



Informe Técnico N° A6641

Evaluación de Peligros Geológicos en el Valle de Ubinas - Moquegua



POR:

ING. JERSY MARIÑO SALAZAR
ING. MARCO RIVERA PORRAS
ING. SEGUNDO NUÑEZ
ING. GRISELDA LUQUE

MARZO 2014

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	4
CAPÍTULO 1: ASPECTOS GENERALES	5
CAPÍTULO 2: ASPECTOS GEOLÓGICOS	7
2.1 UBINAS I (~800,000 – 370,000 años)	7
2.2 UBINAS II (370,000 a tiempos históricos)	7
CAPÍTULO 3: ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	10
3.1 GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO, DEGRADACIONAL Y EROSIONAL	10
3.2 GEOFORMAS DE CARÁCTER DEPOSICIONAL Y AGRADACIONAL	13
CAPITULO 4: PELIGROS VOLCÁNICOS	15
4.1 ACTIVIDAD HISTÓRICA DEL VOLCÁN UBINAS	15
4.2 ERUPCIÓN DEL VOLCÁN UBINAS DEL AÑO 2006	17
PRODUCTOS EMITIDOS DURANTE LA ERUPCIÓN	17
IMPACTO DE LA ERUPCIÓN EN LAS PERSONAS Y EL MEDIO AMBIENTE	21
4.3 CRISIS ERUPTIVA DEL VOLCÁN UBINAS DE SETIEMBRE DEL 2013	23
4.4 PRINCIPALES PELIGROS VOLCÁNICOS DEL UBINAS	25
PELIGROS POR CAÍDAS O LLUVIAS DE CENIZAS Y ESCORIA	26
PELIGROS POR FLUJOS DE BARRO (HUAYCOS) Y DESBORDES	26
PELIGROS POR FLUJOS PIROCLÁSTICOS	26
PELIGROS POR EL COLAPSO DE FLANCO SUR Y GENERACIÓN DE AVALANCHAS DE ESCOMBROS	26
PELIGROS POR FLUJOS DE LAVA	26
4.5 MAPA DE PELIGROS VOLCÁNICOS DEL UBINAS	27
METODOLOGÍA DE ELABORACIÓN DEL MAPA DE PELIGROS	27
MAPA DE PELIGROS DE LA ZONA PROXIMAL PARA PELIGROS MÚLTIPLES	28
MAPAS DE PELIGROS POR CAÍDAS DE TEFRAS	29
CAPÍTULO 5: PELIGROS POR MOVIMIENTOS EN MASA	31
5.1 INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA	31
5.2 SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA	34
MAPA LITOLÓGICO	34
MAPA GEOMORFOLÓGICO	39
MAPA HIDROGEOLÓGICO	40
MAPA PENDIENTES DE LAS LADERAS	43
MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA	46
5.3 ZONAS CRÍTICAS A MOVIMIENTOS EN MASA	49

CAPITULO 6: EVALUACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA DE PELIGROS VOLCÁNICOS Y POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL VALLE DE UBINAS	54
---	-----------

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	56
---------------------------------------	-----------

REFERENCIAS	60
--------------------	-----------

RELACIÓN DE MAPAS:

Mapa 1	Mapa Geomorfológico
Mapa 2	Mapa de Peligros del volcán Ubinas
Mapa 3	Mapa de Movimientos en Masa (Inventario)
Mapa 4	Mapa Litológico
Mapa 5	Mapa Hidrogeológico
Mapa 6	Mapa de Pendientes de las laderas
Mapa 7	Mapa de Susceptibilidad a los Movimientos en Masa

INTRODUCCIÓN

Los Peligros Geológicos se consideran “procesos o fenómenos geológicos” que podría ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales (EIRD, 2009). Los peligros geológicos incluyen a los terremotos, actividad volcánica; fallas activas; así como movimientos en masas. Los factores hidrometeorológicos son elementos que contribuyen considerablemente en alguno de estos procesos.

