

Informe Técnico N° A6611

Evaluación de la Seguridad Física de Centros Poblados del Valle del Río Ubinas frente a los Peligros Volcánicos del Volcán Ubinas

Región Moquegua



POR:
MARCO RIVERA PORRAS
JERSY MARIÑO SALAZAR

OCTUBRE 2012

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	6
1.1	ANTECEDENTES	8
1.2	OBJETIVO DEL INFORME	9
2.	CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA	10
2.1	UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD	10
2.2	ASPECTOS SOCIO ECONÓMICOS	11
2.3	CLIMA E HIDROLOGÍA	13
3.	GEOMORFOLOGÍA	15
3.1	GEOFORMAS DE ORIGEN GLACIAR	15
3.1.1	VALLES GLACIADOS (GG-VPU)	15
3.1.2	CUMBRE DEL VOLCÁN (GG-CV)	15
3.2	GEOFORMAS DE ORIGEN VOLCÁNICO	17
3.2.1	ESTRATO VOLCÁN (GV-Est)	17
3.2.2	DOMOS DE LAVA (GV-C)	17
3.3	OTRAS GEOFORMAS	17
3.3.1	ZONA DE ALTIPLANICIE (OG-Alt)	17
3.3.2	ZONAS DE ALTAS CUMBRES (OG-CV)	17
3.3.3	LOMADAS (OG-Lom)	17
3.3.4	COLINAS (OG-Col)	18
4.	GEOLOGÍA DEL VOLCÁN UBINAS	19
4.1	ACTIVIDAD VOLCÁNICA OCURRIDA DESDE HACE MENOS DE 370,000 AÑOS HASTA LOS ÚLTIMOS MILES DE AÑOS	19
4.2	ACTIVIDAD VOLCÁNICA REGISTRADA DESDE LA ÉPOCA HISTÓRICA HASTA LA ACTUALIDAD	21
4.3	ACTIVIDAD VOLCÁNICA 2006 - 2009	21
4.3.1	CARACTERÍSTICAS DE LA ACTIVIDAD VOLCÁNICA EN BASE AL MONITOREO VOLCÁNICO	21
4.3.2	EFECTOS EN EL MEDIO AMBIENTE PRODUCIDOS POR LA ERUPCIÓN DEL AÑO 2006	21
5.	PELIGROS VOLCÁNICOS	26
5.1	CAÍDAS DE TEFRAS	27
5.2	FLUJOS PIROCLÁSTICOS	28
5.3	FLUJOS DE LODO O LAHARES	29
5.4	AVALANCHAS DE ESCOMBROS (DERRUMBE DEL FLANCO SUR)	31

5.5	ERUPCIÓN EFUSIVA: FLUJOS DE LAVA Y DOMOS	32
5.6	OTROS PELIGROS GEOLÓGICOS ASOCIADOS: EMISIONES DE GASES	33
6.	MAPA DE PELIGROS VOLCÁNICOS	34
6.1	METODOLOGÍA DE ELABORACIÓN	34
6.2	DESCRIPCIÓN DEL MAPA	35
7.	CARACTERÍSTICAS DE LOS CENTROS POBLADOS DEL VALLE DE UBINAS EXPUESTOS A LOS PELIGROS GEOLÓGICOS	38
7.1	RELACIÓN DE INSTITUCIONES EDUCATIVAS Y POBLADOS INVOLUCRADOS	38
7.2	CARACTERÍSTICAS DE LOS TERRENOS SOBRE LOS CUALES SE HALLAN ASENTADOS LOS POBLADOS INVOLUCRADOS	38
7.3	ALTERNATIVAS DE DESARROLLO EN POBLADOS EXPUESTOS AL PELIGRO VOLCÁNICO	43
8.	CONCLUSIONES	46
9	RECOMENDACIONES	49
	REFERENCIAS	52

FIGURAS:

Figura N°1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.

Figura N°2. Imagen satelital Aster donde se distingue el volcán Ubinas y poblados aledaños, localizados en el fondo del valle de Ubinas.

Figura N° 3. Mapa geomorfológico del volcán Ubinas y alrededores.

Figura N° 4. Diagrama que muestra la altura de la columna eruptiva alcanzada durante el proceso eruptivo 2006-2009. Además, se distinguen las etapas de actividad eruptiva.

Figura N° 5. Mapa geológico del volcán Ubinas (tomado de Rivera, 2010).

Figura N° 6. Mapa de peligros del volcán Ubinas (referirse al mapa oficial presentado en el *Boletín de Geología y evaluación de Peligros del volcán Ubinas*; Rivera et al., 2011).

FOTOS:

Foto N° 1. Poblado de Ubinas localizado 7 km al sur del volcán Ubinas (Abril de 2006).

Foto N° 2. Foto del fondo del cráter del Ubinas tomada el 19 de abril de 2006.

Foto N° 3. a) El 16 de abril de 2007 el Ubinas emite una columna de cenizas que alcanza 3 km de altura sobre la cima. b) Una bomba de 2 m de diámetro que formo un cráter de impacto de 6 m de diámetro, a una distancia de 300 m del cráter. Foto del 06 de Mayo de 2006.

Foto N° 4. Columna eruptiva de ceniza y gases de aproximadamente 3 km de altura, formada después de la explosión del día 20 de abril de 2006. Columna eruptiva típica de la actividad vulcaniana del volcán Ubinas.

Foto N° 5. Vista de la erupción pliniana del volcán Mayon (Filipinas) en setiembre de 1984, cuyo colapso de la columna generó **flujos piroclásticos** que descendieron por las laderas del volcán.

Foto N° 6. Vista del volcán Ubinas en diciembre de 2007, fecha en el cual presentaba actividad eruptiva. Es necesario mencionar que la cumbre del Ubinas en los meses de diciembre a marzo frecuentemente está cubierta de nieve y hielo.

Foto N° 7. Flujo de lodo (lahar) en el río Ubinas, registrado en febrero de 2007. En aquel entonces el lahar arrastró bloques de roca y afectó algunas áreas de cultivo, y varios tramos de la carretera Huarina-Ubinas-Arequipa.

Foto N° 8. El poblado de Querapi localizado justo al pie del flanco sur del volcán Ubinas. Asentado sobre depósitos de avalancha de escombros.

Foto N° 9. El poblado de Sacohaya, localizado a 7 km al sureste del volcán Ubinas.

Foto N° 10. El poblado de Ubinas es uno de los siete poblados localizados en el valle de Ubinas, amenazado por la actividad del volcán Ubinas.

Foto N° 11. El poblado de Escacha localizado en una altiplanicie, justo al pie de una colina, en la margen izquierda del río Para. Este poblado se halla, amenazado por las caídas de cenizas provenientes del volcán Ubinas.

Foto N° 12. El poblado de Tonohaya localizado 7.5 km al sureste del Ubinas, en la margen derecha del río Ubinas. Asentado sobre depósitos de flujos de barro, algunos de ellos ligados a la actividad del volcán Ubinas, localizado en la cabecera del valle.

Foto N° 13. El poblado de San Miguel localizado 11 km al sureste del Ubinas, en ambas márgenes del valle del río Ubinas, y asentado sobre depósitos aluviales, o flujos de barro. Al fondo se aprecia el volcán Ubinas.

Foto N° 14. El poblado de Huatahua localizado en la margen derecha del río Ubinas, a 12 km al sur del volcán Ubinas.

EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD FÍSICA DE CENTROS POBLADOS DEL VALLE DEL RÍO UBINAS FRENTE A LOS PELIGROS VOLCÁNICOS DEL VOLCÁN UBINAS

(Región Moquegua)

1. INTRODUCCIÓN

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), dentro de sus funciones realiza trabajos para identificar, caracterizar, evaluar y diagnosticar aquellas zonas, urbanas o rurales, que podrían verse adversamente afectadas por peligros geológicos, entre ellos los peligros volcánicos. Estudios, concebidos principalmente como herramientas de apoyo a la planificación territorial y la gestión del riesgo (planes de emergencia), son publicados en boletines y en reportes técnicos. Esta labor es desarrollada, principalmente, por la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico y tiene ámbito nacional.

El volcán Ubinas es uno de los siete volcanes activos del sur peruano, localizado en la Región Moquegua. Estudios geológicos-vulcanológicos efectuados por INGEMMET y diversos investigadores muestran que dicho volcán presentó al menos 24 crisis volcánicas desde el año de 1550 (Rivera, 1998), referidas a alta actividad fumarólica y emisiones de cenizas, con una recurrencia de 2 a 6 episodios por siglo, considerándolo por ello como el más activo del sur peruano. Esta actividad constantemente causó daños a la población, terrenos de cultivos y fuentes de agua.

Recientemente, la actividad del volcán Ubinas registrada entre los años 2006 - 2009 causó alarma y preocupación entre los pobladores del valle de Ubinas y sus autoridades, quienes antes de dicha crisis no disponían de planes de contingencia, ni estrategias destinadas a atender una crisis volcánica que involucre la evacuación de la población. En esta oportunidad se temió que la actividad se incrementara enormemente, inclusive con la generación de flujos piroclásticos o colapso del sector sur del volcán con posibles consecuencias trágicas para los más de 3000 habitantes que viven en el valle de Ubinas (situado al pie del flanco sur del volcán), cuya principal actividad socio-económica se basa en la agricultura y ganadería. Al inicio de esta crisis, es decir desde abril a agosto del 2006, se produjo un importante incremento de la actividad volcánica, traducido por las continuas emisiones de cenizas que obligó a las autoridades a evacuar en un primer momento a los pobladores de Querapi hacia el refugio de Anascapa (ocurrido los días 20-21 de abril de 2006) y, en un segundo tiempo, a más de 1500 personas al refugio de Chacchagen (~20 km al sureste del volcán). Esto ocurrió entre los días 9 al 11 de junio del 2006.

Durante la reciente actividad volcánica del Ubinas ocurrida entre los años 2006-2009, INGEMMET como integrante de la “Comisión de Ciencia y Tecnología Ad-Hoc ante el incremento de la actividad del volcán Ubinas” (oficializado por INDECI mediante Resolución Nro. 3768-2006-INDECI/11) participó activamente en el monitoreo interdisciplinario de dicho volcán.

Por otro lado, a raíz de la actividad presentada por el volcán Ubinas en marzo del 2006, el Gobierno Regional de Moquegua solicitó al INGEMMET, realizar un informe técnico sobre los poblados del valle de Ubinas que deben ser reubicados en forma definitiva debido a los peligros potenciales originados por la actividad volcánica del Ubinas (Oficio N°085-2006-P/RDC.MOQ). En dicho informe se presenta la evaluación integral de las características geológicas, geomorfológicas y de los peligros volcánicos potenciales que se ciernen sobre el valle de Ubinas. Asimismo se formularon recomendaciones para el reordenamiento del territorio del valle de Ubinas, con la finalidad de prevenir y mitigar efectos de una erupción mayor que pueda presentar el volcán Ubinas en el futuro. Este informe fue remitido en setiembre del 2006 al Gobierno Regional de Moquegua.

INGEMMET durante los últimos años continuó realizando varios estudios geológicos, volcanológicos y geofísicos del volcán Ubinas, destinados a conocer y mejorar el conocimiento acerca de la actividad volcánica pasada de dicho volcán, considerado como el más activos del sur peruano, resultado de ellos actualmente se cuenta con varias publicaciones, entre ellas:

- *Geología y evaluación de Peligros del volcán Ubinas* (Boletín N°46, Serie C), publicado en el año 2011; en donde se presentan los resultados del estudio geológico-volcanológico efectuado sobre dicho volcán, y se presenta el mapa de peligro volcánico oficial.
- *Gestión de la crisis de la actividad eruptiva del volcán Ubinas 2006-2009* (Boletín N°45, Serie C), publicado en el año 2011; en donde se presentan los trabajos conjuntos efectuados por INGEMMET y diversas instituciones geocientíficas durante la reactivación del volcán Ubinas 2006-2009, con el fin de hacer un seguimiento de la actividad y tratar de pronosticar el comportamiento del Ubinas a corto plazo.

Dichas publicaciones fueron entregadas a las autoridades del Gobierno Regional de Moquegua, Municipalidades de Ubinas y Omate, y diversas autoridades locales e instituciones sociales de Ubinas, en el Foro “Presentación de estudios del INGEMMET en la Región Moquegua”, organizado por el Gobierno Regional de

Moquegua e INGEMMET y llevado a cabo en el Auditorio El Amauta (Moquegua), el 29 de Agosto del 2012.

En base al estudio geológico-vulcanológico y al análisis de los diversos materiales emitidos durante la actividad pasada del Ubinas (incluido durante la actividad 2006-2009), y a la evaluación de las áreas que pueden ser afectadas por erupciones futuras, *se presenta un informe que detalla características de la seguridad física de los poblados del valle de Ubinas donde se localizan las instituciones educativas, así como las conclusiones y recomendaciones para la prevención y/o mitigación de desastres.*

1.1 ANTECEDENTES

El Gerente de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente – Subgerencia de Gestión Ambiental y Defensa Civil, del Gobierno Regional de Moquegua a través del Oficio N° 1186-2012 –P/GR-MOQUEGUA, dirigida al Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), solicita la opinión técnica para conocer si las 20 Instituciones Educativas en donde se van a realizar obras de inversión pública, bajo el proyecto “Escuelas Marca Perú” se encuentran ubicadas en zona de peligro por erupción del volcán Ubinas.

Considerando que las 20 instituciones educativas donde se van a realizar dichas obras se localizan dentro de siete poblados ubicados entre 4 y 12 km del volcán Ubinas, como son: Querapi, Ubinas, Tonohaya, San Miguel, Huatagua, Sacohaya, Escacha, y en otros poblados más alejados como Huarina, Matalaque y Candahua (localizados a más de 12 km al sur y sureste del volcán), en tal sentido la Gerencia de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente – Subgerencia de Gestión Ambiental y Defensa Civil, del Gobierno Regional de Moquegua requiere que INGEMMET efectúe una evaluación de la seguridad física de todos los poblados localizados en el valle de Ubinas, y otros más distantes.

Posteriormente, el Alcalde de la Municipalidad Distrital de Ubinas Sr. Pascual Baylon Coaquira Coaguila a través del Oficio S/N-2012/MDU de fecha 10 de octubre de 2012, dirigida al Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), solicita precisión respecto a la actividad del volcán Ubinas, formulada por INGEMMET anteriormente ya en varios informes técnicos: a) Resultados de monitoreo del volcán Ubinas (Informe Técnico N° A6566); b) Evaluación de la Seguridad Física de áreas aledañas al volcán Ubinas; c) Geología y evaluación de peligros del volcán Ubinas, y otros. Todo ello con el fin de conocer el grado actual de actividad del volcán Ubinas, así como, conocer los lugares que pueden ser afectados por derrumbe del flanco sur del

volcán y dar opinión sobre las limitaciones de las entidades de Gobierno para la ejecución de proyectos de inversión en el Distrito de Ubinas.

