition). W.H. Freeman and Company, 285 p.
- Delacour A., Gerbe M.-C., Thouret J.-C., Worner G., Paquereau P., 2007. Magma evolution of Quaternary minor volcanic centres in Southern Peru, Central Andes. *Bulletin of Volcanology*, 69: 581-608.
- Diario "El Pueblo", de fechas: 11 de enero y 30 de junio - 1936, 25 de mayo y 10 y 22 de junio - 1937, 24 de julio, 13 de setiembre - 1951, 1 y 19 de junio y 4 de julio de 1969; Arequipa – Perú
- Ewert J. y Swanson D., (1993) - Vigilando volcanes: Técnicas y estrategias, empleadas por el personal del Observatorio vulcanológico Cascades 1980-1990, Boletín N° 1966 del Servicio Geológico de los Estados Unidos.
- Francis P. W., (1993) - Volcanoes A Planetary Perspective, Oxford University Press Inc.; New York, 443 p.
- García Marquéz W., (1979) - Geología de los cuadrángulos de Omate, Puquina, Huaitire, Mazo Cruz y Pizacoma. INGEMMET, Boletín N° 29, Lima.

- Gerbe M.-C., Thouret J.-C., (2004) - Role of magma mixing in the petrogenesis of lavas erupted through the 1990-98 explosive activity of Nevado Sabancaya in south Peru. *Bulletin of Volcanology*, 66, 541-561.
- Guevara C., (1969) - Geología del cuadrángulo de Characato. *Boletín del Servicio de Geología y Minería* N° 23, Lima.
- Guillande R., Thouret J.C., Huaman D. et 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. (Ministère de l' Environnement et Centre National d' Etudes Spatiales), Paris, 120 p.
- Hayashi J. and Self S., (1992) - A comparison of pyroclastic flow and debris avalanche mobility. *Journal of Geophysical Research*, 97, p. 9063 – 9071.
- Hildreth W., Moorbath S., (1988) - Crustal contributions to arc magmatism in the Andes of Central Chile. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 98:455-489.
- Hoblitt R., Walder J., Driedger C., Scott K., Pringle P. and Vallance J., (1995) - Volcano Hazards from Mount Rainier, Washington, Open - File Report 95 - 273, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, 10 p.
- Irvine, T.N., Baragar, W.R.A., (1971) - A guide to chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Science* 8: 523-548.
- Jenks W.F. (1948) - Geología de la hoja de Arequipa. *Boletín del Servicio Geológico del Perú*, N° 9, Lima.
- Le Bas M.J., Le Maitre R.W., Streckeisen A., Zanettin B., (1986) - A Chemical Classification of Volcanic Rocks Based on the Total Alkali-Silica Diagram. *Journal of Petrology*, 27; 745-750.
- Lefevre Ch. (1979) - Un Exemple de Volcanisme de Margen Active Dans Les Andes du Perou (Sud) du Miocene a L' actual (zonation et pétrogenese des andésites et shoshonites). *Thèse de Docteur en L' Université des Sciences et Techniques du Languedoc - Sciences Naturelles, France*, 449 p.
- Legendre Ch., (1999) - Pétrogenèse du volcan "Misti Moderne"(Sud Pérou) : essai de caractérisation de l' évolution pétro-géochimique et chronologique, mémoire d'IGAL (Institut Géologique Albert de Lapparent), France, pp 88.
- Macdonald G., (1972) - *Volcanoes*. Prentice - Hall, INC. Englewood Cliffs, New Jersey; 493 p.
- Marocco R. y Del Pino M., (1966) - Geología del cuadrángulo de Ichuña, Bol. Serv. Geol. y Min. N° 14, Lima.

Mendivil S. (1965) - Geología de los cuadrángulos de Maure y Antavaje. Comisión Carta Geológica Nacional, Boletín N° 10 – INGEMMET.

McPhie J., Doyle M. and Allen R. (1993) - Volcanic Textures : A guide to the interpretation of textures in volcanic rocks, Codes Key Centre, Hobart - Tasmania p. 198.

Miller C., (1989) - Potencial Hazards From Future Volcanic Eruptions in California. U.S. Geological Survey Bulletin: 1847, United States, 17 p.

Monsalve M. y Pulgarin B., (1993) - Mapa preliminar de amenaza volcánica potencial del volcán Puracé, Revista INGEOMINAS N° 2, 1993, Popayán – Colombia

Newell N. (1949) - Geology of the Lake Titicaca region; Peru and bolivia. Geol. Soc. Am. Memoir, 36 p.

Norabuena E.O., Dixon T.H., Stein S., Harrison C.G.A., (1999) - Decelerating Nazca-South America and Nazca-Pacific plate motions. Geophysical Research Letters, 26, 22, 3405-3408.

Paquereau-Lebti P., Thouret J.-C., Wörner G., Fornari M., (2006) - Neogene and Quaternary ignimbrites in the area of Arequipa, southern Peru: stratigraphical and petrological correlations. Journal of Volcanology and Geothermal Research 154, 251-275.

Paquereau-Lebti P., Fornari M., Roperch P., Thouret J.-C., Macedo O., (2006) - Paleomagnetism, magnetic fabric, and $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ dating of Pliocene and Quaternary ignimbrites in the Arequipa area, southern Peru. Bulletin of Volcanology 70, 977- 997.

Parodi I. and Hantke G., (1966) - The active volcanoes of Perú - In catalogue of the active volcanoes of the world including, sofatara field, part. XIX, Colombia, Ecuador and Peru, Inter. Assoc. of Volcanology, p. 65 – 73.

Parodi I., (1975) - Volcanes del Perú; t. XCIV, Boletín N° 94 de la Sociedad Geográfica de Lima.