El día 11 de setiembre del 2013, se realizó una reunión en las instalaciones del Gobierno Regional de Moquegua, a fin de analizar la evolución de la actividad eruptiva del volcán Ubinas, iniciado el 01 de setiembre último, así como el riesgo de desastres en los poblados asentados cerca de dicho volcán. En la mencionada reunión participaron representantes de las siguientes instituciones: Gobierno Regional de Moquegua, Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), Centro Nacional de Estimación y Prevención de Desastres (CENEPRED), Municipalidad Distrital de Ubinas, Observatorio Vulcanológico del INGEMMET (OVI) e Instituto Geofísico del Perú (IGP). Uno de los acuerdos adoptados en dicha reunión, fue que el INGEMMET realice una evaluación integral de los peligros geológicos que afectan a los pueblos ubicados en el valle de Ubinas, con la finalidad de que se adopten medidas de reducción de riesgo de desastres en dichas localidades, de ser necesarias incluso el reasentamiento poblacional, de sectores con alto riesgo no mitigable, en el marco de la Ley Nro. 29869. En esta Ley se define como Reasentamiento Poblacional, al “conjunto de acciones y actividades realizadas por el Estado necesarias para lograr el traslado de pobladores que se encuentran en zonas declaradas de muy alto riesgo no mitigable, a zonas con mejores condiciones de seguridad.

Por otro lado, el año 2006 a raíz de la actividad eruptiva presentada por el volcán Ubinas en dicho año, el Gobierno Regional de Moquegua solicitó al Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (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^o 085-2006-P/RDC.MOQ). El INGEMMET el 2006, entregó a las autoridades competentes el Informe Técnico “Evaluación de seguridad física de poblados asentados en el Valle de Ubinas”.

El presente informe contiene una nueva evaluación de peligros volcánicos, así como de movimientos en masa, fenómenos que vienen afectando a los pueblos ubicados en el valle de Ubinas. Las recomendaciones tienen por finalidad reducir el riesgo de desastres en el Valle de Ubinas.

CAPÍTULO 1: ASPECTOS GENERALES

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° 22' S, 70° 54' O; 5,672 msnm.). El volcán Ubinas tiene forma cónica, posee una altura de 1,400 m, y cubre un área de 65 km² y posee un volumen de 54 km³ (Rivera et al., 2011). En la parte superior se distingue la caldera de 900 m de diámetro y dentro de la caldera un cráter de 300 m de diámetro. En los meses de diciembre a abril la parte superior del volcán se halla cubierta por una capa delgada de nieve. La altura máxima del edificio volcánico es 5636 msnm.

Políticamente, el volcán Ubinas y los pueblos localizados en sus inmediaciones, pertenecen a la Región Moquegua, Provincia General Sánchez Cerro, Distrito de Ubinas. Al Sur y Sureste del volcán se localizan los principales poblados donde habitan alrededor de 3,000 personas, entre ellos Querapi, Ubinas, Tonohaya, Sacuaya, San Miguel, Huatahua, Anascapa, Huarina y Escacha. Las distancias aproximadas de los poblados aledaños al volcán, en línea recta son: Ubinas 6,5 km al SE; Tonohaya 7,2 km al SE; San Miguel 10 km al SE; Huatahua 11,8 km al SE; Escacha 8,5 km al SE, Anascapa 10 km al S, Sacohaya 5 km al S, Querapi 4 km al S, Huarina 14 km al SE, Matalaque 17 km al SE y Logén 17 km al SO (figura 1).

Dentro del área de influencia del volcán existen terrenos de cultivos, carreteras carrozables y diversas obras de infraestructura (reservorios de aguas, canales, etc.). La población se dedica principalmente a actividades agrícola y ganadera.

En el contexto geológico-vulcanológico, el volcán Ubinas está localizado dentro de la Zona Volcánica Central de los Andes que se prolonga del Norte de Chile al Sur del Perú. La actividad del volcán Ubinas es el resultado del proceso de subducción de la placa oceánica de Nazca debajo de la placa continental Sudamericana.

El acceso al volcán Ubinas y pueblos aledaños se realiza por:

- a) Carretera afirmada Arequipa-Chiguata-Santa Lucia de Salinas-Tite-Vizcachani-volcán Ubinas;
- b) Carretera afirmada Arequipa-Chiguata-Santa Lucia de Salinas-Logén-volcán Ubinas;
- c) Carretera afirmada Arequipa-Polobaya-volcán Pichu-Pichu-Santa Lucia de Salinas-Logén-volcán Ubinas;
- d) Carretera afirmada Moquegua-Quinistaquillas-Matalaque-Ubinas-volcán Ubinas;
- e) Carretera afirmada Moquegua-Quinistaquillas-Matalaque-Anascapa-volcán Ubinas.