Posteriormente, el Alcalde de la Municipalidad Distrital de Ubinas Sr. Pascual Baylon Coaquira Coaguila nuevamente a través del Oficio S/N-2012/MDU dirigida al Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), solicita la actualización de la información sobre actividad del volcán Ubinas, formulada anteriormente por INGEMMET en varios informes técnicos: a) Resultados de monitoreo del volcán Ubinas, periodo setiembre 2005 – noviembre 2010; b) Evaluación de la Seguridad Física de áreas aledañas al volcán Ubinas; c) Geología y evaluación de peligros del volcán Ubinas, y otros. Toda la información actualizada deberá ser puesta a conocimiento de la Municipalidad Distrital de Ubinas para continuar con el cumplimiento de sus funciones.

El Director de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, designó al Dr. Marco Rivera Porras y MSc. Jersy Mariño Salazar, especialistas en riesgo geológico y volcánico, a formular un informe técnico detallado en base a los trabajos de geología y evaluación de peligros efectuados sobre el volcán Ubinas entre los años 2006-2010. Esto con el fin para responder a las solicitudes de la Gerencia de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente – Subgerencia de Gestión Ambiental y Defensa Civil, del Gobierno Regional de Moquegua, así como a las solicitudes de la Municipalidad de Ubinas.

En el presente informe se detallan los resultados de la evaluación técnica realizada, debidamente ilustrado con fotografías y mapas, donde se describe la seguridad física de los poblados respecto a una erupción del volcán Ubinas, de que manera estas pueden ser estas afectadas en caso se reactive nuevamente el Ubinas. El informe se pone a consideración de la Gerencia de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente – Subgerencia de Gestión Ambiental y Defensa Civil del Gobierno Regional de Moquegua, así como a la Municipalidad Distrital de Ubinas.

1.2 OBJETIVO DEL INFORME

El presente informe tiene como objetivo analizar y evaluar los peligros ligados a una eventual reactivación del volcán Ubinas que pueden desencadenar daños en los poblados, terrenos de cultivos y obras de infraestructura localizados en el valle de Ubinas. Asimismo tiene como objetivo dar alternativas para la ocupación del territorio mediante la implementación de obras y acciones de prevención.

2. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA

2.1 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

El volcán Ubinas se encuentra localizado a 90 km al Norte de la ciudad de Moquegua y a 65 km al Este de la ciudad de Arequipa ($16^{\circ} 22' S$, $70^{\circ} 54' O$; 5,672 msnm.), Fig. 1. Políticamente, pertenece al Departamento de Moquegua, Provincia General Sánchez Cerro, Distrito de Ubinas. Al Sur y Sureste del volcán se localizan al menos siete poblados donde habitan más de 3,000 personas, entre ellos Querapi, Ubinas, Tonohaya, Sacohaya, San Miguel, Huatahua, Anascapa, Huarina y Escacha. Asimismo, dentro del área de influencia del volcán existen terrenos de cultivos, carreteras carrozables y diversas obras de infraestructura (reservorios de aguas, canales de riego, etc.). La población se dedica principalmente a actividades agrícola y ganadera.

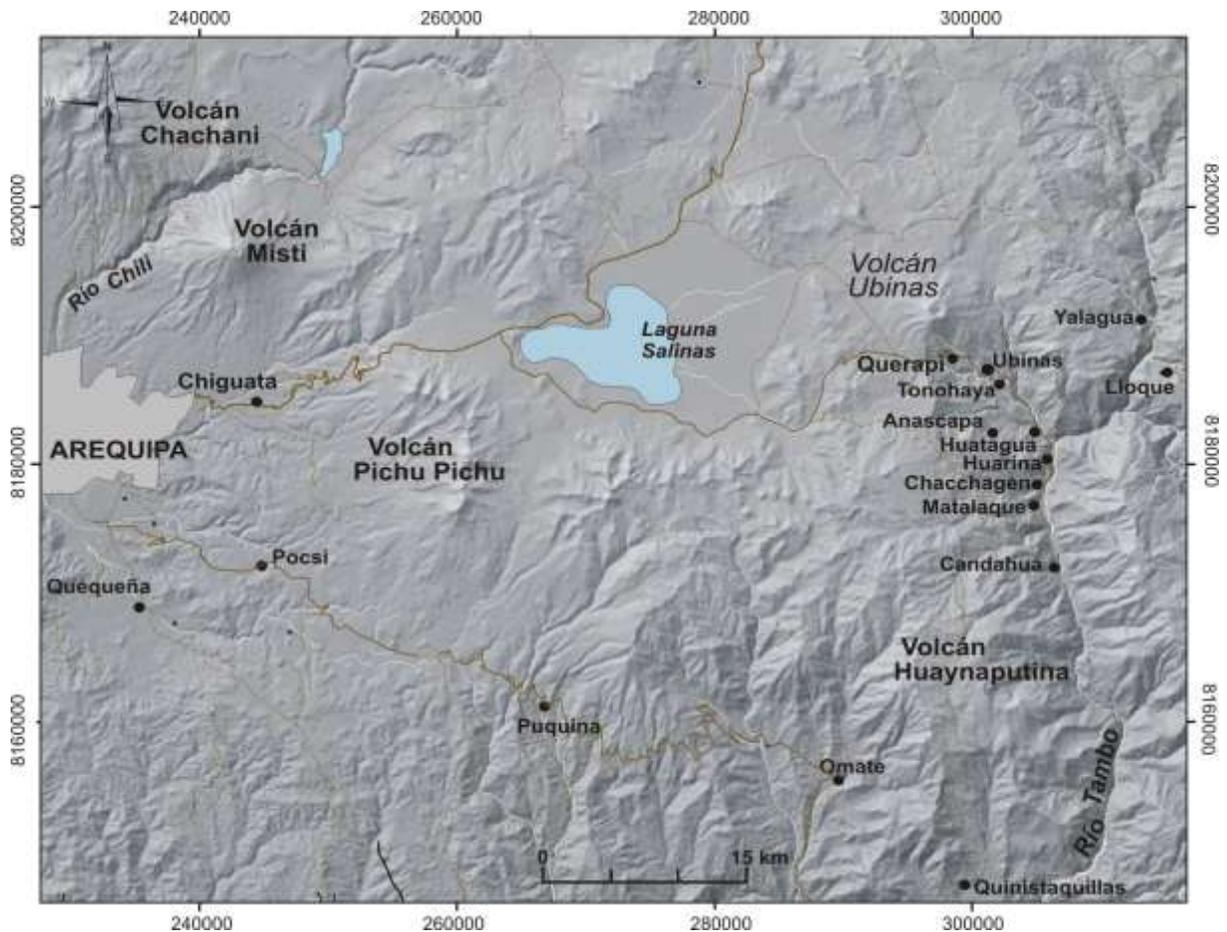


Figura N°1.- Mapa de ubicación de la zona de estudio.



Foto N° 1. Poblado de Ubinas localizado 7 km al sur del volcán Ubinas (Abril de 2006).

2.2 ASPECTOS SOCIO-ECONÓMICOS

Los datos de población y vivienda del área de influencia del volcán Ubinas han sido tomados tanto del censo sobre población y vivienda, a nivel de Distrito y Provincia, efectuado por Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) en el año 2005 (Tabla 1), así como del censo sobre población, a nivel del distrito de Ubinas, efectuado por el COER-Moquegua en el año 2006 (Tabla 2).

Tabla 1: Resultado del censo del INEI-censo X de Población y V de Vivienda de 2005

Ubicación		Nro. Localidades	Nro. de Personas	Nro. de Hogares	Nro. de Vivendas
Región	Arequipa				
Provincia	Arequipa				
Distrito	San Juan de Tarucani	59	1120	362	626
Región	Moquegua				
Provincia	Gral. Sanchez Cerro				
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

En áreas aledañas al volcán Ubinas (entre 12 y 40 km del volcán) 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), Chojata, Coalaque, Ichuña, Lloque, Matalaque, Ubinas y Yunga, pertenecientes al departamento de Moquegua. En estos distritos en total, existe una población de aproximadamente 8604 habitantes. El número de viviendas de estos ocho distritos es de 2930.

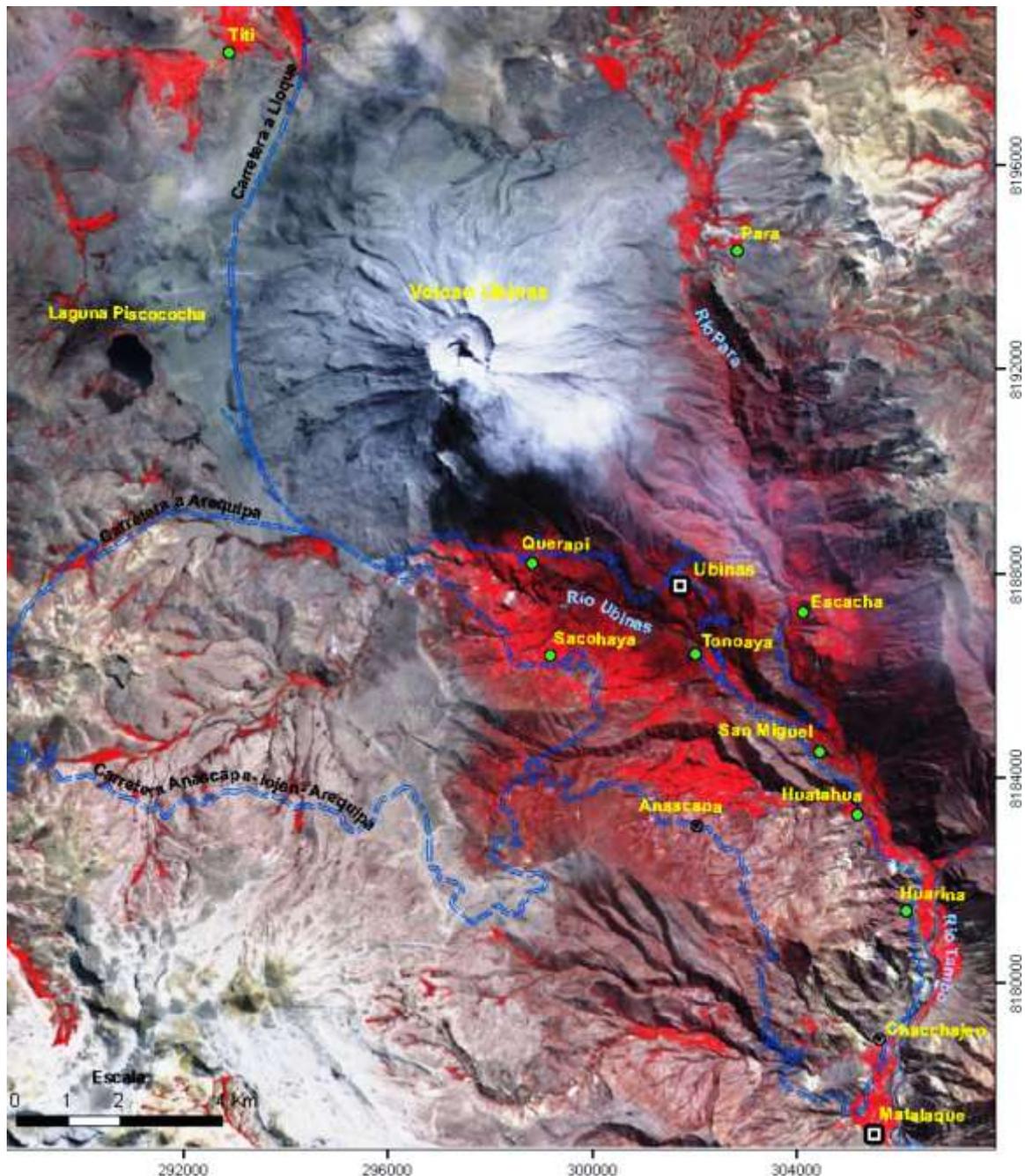


Figura N°2.- Imagen satelital Aster donde se distingue el volcán Ubinas y poblados aledaños, localizados en el fondo del valle de Ubinas.

Tabla 2: Resultado del censo poblacional efectuado por el COER-
Moquegua en 2006

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
Total	2704

En cuanto a la actividad económica, la población del valle de Ubinas se dedica, principalmente, a la actividad agrícola y ganadera. La agricultura se desarrolla principalmente debajo de los 3600 msnm., con el cultivo de maíz, papa, trigo, cebada, hortalizas, entre otros. La actividad ganadera está relacionada a la crianza de ganado ovino, bovino y caprino; sin embargo, por encima de los 4000 msnm., la crianza de camélidos es muy extendida.

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

- Empresa Minera de Borateras Salinas “INKABOR”;
- Carretera afirmada Arequipa - Santa Lucia de Salinas - Moche - Logen - Ubinas - Matalaque;
- Carretera afirmada Arequipa - Santa Lucia de Salinas - Tite - Yalagua;
- Proyectos mineros en fase exploratoria.
- Las represas Aguada Blanca y El Frayle (principales fuentes de agua y de electricidad de la ciudad de Arequipa);

2.3 CLIMA E HIDROLOGÍA

Existe un cambio o contraste de climas bien diferenciados respecto al volcán y a la parte baja de los valles de Ubinas y Para. Al nivel 4600 a 5630 msnm., donde se encuentra la parte alta y media del cono volcánico, corresponde un clima frío. El aire de esta 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 los meses de invierno (diciembre-marzo) tienen lugar las fuertes precipitaciones de lluvia, nieve y granizo. En estos meses la nieve se deposita dentro de caldera y en la parte superior de los flancos en un espesor aproximado de 40 cm y 60 cm, en un área de 5 a 7 km² (que hacen un volumen aproximado de 30 000 m³).

Hacia los niveles 3800 a 4600 msnm. se encuentra la superficie Puna, caracterizada 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). En las noches las aguas de los manantiales y riachuelos se congelan superficialmente, formando capas de hielo. En esta zona es poco posible la vida del hombre, de los animales y de las plantas.

Hacia el nivel 3800 a 2800 msnm., 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 o inestables.

En cuanto a la hidrología, existen dos cuencas ubicadas al extremo sur y sureste del Ubinas por donde drenan los ríos Ubinas y Para, respectivamente (fig. 2). Estos ríos se unen en inmediaciones del poblado de San Miguel, y juntos drenan sus aguas al río Tambo del cual son tributarios. Reciben aportes de quebradas pequeñas que durante las épocas de invierno transportan mayor volumen de agua. Las quebradas y ríos 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 en 12 m³/s durante el invierno (diciembre-marzo) y disminuyéndolo hasta 2 m³/s en los meses de verano (abril-noviembre).

3. GEOMORFOLOGÍA

El volcán Ubinas está localizado en una zona comprendida entre los 2800 y 5670 m sobre el nivel del mar (msnm), y forma parte de la Cordillera Occidental de los Andes. En el estudio efectuado, se distinguieron las siguientes geoformas:

3.1 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:

3.1.1 VALLES GLACIADOS (GG-VPU)

Al Sur y Este del volcán Ubinas se distinguen dos valles:

- a) *El valle de Ubinas*. Este valle se prolonga desde la Quebrada Volcanmayo (sur del volcán Ubinas) hasta la confluencia del río Tambo (~14 km del cráter). En la cabecera de dicho valle afloran depósitos volcanoclásticos y avalanchas de escombros, en donde los ríos Ubinas y Sacohaya han producido encañonamientos. Hacia la parte baja del valle (3100 msnm.) y en ambos márgenes del río Ubinas, se encuentran terrazas. Dichas terrazas se hallan conformadas por lahares (flujos de barro) y/o depósitos aluviales.
- b) *El valle de Para*. Es un valle glaciario estrecho y poco prolongado (de aproximadamente 11 km de longitud). Aguas arriba del valle, en ambos márgenes de este río afloran depósitos de flujos piroclásticos, flujos de lodo y depósitos aluviales. El curso superior y medio tiene una profundidad de 200 m y el ancho del cauce rara vez sobrepasa los 100 m. Aquí las paredes son casi verticales. El curso inferior también tiene forma de "U", y su profundidad, frecuentemente, sobrepasa los 400 m. El valle de Para se une al valle de Ubinas en las inmediaciones del poblado de San Miguel.