Polo J. T., (1899) - Sinopsis de temblores y volcanes del Perú. Bol. Soc. Geográfica de Lima. Año IX; tomo IX.

Quang C.X., Clark A.H., Lee J.K.W., et Guillen B.J., (2003) - $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ ages of hypogene and supergene mineralizations in Cerro Verde – Santa Rosa porphyry Cu-Mo cluster, Arequipa, Perú. Economic Geology, 98, 8, 1683-1696.

Rivera M., Thouret J.C., Gourgaud A., (1998) - Ubinas, el volcán mas activo del sur del Perú desde 1550: Geología y evaluación de las amenazas volcánicas. Bolt. de la Soc. Geol. del Perú, v.88;53-71.

Scott W. (1989) - Volcanic- Hazards Zonation and Long-Term Forecasts and Volcanic and Related Hazards. Compiled by Tilling,1989, Volcanic Hazard - Short Course in Geology: 28 th International Geological congress, Washigton D.C. p. 9 - 49.

Scott W., Pierson T., Schilling, Costa J., Gardner C., Vallance J. and Mayor J., (1997) - Volcano Hazards in the Mount Hood region, Oregon, Open - File report 97-89, U.S. Department of the interior, U.S. Geological Survey, 14 p.

Sébrier 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; Boll. Geodinamique Vol N°3(1-2), ORSTOM, France, p. 85 -106.

Sébrier M. and Soler P., (1991) - Tectonics and magmatism in the Peruvian Andes from late Oligocene time to the Present, Bolt. Geological Society of America, Special Paper 265, p. 259 – 277.

Siebert, Lee, Harry Glinken and Tadalide U., (1987) - Volcanic hazards from Bezymianny and Bandai- type eruptions, Bull. Volcal., 49 p. 435-459.

Simkim T. and Siebert L., (1994) - Volcanoes of the World - A Regional Directory, Gazeteer and chronology of volcanism during the last 10,000 year. Smithsonian Institution, Global Volcanism Program, Washington DC.

Somoza R., (1998) - Updated Nazca (Farallon)-South America relative motions during the last 40 My ; implications for montain building in the Central Andean region. Journal of South American Earth Sciences, 11, 3, 211-215.

Spann H., (1956) - El Volcán Ubinas, Proc. 8th Pacific Sci. Cong. 2 ; 56-59.

Tauro Alberto, (1967) - Diccionario enciclopédico del Perú, tomo III, editorial Mejía p. 280 – 281.

Thouret J.-C., Guillaude, R., Huaman, D., Gourgaud, A., Salas, G., Chorowicz, J., (1994) - L'activité actuelle du Nevado Sabancaya (Sud Pérou) : reconnaissance géologique et satellitaire, évaluation et cartographie des menaces volcaniques volumineuse de l'histoire dans les Andes Centrales. Bull de la Soc. Geol. de France, N° 165, (1) : 49-63.

Thouret, J-C, Juvigne, E, Mariño J., Moscol, M., Loutsch, I., Dávila, J., Legelye-Padovani A., Lamadon, S., Rivera M., (2002) - Late Pleistocene and Holocene Tephro-Stratigraphy and Chronology in Southern Peru. Bol. Soc. Geol. Perú v.93, 45-61.

Thouret, J-C, Davila J., Eissen J-P. (1999) - Largest explosive eruption in historical times in the Andes at Huaynaputina volcano, A.D. 1600, southern Peru. *Geology* 27:435-438.

Thouret J.-C., Finizola, A., Fornari, M., Suni, J., Legeley-Padovani, A., Frechen, M., (2001) - Geology of El Misti volcano nearby the city of Arequipa, Peru. *Geological Society of America Bulletin*, 113 (12): 1593 – 1610.

Thouret J-C., Rivera M., Worner G., Gerbe M., Finizola A., Fornari M., Gonzales K., (2005) - Ubinas: the evolution of the historically most active volcano in southern Peru. *Bulletin of Volcanology* 67; 557-589.

Thouret J.-C., Le Pennec J -L., Woodman R., and Macedo O., (1996) - Ubinas: Increased fumarolic activity prompts seismic and other monitoring, Smithsonian Institution, Bull. of the Global Volcanism Network; Volume 21, Number 7, p. 7 - 8, Washington.

Thouret J.C., Wörner G., Gunnell Y., Singer B., Zhang X., Souriot T., (2007) - Geochronologic and stratigraphic constraints on Neogene incision and Miocene uplift of the Central Andes. *Earth and Planetary Science Letters*, 263, 151–166.

Tilling R. I., (1989) - Short course in geology: Vol. I - Volcanic Hazards - Short course, 28th International Geological Congress, Washington D.C. , 107 p.

Valdivia Astoquilca J., (1995) - Breve reseña histórica del distrito de Ubinas (Informe publicado por el Concejo Distrital de Ubinas con motivo de un aniversario de dicho distrito, provincia Sánchez Cerro - Moquegua) Ubinas, 40 p.

Vargas L., (1970) - Geología del Cuadrángulo de Arequipa. *Bolt. Serv. Geol. y Min.* N° 24, Lima.

Walker, G.P.L., (1971) - Grain - size characteristics of pyroclastic deposits. *Journal of Geology* 79, p. 696 – 714

Wilson J. y García W. (1962) - Geología de los cuadrángulos de Pachía y Palca. *Comisión Carta Geológica Nacional, Bolt.* N° 4, Lima.

Yamamoto T., Takarata S. and Suto S., (1993) - Piroclastic flow from the 1991 eruption of Unzen volcano, Japan *Bull. Volc.* 55, p. 166 – 175.

Zamácola y Jauregui (1789) - Diario del viaje que el obispo Dr. Pedro Chávez de la Rosa, verificó a las provincias de Moquegua y Tacna en 1789, publicado en "El Deber", Arequipa 1937.