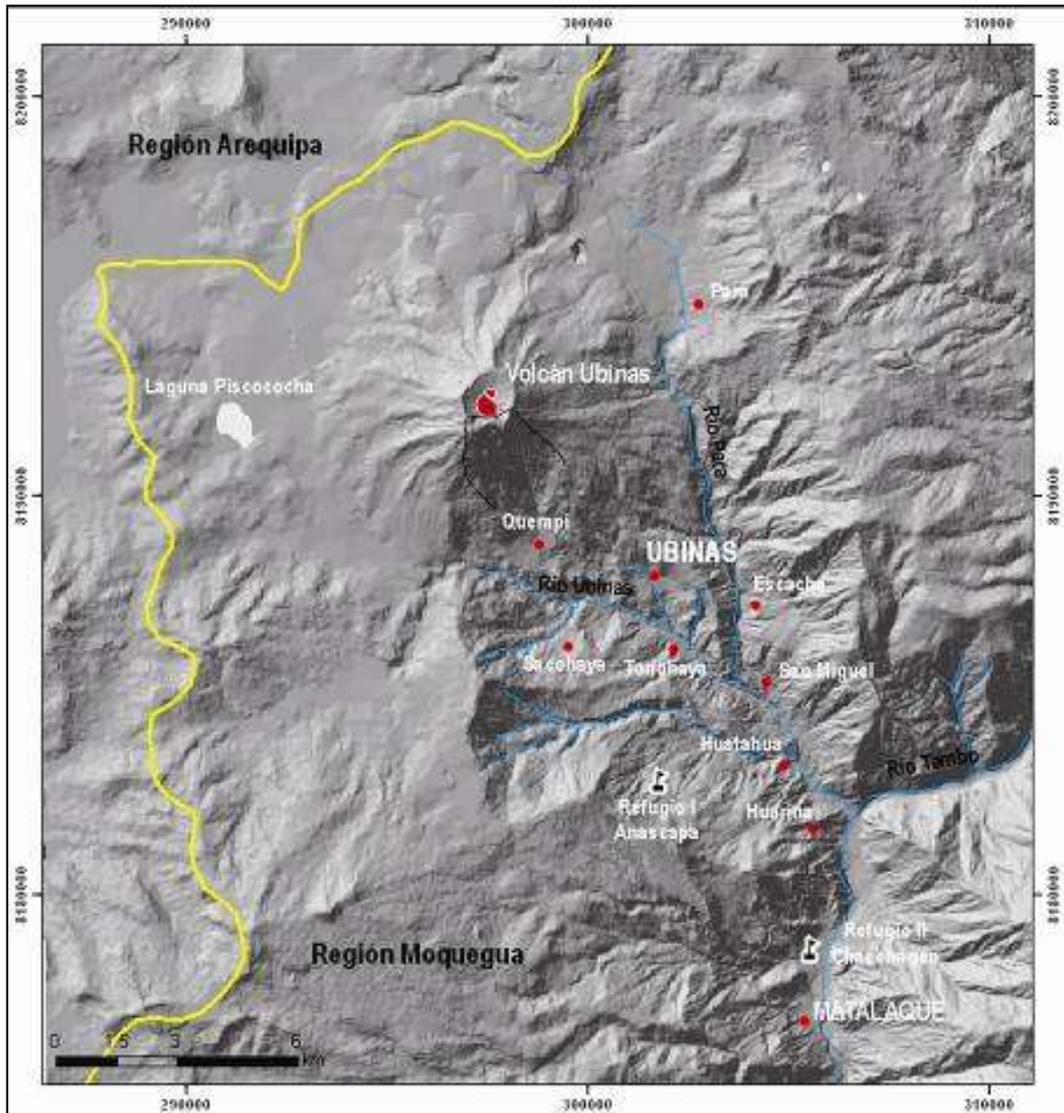


Figura 1. Mapa de ubicación del volcán Ubinas y pueblos asentados en sus alrededores (Tomado de Rivera et al., 2011).

CAPITULO 2: ASPECTOS GEOLÓGICOS

Los estudios estratigráficos, cartografiado geológico y dataciones radiométricas Ar/Ar, C¹⁴, efectuados por Rivera (1998), Rivera et al. (1998) y Thouret et al. (2005), muestran que el volcán Ubinas se construyó en dos períodos: el primer período entre ~800,000y 370,000 años, donde se formó el cono inferior denominado “UBINAS I”, y el segundo período ocurrido desde 370,000 años hasta la actualidad, donde se formó el cono superior llamado “UBINAS II” (figuras 2 y 3).