3.1.2 CUMBRE DEL VOLCÁN (GG-CV)

Corresponde a la parte más alta del estrato-cono y la caldera del volcán Ubinas. Esta zona presenta una morfología glaciaria típica, labrada en los diversos flujos de lavas y depósitos volcanoclásticos de fuerte pendiente (~30-40 de inclinación). En la cumbre del volcán, la nieve se deposita en épocas de invierno (diciembre a marzo) con un espesor promedio de 50 cm.

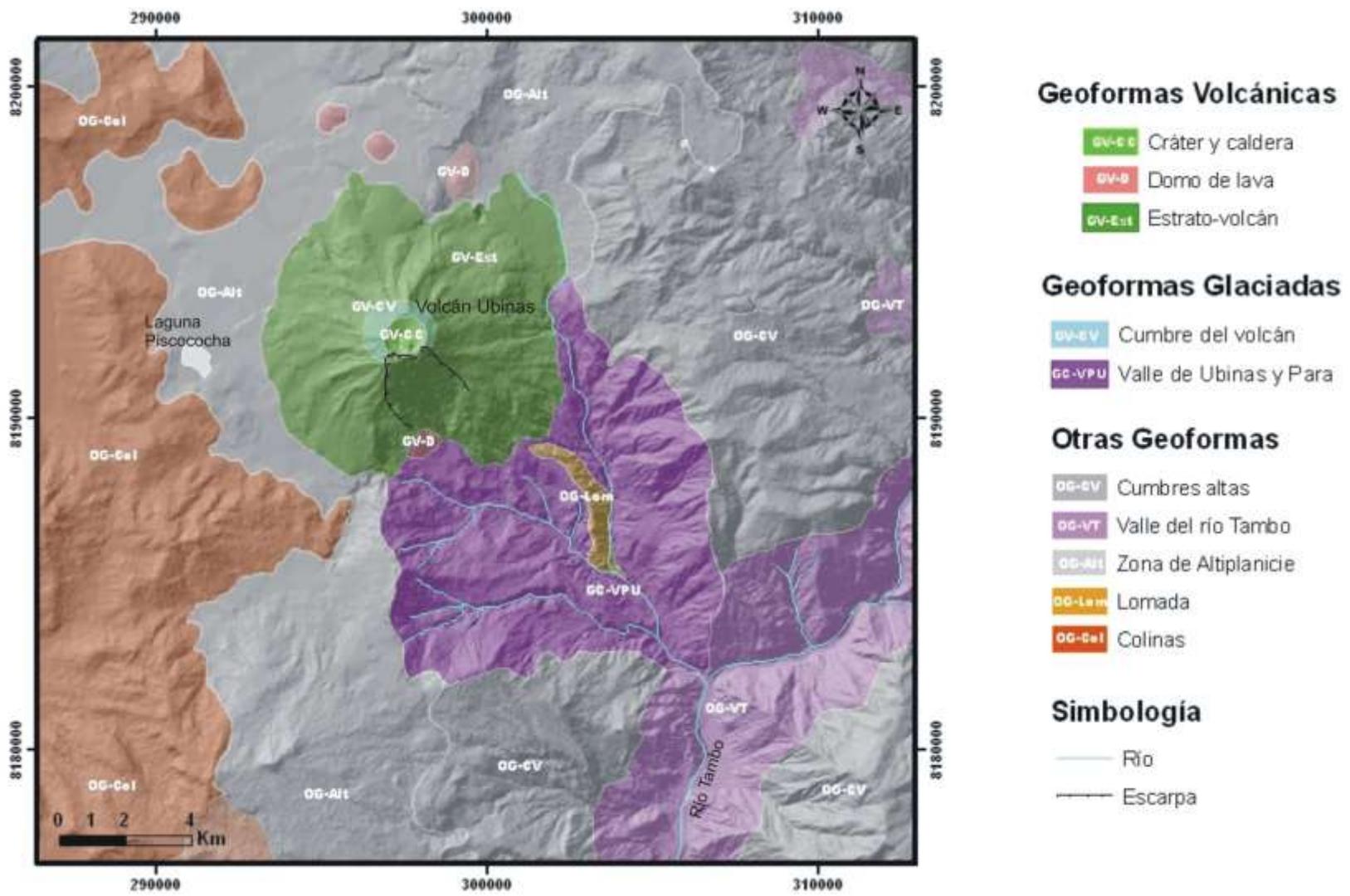


Figura N° 3. Mapa geomorfológico del volcán Ubinas y alrededores.

3.2 GEOFORMAS DE ORIGEN VOLCÁNICO

3.2.1 ESTRATO-VOLCÁN (GV-Est)

El cono volcánico está constituido por innumerables flujos de lava y flujos piroclásticos, los cuales en gran parte están cubiertos por cenizas y materiales retrabajados. Morfológicamente dentro de dicha estructura se destacan dos zonas: la base y la cumbre del edificio. La base se encuentra sobre los 4300 msnm., y presenta superficies onduladas de suaves pendientes ($< 20^\circ$). Mientras que hacia la parte alta se distingue un relieve de fuertes pendientes ($> 40^\circ$). La parte alta del edificio es truncada hacia los 5560 msnm., en donde se ubica la caldera semi-elíptica cuyo eje máximo tiene una dirección NO-SE, y mide 1,5 km de diámetro (fig. 3).

Al pie de los flancos Oeste, Norte y Este del volcán se distinguen zonas relativamente planas, denominadas zonas de altiplanicie. Mientras que en los extremos Este, sur, sureste y noreste se distinguen los valles de Ubinas y Para por donde drenan los ríos Ubinas y Para, respectivamente.

3.2.2 DOMOS DE LAVA (GV-D)

Existen cuatro domos de lava que se ubican al noreste y suroeste del Ubinas (fig. 3), algunos posiblemente ligados a la actividad del Ubinas. Dichos domos tienen formas cónicas y se encuentran cubiertos por cenizas.

3.3 OTRAS GEOFORMAS

3.3.1 ZONA DE ALTIPLANICIE (OG-Alt)

Morfología extensa que se destaca entre las demás por presentar superficies horizontales o de suaves pendientes, distribuidas al Norte, Este y Suroeste del volcán (fig. 3). Esta zona de altiplanicie litológicamente está constituida por ignimbritas soldadas, y flujos de lava que pertenecen al substrato del Ubinas. Sobre estos depósitos descansan sedimentos volcanoclásticos y cenizas.

3.3.2 ZONA DE ALTAS CUMBRES (OG-CV)

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

3.3.3 LOMADAS (OG-Lom)

Corresponden a las zonas elevadas con pendientes suaves y onduladas ubicadas al sur del volcán Ubinas. Litológicamente está constituido de lavas alteradas.

3.3.4 COLINAS (OG-Col)

Corresponden a zonas elevadas localizadas al Oeste del Ubinas. Estas zonas presentan pendientes de moderadas a abruptas (entre 30° y 80°). Litológicamente, están constituidas por lavas, flujos piroclásticos y lahares bastante cohesivos.

4. GEOLOGÍA DEL VOLCÁN UBINAS

El Ubinas (5672 msnm) tiene la forma de un cono truncado, posee una altura de 1,400 m desde su base ubicada a 4270 msnm, y cubre un área de 52 km². En la parte superior se distingue una caldera de 900 m de diámetro y dentro de la caldera un cráter de 300 m de diámetro.

A continuación se presenta de manera breve la actividad volcánica pasada del Ubinas, esto basado en estudios geológicos, estratigráficos, dataciones radiométricas ⁴⁰Ar/³⁹Ar, ¹⁴C e interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales Landsat TM y ASTER

4.1 ACTIVIDAD VOLCÁNICA OCURRIDA DESDE HACE MENOS DE 370,000 AÑOS HASTA LOS ÚLTIMOS MILES DE AÑOS

La historia eruptiva del Ubinas se divide en dos períodos: 1) "Ubinas I" (>370,000 años). Se caracterizó por presentar una actividad principalmente efusiva, que emplazó flujos de lava andesíticos que yacen en la base del volcán (fig. 4). Posteriormente, se destruyó el flanco sur del volcán generando depósitos de avalanchas de escombros cuyo volumen se distribuyó en la parte baja del flanco sur, visible en el valle de Ubinas); y 2) "Ubinas II" (370,000 años hasta el presente). Inicialmente entre ~370,000 y 270,000 años A.P. (antes del presente) se produjo el crecimiento y destrucción de domos de lava, seguido o asociado al emplazamiento de lavas que forman parte del cono superior del volcán. Posteriormente, se produjo una erupción explosiva que generó una secuencia de flujos de pómez y cenizas, que aflora entre 7 y 8 km al sureste del cráter, ligado a un probable colapso de caldera, ocurrida hace 269,000 ±14 años. Posteriormente, entre ~250,000 y 170,000 años A.P., se produjo el crecimiento y destrucción de domos, asociado a una actividad efusiva que emplazó flujos de lava. Entre 170,000 y 20,000 años A.P. predomina una importante actividad efusiva que terminó por formar el cono superior del volcán.

En una última etapa, ocurrida hace menos de 20,000 años se produjeron erupciones explosivas plinianas que formaron la caldera de la cumbre. Una de las erupciones plinianas más antiguas, de hace 14,000 años A.P. ha depositado una capa de pómez de 4.5 m de espesor, a 9 km al sur del cráter (visibles en los sectores de Sacohaya y Anascapa), sobre el cual existe otro depósito de caída pliniana de 1,2 m de espesor, constituido de lapilli pómez, datado en 7480 años A.P. Hace cerca de 3670 años ocurrió un segundo derrumbe del flanco sur del volcán que depositó una avalancha de escombros de ~1,2 km³. Estos depósitos formaron montículos al pie de la pared sur del cono (Querapi). Hace 980±60 años A.P. ocurrió la última erupción pliniana del Ubinas que depositó una capa de lapilli pómez andesíticos de 4,5 m de espesor a 6 km al sureste del volcán. Desde el año de 1550 d.C. hasta la actualidad, la actividad volcánica estuvo caracterizada por erupciones explosivas de magnitud baja (IEV 1-3), como la actividad eruptiva reciente 2006 – 2009.

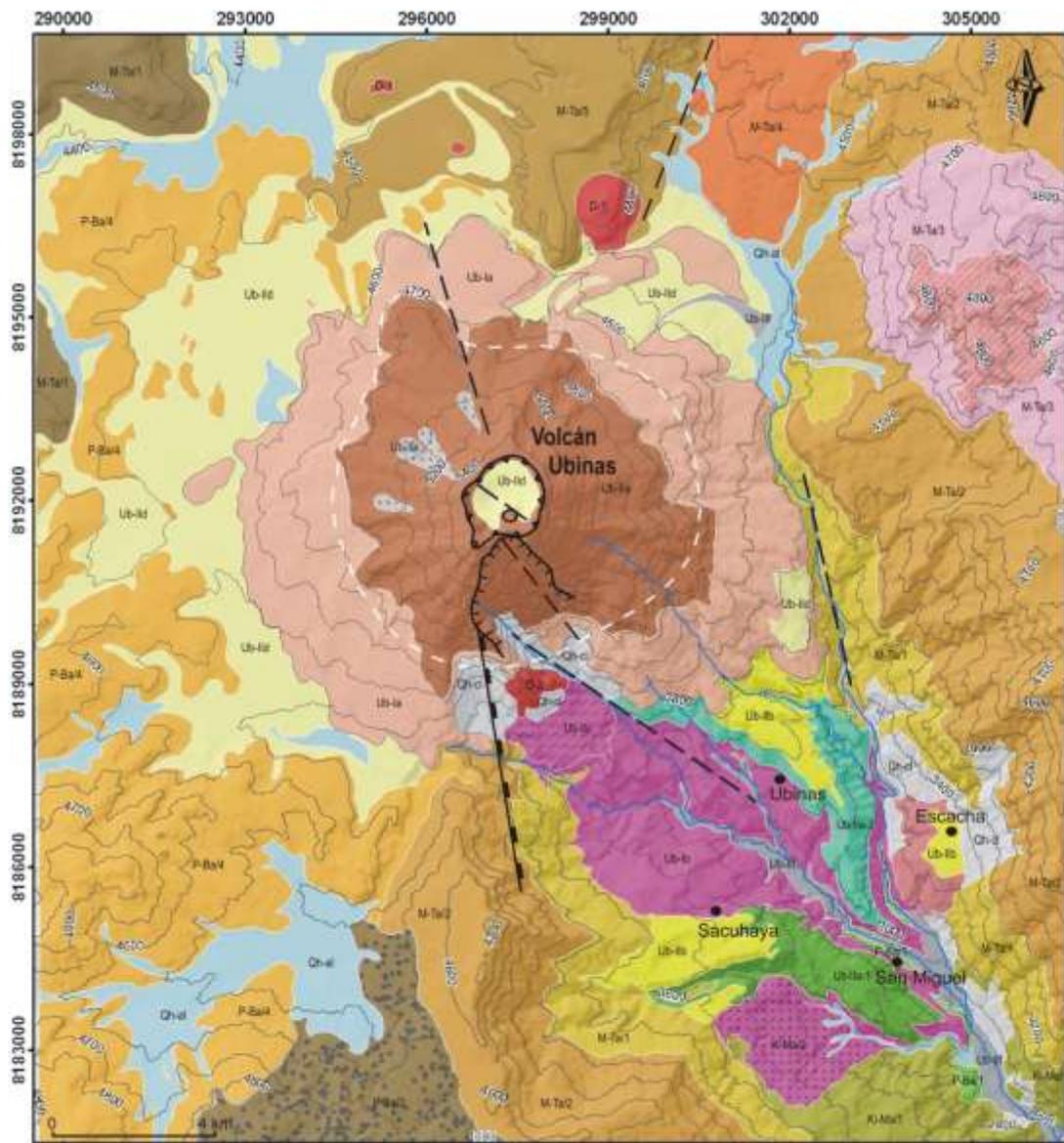
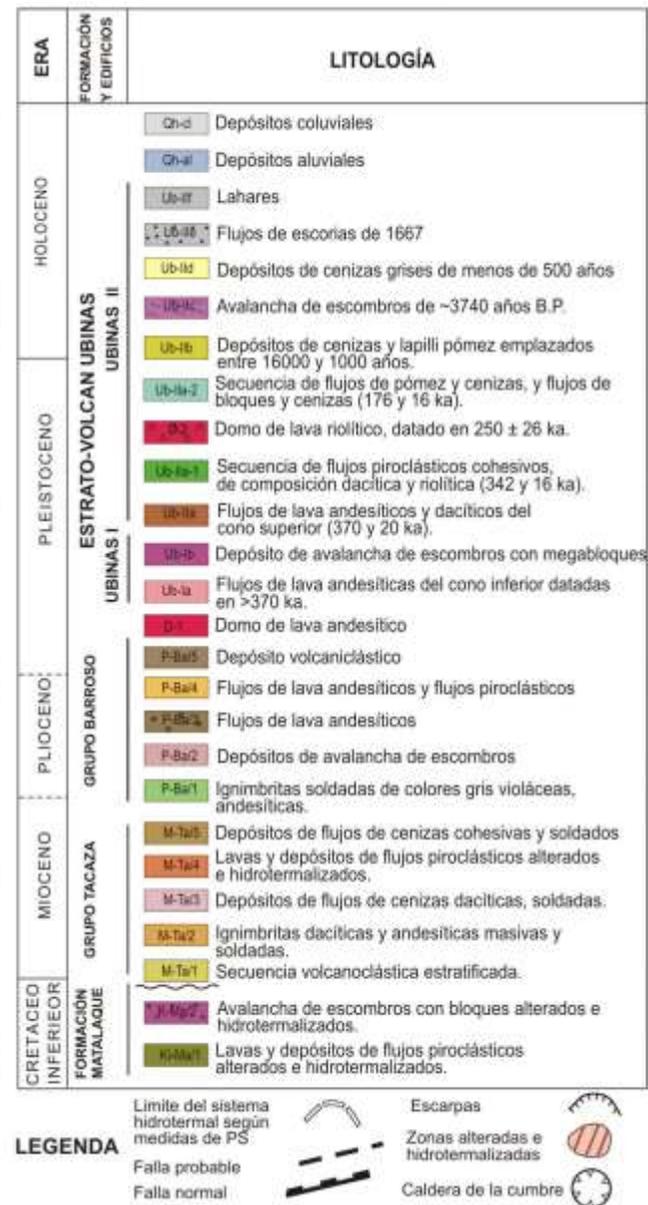


Figura N°4. Mapa geológico del volcán Ubinas (tomado de Rivera, 2010)



4.2 ACTIVIDAD VOLCÁNICA REGISTRADA DESDE LA EPOCA HISTÓRICA HASTA LA ACTUALIDAD

Relatos históricos y datos geológicos muestran que el volcán Ubinas presentó al menos 24 crisis volcánicas desde el año de 1550 (Rivera, 1998), referidas a alta actividad fumarólica y emisiones de cenizas, con una recurrencia de 2 a 6 episodios por siglo. Los eventos registrados sucedieron en los años: 1550, 1599, 1662, 1667, 1678, 1784, 1826, 1830, 1862, 1865, 1867, 1869, 1906, 1907, 1912-1913?, 1923-1925?, 1936, 1937, 1951, 1956, 1969, 1995-1996, 2006). Estos eventos causaron daños en centros poblados y terrenos de cultivos localizados en áreas aledañas al volcán. Los daños ocasionados fueron principalmente por lluvias de cenizas y emisiones de gases.

Datos históricos refieren que algunas de estas erupciones ocurridas los últimos 500 años fueron erupciones explosivas de magnitudes moderadas. Por ejemplo la erupción ocurrida el año de 1662, corresponde a una erupción de tipo Vulcaniana que tuvo un Índice de Explosividad Volcánica (IEV) 3, o la erupción del año 1677 que tuvo un IEV 2. Esta última erupción depositó un flujo piroclástico de cenizas y escoria de color gris de 1 m de espesor, a 1 km al Oeste del cráter. En áreas distales, este depósito de flujo de escoria está sobre las cenizas de la erupción del volcán Huaynaputina, ocurrida en el año de 1600 D.C.

Durante el siglo XX, el Ubinas ha presentado al menos ocho erupciones leves, caracterizados por intensas emisiones de gases y cenizas. Las caídas de cenizas causaron daños considerables en terrenos de cultivo y poblados situados alrededor del volcán, causando la muerte de algunas personas y de ganado a consecuencia de epidemias desconocidas. Frecuentemente las cenizas se mezclaron con el agua y se transformaron en flujos de barro, que discurrieron por el fondo del valle de Ubinas, destruyendo diversos cultivos (Diario El Pueblo, 1936, 1937, 1951, 1969).

Reportes periodísticos y diversas crónicas dan cuenta del malestar de la población frente a estos eventos repetitivos, manteniendo siempre su deseo de ser reubicados de manera definitiva a zonas más seguras (Diario El Pueblo, 1936, 1937, 1951, 1969).

4.3 ACTIVIDAD VOLCÁNICA 2006-2009

4.3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA ACTIVIDAD VOLCÁNICA EN BASE AL MONITOREO VOLCÁNICO

La actividad eruptiva más reciente del Ubinas se ha iniciado desde el mes de agosto del 2005, durante el cual las emisiones de fumarolas fueron en aumento. Posteriormente, el 27 de marzo el Ubinas, empezó a emitir cenizas finas que cayeron sobre el poblado de Querapi. Dicha actividad se acentuó

entre abril a octubre de 2006, luego descendió para mantenerse variable hasta el 2008 y en el 2009 fue decayendo gradualmente.

Según los tipos de eventos registrados y en base a las características de los materiales emitidos, la crisis eruptiva del año 2006 la podemos dividir en cuatro etapas:

- a) Una primera etapa, ocurrida en agosto de 2005 y el 26 de marzo de 2006, la cual consistió básicamente en emisiones de fumarolas muy tenues, que se elevaban entre 100 y 300 m sobre la cima del volcán.
- b) Una segunda etapa, ocurrida entre el 27 de marzo al 18 de abril (fig. 5) durante la cual se produjeron emisiones continuas de cenizas y gases, ligadas a una actividad predominantemente de tipo explosivafreática. Esta hipótesis está basada en la presencia de cenizas finas de colores grises de 6 cm de espesor que yacen dentro de la caldera. Estas cenizas contenían más del 70% de fragmentos lávicos alterados. Las características de estos productos hacen suponer que estos formaron parte del conducto y/o del sistema hidrotermal del volcán y fueron arrancados durante el proceso eruptivo.

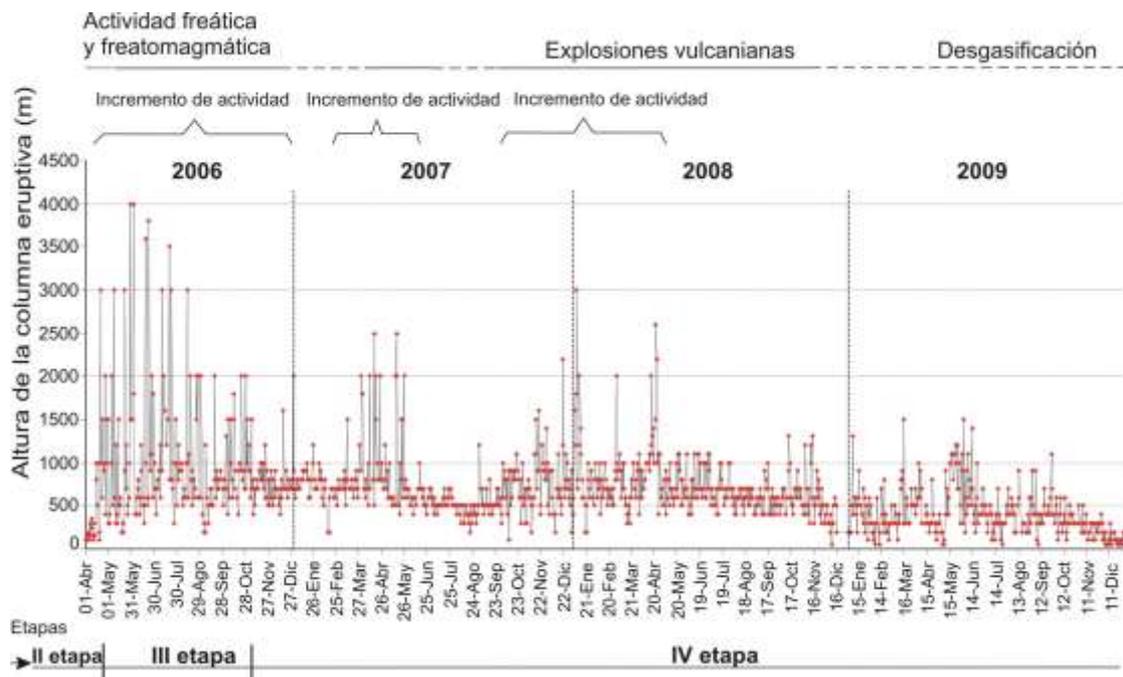


Figura N° 5. Diagrama que muestra la altura de la columna eruptiva alcanzada durante el proceso eruptivo 2006-2009. Además, se distinguen las etapas de actividad eruptiva.

- c) Una tercera etapa, ocurrida a partir del 19 de abril hasta octubre de 2006, ya que en ese tiempo se distingue lava dentro del cráter (Foto 2). Desde el 20 de abril el Ubinas empezó a emitir cenizas que presentaron mayor porcentaje de minerales juveniles fragmentados (cristales fragmentados de plagioclasa, piroxeno y óxidos de Fe-Ti y trazas de vidrio). Esto sumado a los tipos de erupciones que presentó y a las características de los

productos emitidos evidencia un régimen eruptivo explosivo con características vulcanianas.



Foto N° 2. Foto del fondo del cráter del Ubinas tomada el 19 de abril de 2006.

Los días 20 y 22 de abril, se produjeron erupciones explosivas indicando un incremento considerable de la actividad. En estos días las cenizas ascendieron entre 2800 y 3000 m de altura sobre la cima del volcán. Durante el mes de mayo de 2006 la actividad fue variable las cenizas ascendieron hasta 3000 y 4000 m sobre la cumbre (07, 22 y 29 de mayo), siendo luego dispersadas hasta una distancia mayor de 40 km en dirección E, NE, NO y SE del volcán. En el mes de junio la actividad del Ubinas fue importante. En este mes emisiones importantes de cenizas se registraron durante los días 2, 18 y 23 de junio. En este tiempo, las cenizas ascendieron entre 3500 y 3800 m de altura sobre la cima del volcán, luego fueron dispersadas a más de 40 km del volcán, en direcciones E, NE, SE y N. En el mes de julio, la actividad también fue variable. Los días 10, 19 y 22 de julio las cenizas ascendieron hasta 3000 y 3500 m sobre la cima, luego fueron dispersadas principalmente al O, NO, SO, E, hasta una distancia mayor de 70 km.

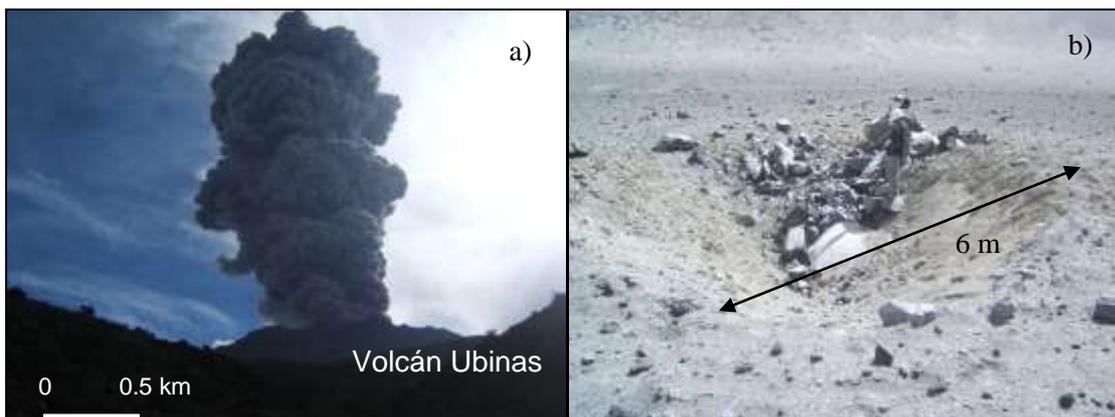


Foto N° 3. a) El 16 de abril de 2007 el Ubinas emite una columna de cenizas que alcanza 3 km de altura sobre la cima. b) Una bomba de 2 m de diámetro que formó un cráter de impacto de 6 m de diámetro, a una distancia de 300 m del cráter. Foto del 06 de Mayo de 2006.

En el mes de agosto de 2006, la actividad también fue variable. En este mes, el día 12 de agosto las cenizas ascendieron hasta 3000 m sobre la cima, luego fueron dispersadas principalmente al SO, S y SE, hasta una distancia mayor a 80 km. En el mes de setiembre, la actividad en general fue en descenso. En este mes, las plumas volcánicas emitidas ascendieron hasta 2000 m sobre la cima, principalmente el día 18 de setiembre, luego fueron dispersadas por el viento principalmente al E, SE y N, hasta una distancia mayor de 20 km. En octubre, las emisiones de gases y cenizas alcanzaron alturas que variaban entre 400 y 2000 m por encima del borde de la caldera siendo dispersados al SE, S, E, y Norte. En este mes, las alturas máximas alcanzadas por las cenizas fueron registradas los días 23 y 28 de octubre.

- d) Una cuarta etapa desde noviembre de 2006 hasta fines del año 2009. Durante los meses de noviembre y diciembre de 2006, la actividad en general fue leve, caracterizada por emisiones de cenizas que ascendieron entre 400 y 800 m y, eventualmente, a más de 2000 m sobre la cima del volcán, luego fueron desplazadas principalmente al O, SO, N, E y SE, hasta ~20 km con respecto al volcán. A partir de diciembre de 2006 y hasta el 27 de marzo de 2007, el Ubinas presentó muy leve actividad. Posteriormente, entre el 28 y 30 de marzo se registraron explosiones importantes con emisión de cenizas de colores gris oscuro y bloques incandescentes. Desde mayo al 19 de noviembre de 2007 la actividad del Ubinas fue leve, caracterizada por la emisión continua de gases. Posteriormente, el 20 de noviembre de 2007 se genera una columna de cenizas de 1500 m de altura. Desde ese entonces hasta el 14 de enero de 2008 se produjeron pequeñas explosiones que generaron eventualmente columnas de cenizas que alcanzaron entre 1500 y 3000 m de altura sobre la cima (5 y 14 de enero), durante la cual las cenizas fueron dispersadas a más de 60 km con dirección E, S y SO del volcán. Entre mediados de enero a abril de 2008 se produjo un ligero incremento de la actividad,

reflejada por la emisión de fumarolas permanentes que ascendieron entre 500 a 2500 m de altura. Desde mayo a octubre 2008 continua la actividad fumarólica, la cual fue ocasionalmente interrumpida por al menos 12 eventos explosivos que generaron columnas de gases y cenizas de 1000 a 1500 m de altura. Desde noviembre de 2008 a diciembre de 2009 la actividad fumarólica comienza paulatinamente a descender para culminar esta actividad a inicios del año 2010.

Con respecto a las cenizas emitidas, estas son de tamaños milimétricos y de colores grises claras, y gris oscuras. Hasta el mes de enero de 2007, el volumen de cenizas era aproximadamente 0,004 km³, que sugieren que el volumen de magma inyectado hasta este tiempo era de poco volumen.

4.3.2 EFECTOS EN EL MEDIO AMBIENTE PRODUCIDOS POR LA ERUPCIÓN DEL AÑO 2006

Los productos emitidos por el volcán Ubinas fueron principalmente gases volcánicos, cenizas y bombas volcánicas. La ceniza contenía un alto porcentaje de componentes hidrotermalizados y cristales fragmentados de silicatos (plagioclasas, anfíboles, piroxenos), óxidos de Fe-Ti, compuestos de sílice y sulfuros, etc. Los gases constituidos principalmente de compuestos sulfurosos se diluyeron tan pronto entraron en contacto con la atmósfera y sus efectos han sido mínimos en el medio ambiente. Esporádicamente causaron dificultades respiratorias y dolores de cabeza, principalmente en los pobladores de Querapi, Ubinas y Tonohaya. Las bombas volcánicas arrojadas por las explosiones, han alcanzado distancias menores a 2 km, motivo por el cual no han provocado mayor daño a la población e infraestructura.

El mayor impacto ambiental generado por la erupción, fue generado por la caída de ceniza volcánica, principalmente en las localidades de Querapi, Ubinas, Tonohaya, Sacohaya y Escacha. Estas provocaron problemas de salud en las personas, tales como dermatitis, conjuntivitis y afecciones estomacales. Las cenizas cubrieron los terrenos de cultivo originando la pérdida de productos de pan llevar, tales como papas, maíz, trigo, cebada, habas y alfalfa, asimismo afectó la ganadería ocasionando la muerte de camélidos, ovinos, ganado vacuno y caprino, por la ingesta de pastos contaminados con ceniza. Finalmente, ocasionó un impacto social y económico importante, ya que generó desplazados y descapitalización de los pobladores.

Se han producido caídas de cenizas en distintas direcciones alrededor del volcán. Las imágenes del satélite GOES muestran que las cenizas han alcanzado distancias superiores a los 60 km, pero a dichas distancias estas son muy finas y se mantienen en suspensión.

5. PELIGROS VOLCÁNICOS

Estudios efectuados sobre peligros volcánicos por diversos autores (por ej. Decker y Decker, 1989; Tilling, 1989; Scott et al., 1997) determinaron que los peligros volcánicos y riesgo incluyen: las caídas de cenizas y piedra pómez, flujos piroclásticos, flujos de lodo (lahares), flujos de lava, los peligros asociados a las emisiones de gases y las avalanchas de escombros. Estos eventos pueden ser generados por diversos tipos de erupción volcánica. Desde luego, una erupción volcánica puede generar más de dos tipos de eventos descritos anteriormente.

Muchas veces en la población existe confusión sobre lo que es **peligro y riesgo**. El **Peligro** significa la posible ocurrencia de un fenómeno físico de origen natural (origen volcánico), de origen tecnológico o provocado por el hombre, que puede manifestarse en un sitio y durante un tiempo de exposición prefijado. Para poder cuantificar la probabilidad de que se presente un evento de una u otra magnitud durante un período de exposición, es necesario contar con información, la más completa posible, acerca del número de eventos que han ocurrido en el pasado y acerca de la intensidad que tuvieron los mismos.

Mientras que el **Riesgo** es la probabilidad de pérdidas (vida, propiedad, capacidad productiva) dentro de un área sometida a una amenaza (o peligro) (Tilling, 1989; Scott, 1989). Se obtiene de relacionar la amenaza con la vulnerabilidad de los elementos expuestos. Por lo tanto, el riesgo puede ser de carácter vulcanológico, geológico, hidrológico, atmosférico o también tecnológico dependiendo de la naturaleza del fenómeno a la cual está referido. Usualmente el riesgo específico representa pérdidas de vida, heridos y pérdidas de inversiones de capital. Ahora bien, debido a la dificultad que significa estimar el riesgo total, o sea la cuantificación acumulativa del riesgo específico de cada uno de los elementos expuestos y para cada una de los peligros, en general se acepta referirse a un riesgo específico representativo para cada región, como por ejemplo: el riesgo por la actividad volcánica, el riesgo sísmico de las edificaciones, etc.

En resumen para evaluar el riesgo deben seguirse tres pasos: la evaluación de la amenaza, el análisis de la vulnerabilidad y la estimación del riesgo como resultado de relacionar los dos parámetros anteriores. El INGEMMET realiza principalmente la evaluación del peligro.

En consecuencia en esta sección se discutirá los peligros volcánicos que puede presentar el Volcán Ubinas en una eventual reactivación. Desde luego se supone que una próxima erupción no diferirá mucho de las anteriores en sus características 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 recientemente (Rivera et al., 2011).

A continuación se describen los tipos de peligros volcánicos que podría presentar el Ubinas en una próxima reactivación. Estos peligros se ciernen sobre los aproximadamente 3000 habitantes que viven en los siete poblados localizados en

el valle de Ubinas. Para este estudio establecimos un registro estratigráfico de productos volcánicos que yacen alrededor del Ubinas, los cuales por sus características (tipo de depósito, espesor, litología, etc.) se asignaron a diversos tipos de erupciones volcánicas (vulcaniana, pliniana, etc.) o escenarios. Asimismo, se hicieron diversos estudios: mineralógicos, petrológicos y geoquímicos de los productos para inferir el comportamiento pasado de dicho volcán. Finalmente, se evaluó la morfología del volcán y de las áreas aledañas.

A continuación se presenta los cinco tipos de peligros volcánicos:

5.1 CAÍDAS DE TEFRAS

Durante una erupción explosiva las cenizas y/o piedra pómez son eyectadas a la atmósfera en forma de una pluma volcánica que comúnmente pueden alcanzar alturas de hasta 10 km. En caso de erupciones fuertes o violentas (ej. caso de una erupción pliniana) las cenizas y pómez pueden alcanzar alturas de hasta 30 km. Posteriormente las cenizas o piedra pómez caen y se depositan alrededor de un volcán. Las cenizas pueden causar víctimas y daños a la propiedad por el impacto de los materiales que caen sobre estas, formando una capa encima del terreno. Cuanto mayor sea el grado de explosividad de una erupción, mayor será el volumen de material emitido, mayor el tamaño de los diámetros y la presencia de lluvias, en tal sentido más graves 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 tefra suspendida en el aire puede causar serios problemas respiratorios y perturbar el tráfico vehicular.



Foto N° 4. Columna eruptiva de ceniza y gases de aproximadamente 3 km de altura, formada después de la explosión del día 20 de abril de 2006. Columna eruptiva típica de la actividad vulcaniana del volcán Ubinas.

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 de 2007).

Existe una mayor posibilidad que la próxima actividad eruptiva del Ubinas sea leve a moderada, en efecto, el grado de recurrencia de una erupción de este tipo es alto, al menos de dos a cuatro veces en un siglo. Esta actividad generaría caídas de cenizas; ya que este fenómeno se ha dado los últimos 500 años, y durante la crisis reciente 2006-2009. Durante una erupción leve a moderada la ceniza viajará en mayor proporción hacia el Este en época lluviosa (diciembre a marzo) y al noreste, sur y sureste en época seca (abril a noviembre), influenciados por la dirección y la velocidad de los vientos que prevalecen para la zona. La distancia recorrida para las caídas de cenizas podría sobrepasar los 40 km.

Para el volcán Ubinas, la ocurrencia de erupción explosivas violentas (tipo pliniana) en un corto o mediano plazo (años a decenas de años) tiende a ser poco probable. Sin embargo, es necesario prever mecanismos y planes de emergencia para una posible erupción pliniana, toda vez que este tipo de actividad se ha manifestado en varias ocasiones en la historia eruptiva del Ubinas. La última erupción pliniana ocurrió hace 1000 años, cuyos depósitos cubrieron un área de 800 km² y cuyo eje máximo se prolongó a más de 40 km en dirección Este-Sureste, donde el espesor del depósito alcanza 25 cm. Erupciones plinianas se producen entre 1000 y 7000 años en el Ubinas.

5.2 FLUJOS PIROCLÁSTICOS

Durante una erupción explosiva moderada a fuerte pueden generarse flujos piroclásticos que corresponden a nubes calientes compuestas de una mezcla de bloques, bombas, y cenizas dentro de una emulsión de gases calientes que las soportan. Los flujos al ser expulsados a la superficie pueden desplazarse a velocidades de 100 a 300 km/hora (Hoblitt et al., 1995) y tienen tendencia a encauzarse a lo largo de las quebradas y valles. La temperatura máxima de los flujos piroclásticos varía entre 350 a 800 °C. Los flujos piroclásticos son comunes en la mayoría de las erupciones volcánicas explosivas de moderada a alta magnitud (IEV >3). 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.

Durante una erupción explosiva moderada, la posibilidad de ocurrencia de flujos piroclásticos en el volcán Ubinas es de alta a moderada; la zona de mayor riesgo, que podría ser afectada por estos flujos, comprende las quebradas Sacohaya, Volcanmayo, Chillón, Infiernillo, la cabecera de los valles de Ubinas y de Para.



Foto N° 5. Vista de la erupción pliniana del volcán Mayon (Filipinas) en setiembre de 1984, cuyo colapso de la columna generó **flujos piroclásticos** que descendieron por las laderas del volcán.

En el Ubinas se han reconocido pocos flujos piroclásticos producidos por una actividad explosiva pasada. Entre ellas se ha reconocido un flujo de escorias poco voluminoso generado por una actividad similar. Este flujo de 0,8 m de espesor aflora en el flanco NE del volcán, a 3 km del cráter y fue depositado en el año 1677.

Los flujos piroclásticos “voluminosos” generados por erupciones del Ubinas son poco abundantes. Estos ocurrieron entre 240,000 y 14,000 años A.P. (Rivera, 2010). 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 la quebrada la Infiernillo y en el valle de Ubinas. Desde luego, en caso que el Ubinas presente una erupción pliniana, la posibilidad de ocurrencia de flujos piroclásticos es de baja a moderada. Los cálculos efectuados sobre la distancia que irán a recorrer corresponde a una distancia mínima de 9 km, hasta donde recorrerían los flujos piroclásticos, igual como lo ocurrido anteriormente. La zona de mayor peligro por flujos piroclásticos radica en un radio de 8 km alrededor del cráter. Dentro de esta área, se consideran las quebradas Sacohaya, Volcanmayo, Chillón, Infiernillo y los ríos Ubinas y Para (Sur y SE del volcán Ubinas) por donde se canalizarían o emplazarían. Afectando a los poblados de Querapi, Tonohaya, San Miguel y probablemente Ubinas.

5.3 FLUJOS DE LODO O LAHARES

Un flujo de lodo o un lahar está compuesto por una mezcla de rocas 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 por interacción de productos calientes (lava o pirocláastos) con la nieve o hielo que permanece en la cumbre del volcán. La distancia alcanzada por un lahar depende de su volumen y puede llegar a más de 100 km incorporando fuentes adicionales de agua. 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 lodo, con o sin erupción (periodo de lluvias), ya que, durante los meses de diciembre y marzo presenta hielo y nieve en la cumbre sur (Foto 6). Este hielo y nieve al fundirse se convertiría en agua que fluye y se mezclaría con el material susceptible de ser incorporado en el camino del lahar. También juega un rol importante la pendiente de la laderas del volcán (45° en la parte alta del volcán), y pendientes de las quebradas aledañas. Los lahares se desplazarían por las quebradas Volcanmayo, Sacohaya y Chillón, con dirección al río Tambo. La presencia de depósitos de flujos de barros antiguos y recientes en los cauces de los ríos Ubinas y Para, y en las quebradas Infiernillo, Sacohaya y Chillón, indican que la posibilidad de ocurrencia de este tipo de evento ante cualquier erupción volcánica es alta.



Foto N° 6. Vista del volcán Ubinas en diciembre de 2007, fecha en el cual presentaba actividad eruptiva. Es necesario mencionar que la cumbre del Ubinas en los meses de diciembre a marzo frecuentemente está cubierta de nieve y hielo.



Foto N° 7. Flujo de lodo (lahar) en el río Ubinas, registrado en febrero de 2007. En aquel entonces el lahar arrastró bloques de roca y afectó algunas áreas de cultivo, y varios tramos de la carretera Huarina-Ubinas-Arequipa.

Los lahares generados en el Ubinas pueden afectar varios tramos de la carretera Arequipa – Ubinas – Matalaque, dañar canales de agua, terrenos de cultivos, entre otros. También puede afectar los poblados de Tonohaya, San Miguel y Huatahua por desbordes. Tomarían entre 20 a 40 minutos en descender hacia los valles de los ríos Ubinas y Para, ocasionando daños en ambas márgenes.

Durante una erupción pliniana inevitablemente se podrían generar voluminosos lahares que descenderían por las diversas quebradas que drenan del volcán Ubinas. Estos flujos serían tan voluminosos y móviles que podrían viajar por el río tambo hasta el Océano Pacífico. Esta hipótesis está basada en la presencia de depósitos de flujos de lodo antiguos y recientes en los cauces de ríos Ubinas y Para, y en las quebradas Infiernillo, Sacohaya y Chillón. Así como, en la distancia recorrida por los flujos de lodo generados por la erupción pliniana del año de 1600 d.C. del volcán Huaynaputina.

5.4 AVALANCHA DE ESCOMBROS (DERRUMBE DEL FLANCO SUR)

Los derrumbes de flanco de volcanes son comunes en numerosos volcanes del sur del Perú como el Misti, Ubinas, Tutupaca, Ticsani y el Hualca-Hualca. Constituyen una de los principales peligros volcánicos. Los productos resultantes son las avalanchas de escombros cuyo volumen puede involucrar más de 1 km³ de material suelto, y se desplazan a más de 100 km/hora y más de 40 km de su fuente (Hoblitt et al., 1995; Scott et al., 1997).

El volcán Ubinas presenta un escarpe de pendiente pronunciada en el flanco sureste, debido a que este flanco se ha derrumbado al menos dos veces durante la historia del Ubinas. En la actualidad, este flanco es inestable por

tres razones: (1) presenta fuertes pendientes ($>70^\circ$) y 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 de rumbos 30° y 35° noroeste.

En caso de la ocurrencia de un sismo de magnitud mayor de 5, de una erupción violenta (pliniana, subpliniana o freatomagmática) o del crecimiento de un domo de lava dentro del cráter, puede provocar el colapso o derrumbe de la pared sur, generando avalanchas de escombros. Estas avalanchas rellenarían las quebradas Sacohaya, Volcanmayo, Chillón, prolongándose hasta la parte baja del valle de Ubinas, hasta una distancia mayor a 8 km del volcán, para convertirse luego en lahares y canalizarse en el río Tambo. La hipótesis sobre la generación de avalanchas de escombros está basada en la existencia de: a) Avalanchas de escombros del Pleistoceno superior ($>340,000$ años) 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 sureste del cráter); y b) Avalanchas de escombros recientes de hace 3670 ± 60 años A.P. (Thouret et al., 2005), depositadas al pie de la pared sur del edificio volcánico, a 4.5 km al sureste del cráter, sobre la cual se asientan poblados como **Querapi y Sacohaya**.

5.5 ERUPCIÓN EFUSIVA: FLUJOS DE LAVA Y DOMOS

Una erupción efusiva consiste en la emisión pasiva de flujos y coladas de lava. En nuestro medio las lavas son principalmente de composición andesítica, cuyas velocidades de desplazamiento no superan los metros cúbicos por segundo, y los flujos raramente se prolongan más de 8 km de la fuente (Francis, 1993).

Aunque el volcán Ubinas ha emitido gran cantidad de flujos de lava durante su historia eruptiva aproximadamente 20,000 años A.P. (Rivera, 2010), es poco probable que ocurra tal evento en una próxima actividad. Esto se sustenta en los diversos depósitos de caída y flujos piroclásticos recientes encontrados sobre los afloramientos lávicos que alegan que la actividad durante el holoceno y la época histórica fue de tipo explosiva.

Actualmente, si se produciría una erupción efusiva las lavas serían similares a las emplazadas en épocas anteriores. Estas lavas tendrían que rellenar la caldera para poder desplazarse por los flancos. Para que ocurra este proceso, las lavas deberían sobrepasar un volumen mayor a 1 km^3 y desde luego no recorrerían mucha distancia a partir del cráter (menos de 6 km), pudiéndose predecir su curso. Además, es necesario mencionar que el emplazamiento de lavas dentro del cráter y la caldera del Ubinas pueden propiciar el colapso del flanco sur del volcán, el cual es débil y poco resistente al embalse de la lava. 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

20 km². En cualquier caso, los flujos de lava rara vez amenazarían la vida de los pobladores ya que les daría tiempo para evacuar la zona.

5.6 OTRO PELIGRO ASOCIADO: EMISIONES DE GASES

La mayoría de volcanes 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). En cualquier tipo de erupción el volcán Ubinas podría emitir gases similares, representando un peligro para los ojos y el sistema respiratorio de personas y animales. La acumulación de gases nocivos como SO₂ y CO en las depresiones topográficas de los flancos Este y sureste 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 contaminarían las fuentes naturales y artificiales de agua, con grave riesgo para la salud humana, agricultura y ganadería.

6. MAPA DE PELIGRO VOLCÁNICO DEL UBINAS

Un mapa de peligro volcánico corresponde a un medio de comunicación sobre el grado de peligro a la que están sujetas o expuestas las áreas adyacentes a un volcán activo. Estos mapas forman una parte fundamental de los planes de emergencia y respuesta, y son considerados vitales para la coordinación de prevención, protección y evacuación.

El mapa elaborado al inicio de la crisis 2006-2009 (Mariño et al., 2011) presenta los peligros para un escenario específico: erupción vulcaniana y/o Saint-Vincent, es decir, erupciones de baja a moderada magnitud (IEV 1 - 3) y fue elaborado para ser entregado a las autoridades del Gobierno Regional de Moquegua, Municipalidades Provinciales y Distritales, Defensa Civil e instituciones públicas y privadas para el manejo de esta crisis. Se optó por este tipo de mapa, debido a que la actividad mostrada por el volcán Ubinas en los últimos 500 años fue baja a moderada (IEV 1 - 3). 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.

El mapa recientemente presentado (Rivera et al., 2010), es un mapa actualizado que toma en cuenta diversos escenarios eruptivos: erupciones leves y también erupciones violentas. Este mapa muestra diversas áreas que incluyen poblados, terrenos agrícolas y carreteras que podrían ser afectados por una erupción 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 1000 años, durante el cual presentó erupciones explosivas moderadas a fuertes. Este mapa podrá ser utilizado para las futuras gestiones de crisis del Ubinas.

6.1 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 y en la actividad eruptiva pasada ocurrida hace menos de 1000 años, la cual fue de tipo explosiva alta a moderada. En ese sentido, 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 la aplicación del concepto de cono de energía (Malin y Sheridan, 1983), el cual relaciona el alcance horizontal alcanzado por un flujo (L) con la diferencia de alturas (H) entre el punto de generación de flujo y el punto de depositación. Este método es ampliamente utilizado en la elaboración de mapas de peligros alrededor del mundo.

En la elaboración del mapa también se tomaron en cuenta los datos de altura y direcciones de vientos predominantes en áreas aledañas al volcán Ubinas proporcionados por SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología), que al inicio de la crisis volcánica (abril y mayo 2006) lanzó globos aerostáticos al espacio, desde una zona ubicada al Oeste del volcán Ubinas, con el fin de determinar la dirección y velocidad de los vientos que influirían en la dirección y dispersión de las cenizas emitidas por el Ubinas. Asimismo, se tomaron datos del Instituto Geofísico del Perú sobre direcciones y velocidades de vientos regionales prevalecientes en la zona.

6.2 DESCRIPCIÓN DEL MAPA

El mapa de peligros está constituido de un mapa principal a escala 1:50 000, en el cual se diferencian tres zonas pintadas de diferentes colores:

ZONA DE ALTO PELIGRO (ROJO): comprende un área semi-circular alrededor del cráter del Ubinas que involucra diversas quebradas y valles que drenan del Ubinas, las cuales pueden ser severamente afectadas por la ocurrencia de flujos de lodo (lahares), flujos piroclásticos, proyectiles balísticos, colapso del flanco sur 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 1-2). La probabilidad de ocurrencia de erupciones de magnitud baja (IEV 1-2) es alta, aproximadamente, uno a cinco eventos cada 100 años.

Dentro de la zona de **alto peligro** se localizan los **poblados de Querapi, Tohonaya, San Miguel y Huatagua.**

ZONA DE MODERADO PELIGRO (ANARANJADO): se extiende desde ~5,0 km hasta una distancia máxima de ~12 km del cráter, la cual corresponde inmediatamente a la zona colindante con la zona de alto peligro. Esta zona involucra cauces de quebradas y valles localizados al pie del volcán. Asimismo, comprende la parte de la altiplanicie volcánica (sectores Oeste, Norte y Noreste del Ubinas). Esta zona puede ser cubierta por flujos piroclásticos, oleadas piroclásticas, lahares y/o avalanchas de escombros en caso que la erupción sea de moderada a alta magnitud (IEV 3-5). **Dentro de la zona de moderado peligro se localizan los poblados de Ubinas, Sacohaya y Escacha.**

ZONA DE BAJO PELIGRO (AMARILLO): se proyecta a más de 10 km alrededor del cráter. Esta zona puede ser afectada por flujos piroclásticos incandescentes, oleadas piroclásticas, y/o flujos de barro, solo en caso que la erupción sea de alta a muy alta magnitud (IEV >4). **Dentro de la zona de bajo peligro se localizan los poblados de Anascapa y Matalaque.**

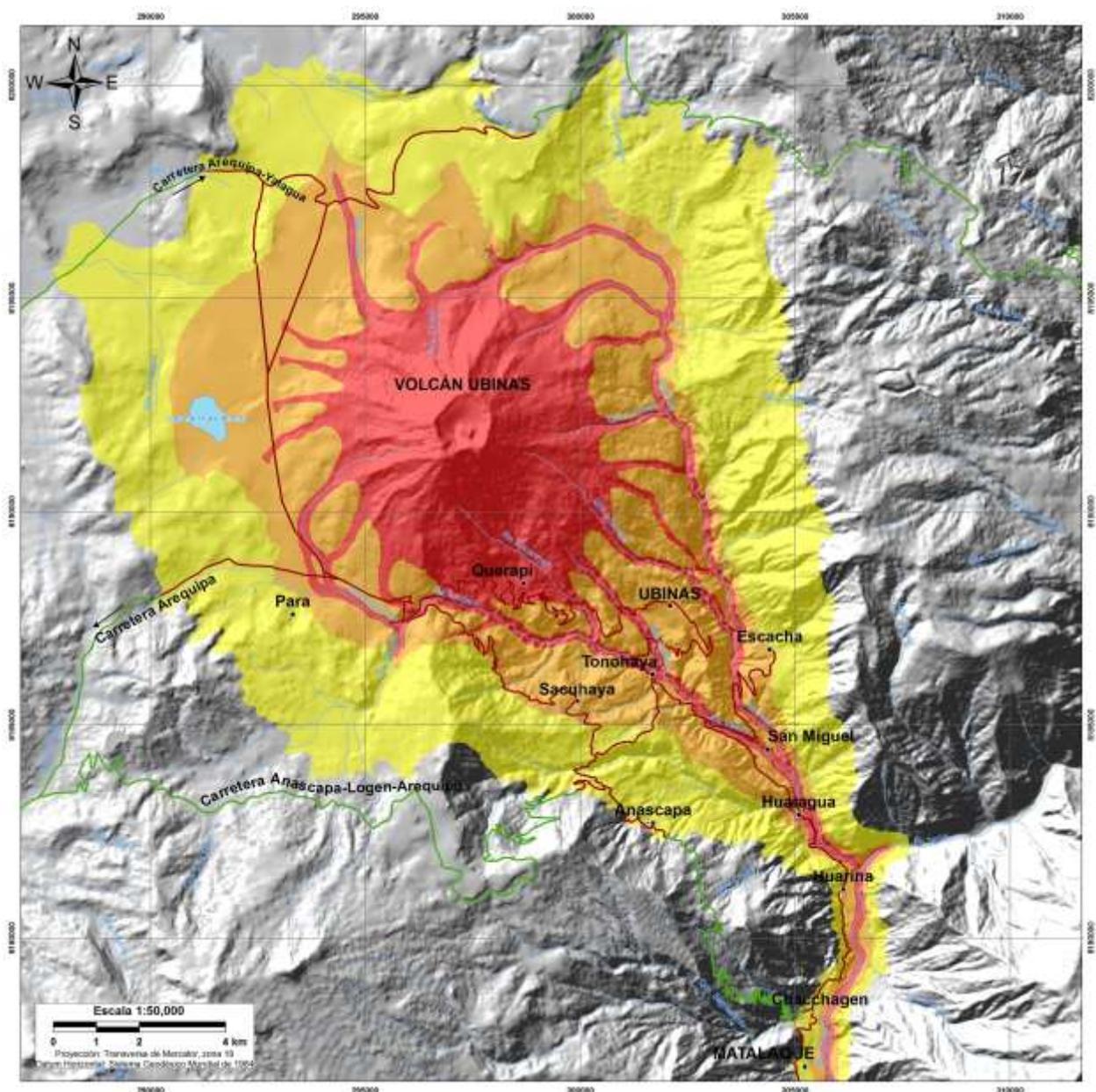


Figura N° 6. Mapa de peligros del volcán Ubinas (referirse al mapa oficial presentado en el “Boletín de Geología y evaluación de Peligros del volcán Ubinas”; Rivera et al., 2011).

En este estudio no se considero la zona de Candahua, por estar alejado de la zona de influencia directa del volcán Ubinas.

Por otro lado, el mapa de peligros presenta dos mapas adicionales, a escala regional, donde se muestran áreas de peligros que serían afectadas por caída de tefras (pómez, cenizas, escorias) del Ubinas. Estos mapas toman en cuenta dos escenarios: para erupciones leves a moderadas (vulcaniana, Saint-Vincent, freatomagmática) y erupciones fuertes (subplinianas, plinianas).

En el caso de una erupción moderada se generarían principalmente cenizas, que pueden viajar hacia el Oeste en época lluviosa (diciembre a marzo), y hacia el NE, E y/o SE en la época seca (abril a noviembre). Existe una zona

de mayor peligro (zona roja), próxima al cráter la cual sería la más afectada, e inmediatamente una zona naranja y otra amarilla que serían afectadas en caso de una mayor actividad. El área afectada está basada en la ocurrencia de erupciones de magnitud moderada (IEV 1 - 2) presentada por el Ubinas los últimos 500 años.

Para el caso de una erupción altamente explosiva (subpliniana, pliniana) se han establecido tres zonas de peligro que podrían ser cubiertas por caídas de lapilli pómez y cenizas: a) zona de alto peligro; zona en roja cercana al Ubinas; b) zona de moderado peligro, área de color naranja comprendida entre 40 y 60 km del Ubinas; y c) zona de bajo peligro, que corresponde al área de color amarilla ubicada a más de 50 km del Ubinas. La delimitación está basada en el área cubierta durante las erupciones plinianas ocurridas hace 7000 y 1000 años A.P. del volcán Ubinas (Thouret et al., 2005; Rivera, 2010). Los vientos también pueden influenciar en la distribución de la caída de pómez, pudiendo estas alcanzar distancias de más de 40 km del volcán.

7. CARACTERÍSTICAS DE LOS CENTROS POBLADOS DEL VALLE DE UBINAS EXPUESTOS A LOS PELIGROS GEOLÓGICOS

7.1 RELACIÓN DE INSTITUCIONES EDUCATIVAS Y POBLADOS INVOLUCRADOS

En la Tabla N° 3 se presenta la relación de las 20 instituciones educativas localizadas dentro de los poblados de Querapi, Ubinas, Tonohaya, San Miguel, Huatagua, Sacohaya, Escacha, localizados entre 4 y 12 km al sur del volcán Ubinas, y otros poblados mas alejados como Huarina, Matalaque y Candahua (localizados a mas de 12 km al sur y sureste del volcán), donde se van a realizar obras de inversión pública.

Tabla N° 3: Lista de Instituciones Educativas donde se realizarán obras de inversión pública

N°	IIEE	DISTRITO	CENTRO POBLADO	OBSERVACIONES
1	246	MATALAQUE	CANDAHUA	
2	43119	MATALAQUE	CANDAHUA	
3	43106	MATALAQUE	HUARINA	
4	IEI 43103	MATALAQUE	HUATAGUA	
5	43103	MATALAQUE	HUATAGUA	
6	224	MATALAQUE	MATALAQUE	
7	RICARDO PALMA	MATALAQUE	MATALAQUE	
8	202	UBINAS	ANASCAPA	
9	43121	UBINAS	ANASCAPA	
10	43134	UBINAS	ESCACHA	
11	43143	UBINAS	QUERAPI	
12	204	UBINAS	SACOHAYA	
13	JOSE ANTONIO ENCINAS	UBINAS	SACOHAYA	
14	336	UBINAS	SAN MIGUEL	
15	43124	UBINAS	SAN MIGUEL	
16	266	UBINAS	TONOHAYA	DEZLIZAMIENTO
17	43126	UBINAS	TONOHAYA	DESLIZAMIENTO
18	214	UBINAS	UBINAS	
19	43120	UBINAS	UBINAS	
20	JOSE CARLOS MARIATEGUI	UBINAS	UBINAS	

7.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS TERRENOS SOBRE LOS CUALES SE HALLAN ASENTADOS LOS POBLADOS INVOLUCRADOS

Como se ha podido visualizar por lo presentado anteriormente, el volcán Ubinas ha mostrado variados tipos de actividad volcánica a lo largo de su historia eruptiva, que van desde erupciones explosivas de baja magnitud como la ocurrida entre los años 2006-2009 o los últimos 500 años, y otras de gran magnitud (sub-plinianas y plinianas), como la ocurrida hace 1000 o 700 años antes del presente. Estas y otras erupciones pasadas han depositado variados tipos de depósitos que se emplazaron en el valle de Ubinas, sobre los cuales actualmente se hallan asentados los centros poblados, áreas de cultivo, y sobre las cuales se trazaron las vías de acceso a los poblados.

QUERAPI: se halla asentado sobre depósitos de avalanchas de escombros (Foto 8), a solo 4 km al sur del cráter del volcán Ubinas. Estos son el producto del derrumbe del flanco sur, ocurrido hasta en dos oportunidades en el pasado. Hay que resaltar que ante un eventual derrumbe del flanco sur del Ubinas o una erupción leve, este poblado será el más afectado. También, los pobladores pueden ser afectados por gases volcánicos, incluso en épocas de tranquilidad volcánica, debido a su cercanía al cráter.



Foto N° 8. El poblado de Querapi localizado justo al pie del flanco sur del volcán Ubinas. Asentado sobre depósitos de avalancha de escombros.

SACOHAYA: se halla 7 km al sureste del Ubinas, asentada en una zona semi-plana, cuyo substrato está constituido en parte de secuencias de caídas de cenizas y pómez, emplazadas o depositadas por el Ubinas durante los últimos 14,000 años. Durante una próxima reactivación del Ubinas seguirá siendo afectado por caídas de cenizas y probablemente pómez. Ver Foto 9



Foto N° 9. El poblado de Sacohaya, localizado a 7 km al sureste del volcán Ubinas.

UBINAS: se halla asentado en una zona semi-plana, sobre potentes secuencias volcanoclásticas y sobre capas de caídas de cenizas y pómez provenientes de erupciones pasadas del Ubinas. Ante una eventual erupción, este pueblo se halla expuesto a las caídas de cenizas, pómez. En caso extremo puede ser alcanzado por flujos piroclásticos. Ver Foto 10



Foto N° 10. El poblado de Ubinas es uno de los siete poblados localizados en el valle de Ubinas, amenazado por la actividad del volcán Ubinas.

ESCACHA: está localizado a aproximadamente 9 km al sureste del Ubinas, asentado sobre en una altiplanicie, justo al pie de una colina, en la margen izquierda del río Para. Las viviendas se hallan asentadas sobre una capa de caída de lapilli pómez de más de 2 m de espesor, originada por la erupción explosiva violenta ocurrida hace aproximadamente 1000 años A.P. Este poblado se halla, amenazado por las caídas de cenizas provenientes del volcán Ubinas. Ver Foto 11

TONOHAYA, SAN MIGUEL Y HUATAHUA: Se localizan en el fondo del valle del río Ubinas (entre 7 y 12 km del volcán), y se encuentran asentados sobre terrazas aluviales constituidos por depósitos de flujos de lodo (aluviones, huaycos) y/o flujos piroclásticos provenientes o ligados a la actividad pasada del volcán Ubinas. Ver Fotos 12, 13 y 14



Foto N° 11. El poblado de Escacha localizado en una altiplanicie, justo al pie de una colina, en la margen izquierda del río Para. Este poblado se halla, amenazado por las caídas de cenizas provenientes del volcán Ubinas.

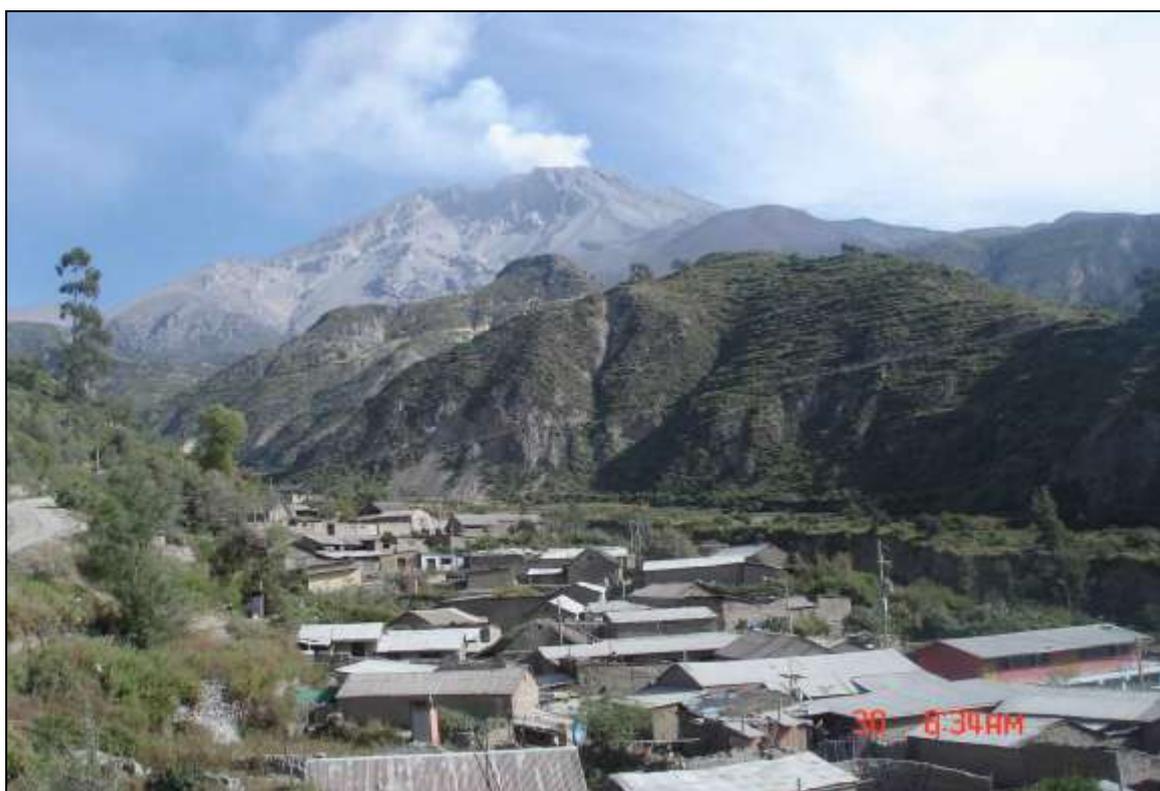


Foto N° 12. El poblado de Tonohaya localizado 7.5 km al sureste del Ubinas, en la margen derecha del río Ubinas. Asentado sobre depósitos de flujos de barro, algunos de ellos ligados a la actividad del volcán Ubinas, localizado en la cabecera del valle.

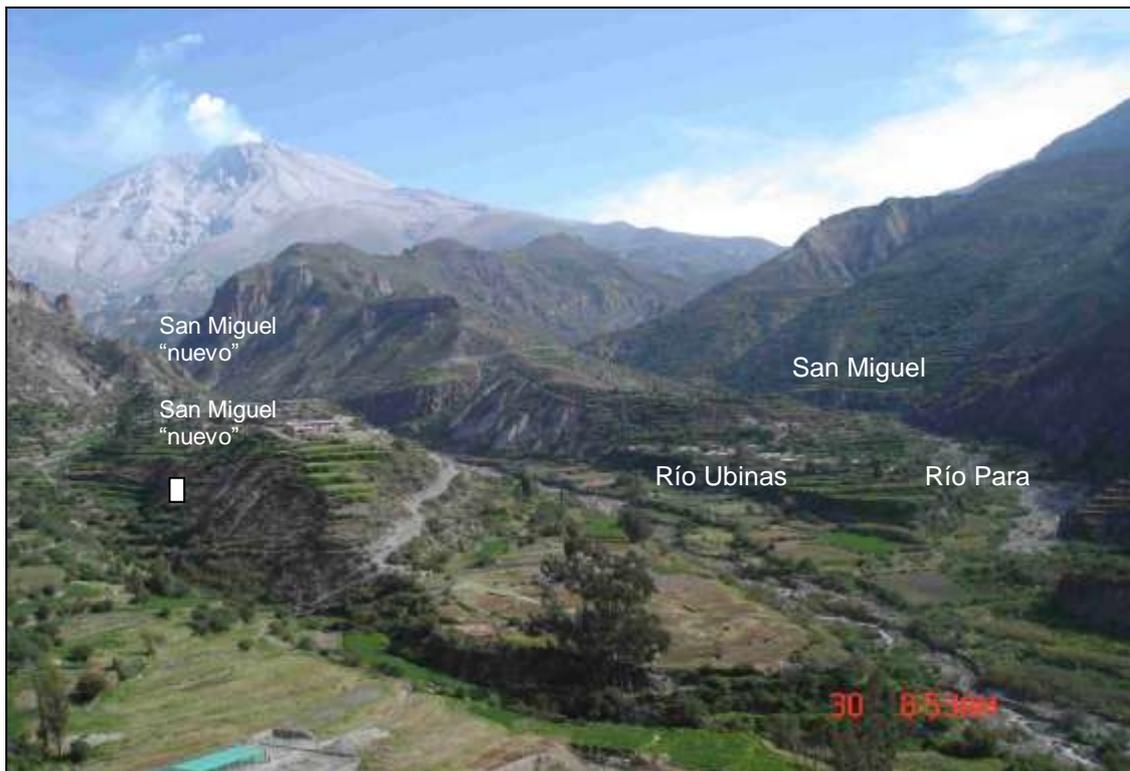


Foto N° 13. El poblado de San Miguel localizado 11 km al sureste del Ubina, en ambas márgenes del valle del río Ubina, y asentado sobre depósitos aluviales, o flujos de barro. Al fondo se aprecia el volcán Ubina.



Foto N° 14. El poblado de Huatahua localizado en la margen derecha del río Ubina, a 12 km al sur del volcán Ubina.

Durante una reactivación del Ubinas, estos pueblos se hallan expuestos a las caídas de cenizas, pómez. En casos extremos pueden ser alcanzados por flujos de barro y/o flujos piroclásticos.

7.3 ALTERNATIVAS DE DESARROLLO EN POBLADOS EXPUESTOS AL PELIGRO VOLCÁNICO

A raíz de la actividad eruptiva presentada por el volcán Ubinas desde marzo del 2006, el Gobierno Regional de Moquegua en mayo del 2006 solicitó a INGEMMET, un informe técnico de los poblados que deben ser reubicados en forma definitiva debido a los peligros potenciales originados por la actividad volcánica del Ubinas (Oficio N°085-2006-P/RDC.MOQ). Entre las recomendaciones más resaltantes de dicho informe está:

“Reubicar de manera definitiva a los centros poblados asentados dentro de las zonas de alto y moderado peligro: como son Querapi, Ubinas, Huatahua, Tonohaya, San Miguel y Sacohaya; así como evitar la construcción y desarrollo de obras de infraestructura importantes u obras de gran envergadura: vías nacionales, gaseoductos, presas, etc. dentro de las zonas de alto y moderado peligro. Toda vez que el costo que implica construir dichas obras son exorbitantes y en un país en vías de desarrollo dichas obras no se deberían exponer a un grave peligro”.

Dado al grado de peligro en que se encuentran expuestos los poblados del valle de Ubinas y dado a la situación socio – económica actual en que se encuentran expuestas los poblados, sin que hasta el momento se concrete la reubicación deseada, presentamos dos alternativas de desarrollo para los habitantes del valle de Ubinas:

- 1) La primera alternativa implica que las medidas formuladas en el informe *“Evaluación de la seguridad física de áreas aledañas al volcán Ubinas”* realizada por INGEMMET en el año 2006, deben ser tomadas muy en cuenta por las autoridades Regionales, Provinciales y Distritales y de Defensa Civil. Desde luego, es necesario reubicar de manera definitiva los poblados de **Querapi, Ubinas, Huatahua, Tonohaya y San Miguel**, poblados localizados dentro del valle de Ubinas, en **zonas de moderado y alto peligro por erupción volcánica o por derrumbe de un sector del volcán ligado a una erupción (o un sismo fuerte), o por la ocurrencia de flujos de barro y/o detritos (huaycos)**. No se incluye aquí a los poblados de Sacohaya y Escacha, que son localizados en zona de moderado peligro, ya que difícilmente serán afectados por depósitos de avalanchas de escombros, flujos de barro o flujos piroclásticos del Ubinas. Pero sin embargo, estos seguirán siendo expuestos a las intensas caídas de cenizas y piedras pómez en futuras erupciones.

Si bien es cierto las caídas de cenizas, escoria o pómez, pueden destruir áreas de cultivos, provocar malestares en la salud de la población,

interrumpir las vías de comunicación, o provocar enterramiento si la emisión alcanza volúmenes importantes. Sin embargo, difícilmente pueden destruir infraestructura sólida alguna. Por su parte los flujos piroclásticos (nubes incandescentes), los flujos de lodo (o huaycos), las avalanchas de escombros y los flujos de lava, destruyen todo lo que encuentran a su paso. No existe infraestructura que pueda resistir al paso de dichos productos volcánicos. La destrucción puede darse por calcinación, enterramiento y/o derrumbe.

- 2) La segunda alternativa implica, sólo la reubicación definitiva del poblado de **Querapi**, localizado justo al pie del volcán, ya que esta puede ser afectada incluso por emisiones de gases como el CO (monóxido de carbono) emitidos por el Ubinas, que puede ocasionar víctimas. Pero a la vez esta alternativa conlleva a implementar diversas obras de infraestructura (implementar y mejorar las vías de evacuación, construcción de puentes, etc.) en la zona, así como implementar sistemas de alerta temprana mediante el monitoreo permanente y a tiempo real del volcán que permita a la población actuar de manera rápida y oportuna mediante la evacuación en caso se reactive o exista peligro inminente de erupción del Ubinas. Ello condiciona tener preparado, por parte de las autoridades, medios logísticos en la zona y realizar constantemente el mantenimiento de las zonas de refugios o albergues. Para implementar obras y acciones, es necesario trabajar en forma conjunta y permanente con las instituciones geocientíficas, instituciones públicas, las autoridades y la población.

En tal sentido, las autoridades locales y regionales conjuntamente con la población tienen que evaluar y decidir que hacer. Ello implica principalmente decidir que medidas deben tomar en cuanto a su reubicación para resguardar la integridad física de las poblaciones del valle de Ubinas, o realizar diversas obras y acciones de prevención en la zona expuesta permanentemente al peligro volcánico.

En anteriores crisis volcánicas, por ejemplo en la erupción del año 1954 y 1969 los pobladores del valle de Ubinas ya venían solicitando constantemente ser reubicados a zonas más seguras. Lamentablemente, parece que las autoridades de aquel entonces no hicieron nada al respecto.

En todo contexto, es necesario evitar el crecimiento poblacional hacia el Ubinas. Esta medida, reducirá los costos de gestión de una crisis volcánica futura, disminuyendo así la posibilidad de que ocurra un desastre, y a largo plazo genera un ahorro importante al Estado Peruano. Si bien la población asentada cerca al volcán Ubinas es pequeña actualmente (alrededor de 3,000 habitantes), durante la gestión de crisis 2006-2009 el Estado Peruano ha gastado cerca de diez millones de soles (S/. 10'000,000.00). De no evitar el crecimiento de las poblaciones cercanas al volcán, dentro de los próximos 40 o 60 años, la población será mucho mayor, y las inversiones en obras de

infraestructura serán también mayor. Por consiguiente, la gestión de nuevas crisis volcánicas tendrán un mayor costo, y la posibilidad de que ocurra un desastre será mucho mayor.

8. CONCLUSIONES

Las conclusiones que a continuación se vierten están basadas en los resultados del estudio geológico-vulcanológico del volcán Ubinas y en la evaluación de los peligros volcánicos efectuado por INGEMMET en cooperación con instituciones científicas nacionales y extranjeras.

1. El volcán Ubinas, es el volcán más activo del sur del Perú con aproximadamente 24 eventos volcánicos (importantes emisiones de gases, y erupciones leves a moderadas) registrados los últimos 500 años. Una erupción se produce cada 10 a 30 años en promedio. Actualmente, presenta una muy leve y esporádica actividad fumarólica.
2. La estudio geológico-vulcanológico realizado señalan que la actividad del Ubinas se inicio hace mas de 370,000 años, caracterizado por presentar una actividad principalmente efusiva que emplazó flujos de lava andesíticos que yacen en la base del volcán. Posteriormente, se derrumbó el flanco sur del volcán generando depósitos de avalanchas de escombros, distribuidos en la parte baja del flanco sur. Posteriormente hace menos de 370,000 se construyo el cono superior del volcán. Luego, hace 269,000 \pm 14 años A.P. se produjo el emplazamiento de una secuencia de flujos de pómez y cenizas de 1,8 km³, que aflora entre 7 y 8 km al sureste del cráter, ligado a una violenta erupción explosiva. Posteriormente, entre ~250,000 y 170,000 años se produjo una actividad efusiva que emplazó flujos de lava. Entre 170,000 y 20,000 años predomina una importante actividad efusiva que terminó por formar el cono superior del volcán. Posteriormente, hace aproximadamente 14,000 años A.P. se produjo una erupción explosiva violenta de tipo pliniana que deposito una capa de pómez riolíticos de 4,5 m de espesor, a 9 km al sur del cráter (al pie de Sacohaya), sobre el cual existe otro depósito de caída pliniana de 1,2 m de espesor, constituido de lapilli pómez datado en 7480 años. Hace cerca de 3670 años ocurrió un segundo derrumbe del flanco sur del volcán que depositó una avalancha de escombros de ~1,2 km³ al pie del volcán, sobre la cual se halla asentada el poblado de Querapi. Hace ca. 980 \pm 60 años A.P. ocurrió la última erupción pliniana del Ubinas que depositó una capa caída de lapilli pómez andesíticos de 4,5 m de espesor a 6 km al SE del volcán (parte alta del poblado de Ubinas). Desde el año de 1550 d.C. hasta la actualidad, la actividad ha sido caracterizada por erupciones explosivas de magnitud baja a moderada (IEV 1-2) como la actividad eruptiva reciente 2006-2009.
3. Según el grado de frecuencia del tipo de erupciones, desde los más frecuentes a los menos frecuentes, las **erupciones leves a moderadas** (IEV 1-3) son las más frecuentes y probables de ocurrir en un futuro cercano. Mientras que las erupciones explosivas moderadas a altas (IEV \geq 4) son las menos frecuentes, y poco probables de ocurrir en un futuro cercano. En cualquier tipo de erupción los principales peligros volcánicos corresponden a caídas de cenizas, flujos de lodo (lahares) y flujos piroclásticos. Desde luego,

si estos fuesen generados por erupciones muy explosivas tendrían mayor volumen y dispersión, y causarían efectos más graves.

4. Los centros educativos donde se van a realizar obras de infraestructura están localizados en los poblados de Escacha, Ubinas, Sacohaya, Tonohaya, San Miguel, Huatagua, Huarina, Matalaque y Candahua. Gran parte de estos poblados se encuentran asentados sobre depósitos emplazados por el volcán Ubinas en épocas pasadas, es decir se hallan dentro del área de influencia de este volcán.
5. El MAPA DE PELIGROS DEL VOLCÁN UBINAS, 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.

De acuerdo a este podemos concluir lo siguiente,

6. Los poblados de Escacha, Tonohaya, San Miguel, Huatagua están localizados en zona de **alto peligro**, por erupción volcánica.
7. Los poblados de Ubinas, Sacuhaya y Escacha en zona de **moderado peligro**.
8. Los poblados de Huarina, Matalaque y Anascapa en zona de **bajo peligro** por erupción volcánica.
9. Por su parte, el poblado de Candahua no fue evaluado, por encontrarse alejado de la zona de estudio.
10. En caso que ocurran erupciones de magnitud moderada a alta (IEV 3 a 5) los principales peligros volcánicos que pueden afectar áreas aledañas al volcán Ubinas son: peligros generados por caídas o lluvias de cenizas y escoria, peligros por flujos piroclásticos, peligros por avalanchas de escombros, peligros por flujos de lodo (lahares), peligros por flujos de lavas y peligros por gases volcánicos que pueden ocasionar **daños más severos y víctimas** que aquel ocurrida entre el 2006 - 2009.
11. Debido a la configuración morfoestructural del flanco sur del volcán, puede originarse el derrumbe de dicho flanco, el cual representaría un peligro mayor, ya que afectaría severamente el poblado de Querapi y el valle de Ubinas. Luego del colapso, en áreas lejanas las avalanchas de escombros se transformarían en flujos de barro y se canalizarían por todo el valle de Ubinas, desbordándose en muchos sectores afectando poblados como Tonohaya, San Miguel y Huatagua. En caso extremo, tales avalanchas podrían transformarse en lahares y viajar por el río Tambo hasta el Océano Pacífico.

12. El área más afectada en caso de una futura erupción volcánica y/o un evento asociado a él sería la parte Sur, Sureste y Este del volcán donde se localiza el valle del río Ubinas que alberga siete poblados.

13. En cuanto a la ocupación del territorio se sustentan dos alternativas:

I) La primera alternativa en las condiciones actuales, implica reubicar de manera definitiva los poblados de **Querapi, Ubinas, Huatahua, Tonohaya y San Miguel**, poblados localizados dentro del valle de Ubinas, en **zonas de moderado y alto peligro por erupción volcánica o por derrumbe de un sector del volcán ligado a una erupción (o un sismo fuerte), o por la ocurrencia de flujos de barro y/o detritos (huaycos)**. No se incluye aquí a los poblados de Sacohaya y Escacha, que son localizados en zona de moderado peligro, ya que difícilmente serán afectados por depósitos de avalanchas de escombros, flujos de barro o flujos piroclásticos del Ubinas. Pero sin embargo, estos seguirán siendo expuestos a las intensas caídas de cenizas y piedras pómez en futuras erupciones.

II) La segunda alternativa implica sólo la reubicación definitiva del poblado de **Querapi**, localizado justo al pie del volcán, pero a la vez conlleva que el Gobierno Regional de Moquegua, Municipalidades, etc. implementen diversas obras de infraestructura (implementación, mejoramiento y mantenimiento de vías de evacuación, construcción de puentes, etc.) en la zona, así como participen en la implementación de sistemas de alerta temprana, mediante el monitoreo instrumental permanente del volcán (trabajo presidido por las instituciones geocientíficas como INGEMMET) que permita a la población y autoridades tomar acciones de manera rápida y oportuna mediante la evacuación de las poblaciones localizadas en zonas de alto y moderado peligro, en caso se reactive o exista peligro de inminente de erupción del volcán. Ello obliga tener preparado planes de evacuación y realizar constantemente el mantenimiento de las zonas de las vías de evacuación, y las zonas de refugios o albergues. Para implementar trabajos de alerta temprana y acciones, es necesario trabajar en forma conjunta y permanente las instituciones geocientíficas, instituciones públicas, las autoridades y la población.

9. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones tienen por finalidad incentivar un reordenamiento del territorio del valle de Ubinas, como única y efectiva medida de prevención a mediano y largo plazo. Sólo de esa manera se evitarán ocurran desastres de origen volcánico en el valle de Ubinas, se reducirán las pérdidas económicas por daños a la infraestructura y se invertirá limitados recursos económicos en la gestión de nuevas crisis volcánicas. Lo anteriormente dicho, está orientado a salvaguardar la integridad física de las personas y permitirá una inversión adecuada y ahorro al estado.

Dada la última crisis presentada entre los años 2006 – 2009 y en años anteriores (por ejemplo desde el año de 1550 hasta 1996) es necesario tomar en consideración los peligros que presenta el volcán Ubinas ya que estos se pueden dar en cualquier momento e incluso ser más violenta. Varios factores hacen probable una erupción futura, por lo menos con una magnitud semejante a las erupciones de los últimos cuatro siglos (caída de cenizas y lapilli pómez con un radio de alcance de 5 a más de 20 km, alrededor del volcán).

1. Dada al grado de peligro en que se encuentran expuestos los poblados del valle de Ubinas y dado a la situación socio – económica actual en que viven los pobladores del valle de Ubinas, se recomiendan dos alternativas, la primera a largo plazo y la segunda a corto y mediano plazo:
 - I) Reubicar de manera definitiva a los centros poblados asentados dentro de las zonas de alto y moderado peligro: como son **Querapi, Ubinas, Tonohaya, Huatahua y San Miguel**; poblados asentados sobre depósitos ligados a la actividad del volcán Ubinas. Esto con el propósito de prevenir cualquier víctima, efecto o daño por la generación de avalanchas de escombros, flujos de lodo, caída de cenizas o emisión de proyectiles balísticos. En este escenario es necesario tener preparado un plan de contingencia para evacuar a los poblados de Escacha y Sacohaya durante una eventual reactivación o inminente erupción del Ubinas.

Para que esta alternativa a largo plazo se viabilice, es necesario que el Gobierno Regional de Moquegua, la Municipalidad Provincial Sanchez Cerro y municipalidades distritales comprometidas; en coordinación con el gobierno central, dispongan de las alternativas de reubicación y recursos necesarios para ello.

- II) La segunda alternativa implica, solo la reubicación definitiva del poblado de **Querapi**, localizado justo al pie del volcán. Esta alternativa solo deberá ser tomada en cuenta, si es que el Gobierno Regional de Moquegua, Municipalidad Provincial Sanchez Cerro y municipalidades distritales de Ubinas y Anascape, se comprometen implementar las siguientes acciones:

- Mejoramiento y mantenimiento permanente de las vías de evacuación, principalmente de las vías carrozables: Logén-Ubinas-Tonohaya-Matalaque, Escacha-Tonohaya-Chacchajén, Tonohaya-Anascapa-Logen, Chacchajén-Anascapa-Logén. En el mejor de los casos estas vías deben ser asfaltadas, para un desplazamiento rápido en caso se de una evacuación.
- Construcción de otras vías de evacuación, como aquella que permita al poblado de Escacha ser evacuado hacia zona las partes altas (cerro Chimbuye o LLallahuane).
- Construcción de puentes adecuados en las vías carrozables que cruzan los ríos Ubinas y Para. Estos puentes deberían tener suficiente luz, de modo tal que permitan el paso de lahares o flujos de barro de moderado volumen, similares a los lahares ocurridos el 17 de enero del 2007.
- Mantenimiento permanente del refugio de Chacchajén o construcción de otra zona de refugio, que servirá de albergue en caso se realicen nuevas evacuaciones.
- Implementación de planes de emergencia tendientes a prevenir los efectos de una erupción volcánica. Estos planes comprenderían la elaboración de un plan de evacuación, simulacros de evacuación, acciones de educación y preparación de toda la población frente a una posible erupción del volcán Ubinas.
- Implementación de un sistema de monitoreo volcánico permanente y a tiempo real en el volcán Ubinas, que permita a la población y autoridades contar con un Sistema de Alerta Temprana eficaz para tomar acciones de manera rápida y oportuna, en caso se reactive o exista peligro de inminente de erupción del volcán. La implementación de estos sistemas debe estar a cargo del INGEMMET, pero debe contar el apoyo del Gobierno Regional de Moquegua y la Municipalidad Distrital de Ubinas.
- Implementación de un Sistema de Alerta Temprana (SAT-Ubinas), que involucre sus cuatro componentes: conocimiento del riesgo, monitoreo y pronóstico, difusión de alertas a la población y preparación de la población para responder adecuada y oportunamente a la alerta. El SAT-Ubinas debe ser implementado por el Gobierno Regional de Moquegua, la Municipalidad Distrital de Ubinas y las instituciones científicas encargadas del monitoreo volcánico (INGEMMET).

Si se opta por esta alternativa (II), y se comprometen a implementar las acciones recomendadas líneas arriba, es posible realizar las inversiones en las instituciones educativas listadas, ya que consideramos que la Educación debe ser primer objetivo nacional.

2. Si la actividad volcánica del Ubinas se reiniciara y si aún la población permaneciera en la zona, se recomienda a las autoridades evacuar inmediatamente a los poblados de Querapi. Si esta se acentuara o continuara, se recomienda continuar con la evacuación de los poblados de Tonohaya, Ubinas, San Miguel y Huatahua a diversos refugios (Anascapa, Chacchagen u otro) hasta que la crisis volcánica o erupción culmine. En un tercer tiempo si existiera inminente peligro de erupción es necesario evacuar a los poblados de Sacohaya y Escacha. Todo ello con la finalidad de evitar ser afectados por la caída de cenizas y gases tóxicos que emanan constantemente del volcán, así como de prevenir eventuales efectos desastrosos ante un incremento de actividad del Ubinas.

3. En caso de reactivación del volcán, se recomienda a la población (que permanece en áreas aledañas o alejadas al volcán) evitar contacto con las cenizas, ya que estas causan efectos graves en el sistema respiratorio y visual. Además, se recomienda proteger las fuentes de agua de consumo humano ante la ocurrencia de caída de cenizas.

REFERENCIAS

Decker, R., Decker, B., (1989). *Volcanoes*; (revised and updated edition). W.H. Freeman and Company, 285 p.

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 de 1969; Arequipa

Hoblitt R., Walder J., Driedger C., Scott K., Pringle P. and Vallance J., (1995). *Volcano Hazards from Mount Rainier*, Washigton, Open - File Report 95 - 273, U.S. Departament of the Interior, U.S. Geological Survey, 10 p.

Malin M.C., Sheridan M.F. (1982). Computer-assisted mapping of pyroclastic. *Science* 217, 637-640.

Mariño J., Rivera, M., Macedo O., Masias P., Antayhua Y. (2011). Gestión de la crisis de la actividad eruptiva del volcán Ubinas 2006-2009. *Boletín INGEMMET*, N°45, Serie C, Lima.

Rivera M., (1998). El volcán Ubinas (sur del Perú): geología, historia eruptiva y evaluación de las amenazas volcánicas actuales. Tesis Geólogo, UNMSM. 132 p.

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. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú* v.88, 53-71.

Rivera, M., (2010). *Genèse et évolution de magmas andésitiques a ryodacitiques récents des volcans Misti et Ubinas (sud du Pérou)*. Tesis Doctoral (PhD), Universidad Blaise Pascal (Francia), 407 p.

Rivera, M., Mariño J., Thouret., (2011). Geología y evaluación de Peligros del volcán Ubinas, *Boletín INGEMMET*, N°46, Serie C, Lima.

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.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) (2011). Datos de temperatura y precipitación de los últimos seis años. www.senamhi.gob.pe

Simkin T., Siebert., (1994). *Volcanoes of the World – A Regional Directory, Gazetteer and chronology of volcanism during the last 10,000 year*. Smithsonian Institution, Global Volcanism Program, Washington DC.

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

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.

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