2.1 UBINAS I (~800,000 – 370,000 años)

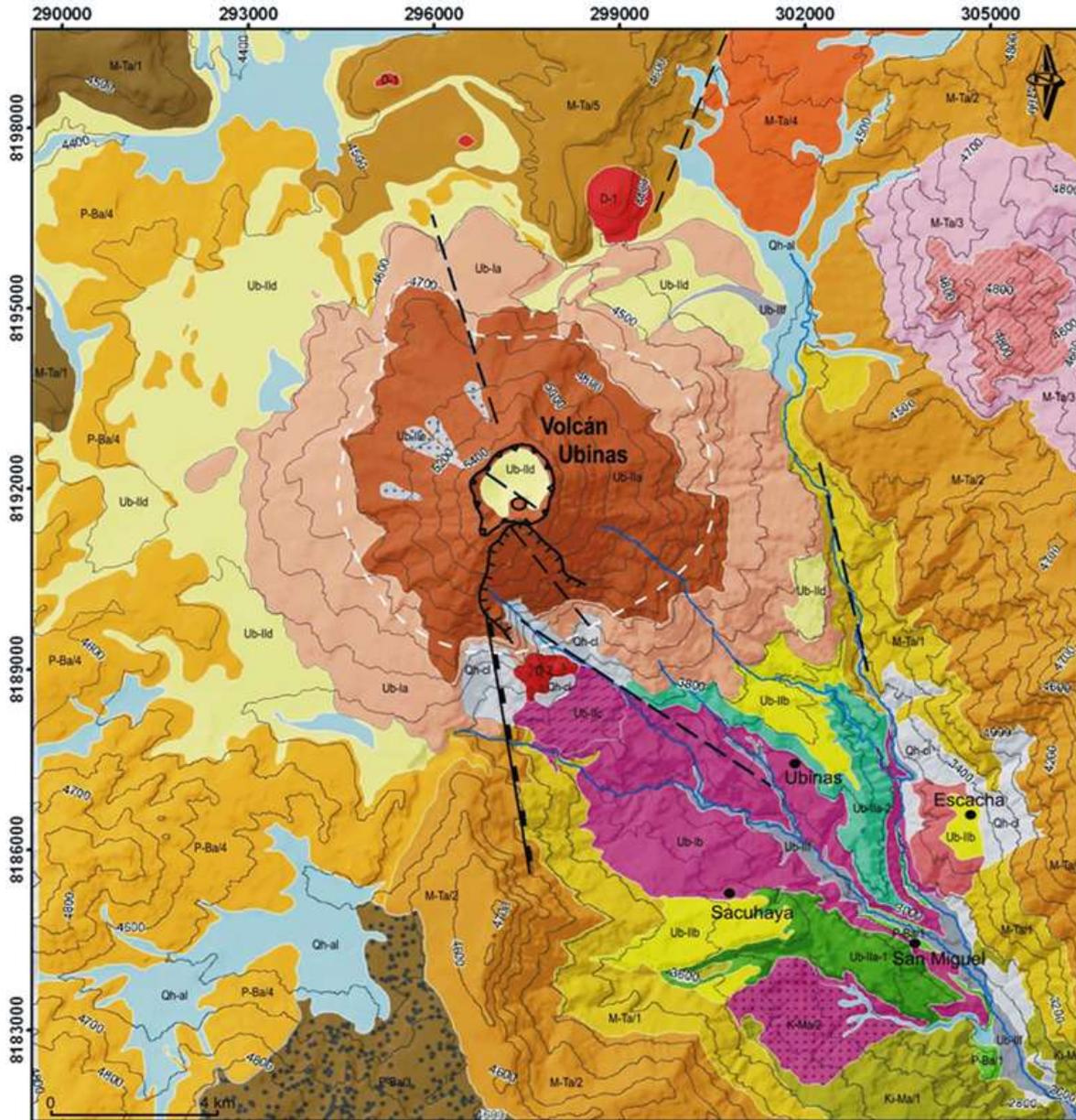
Durante este período se emplazaron coladas de lava andesítica que conforman la base del volcán (figuras 2 y 3). Posteriormente, se produjo el colapso de gran parte del flanco sur del edificio volcánico "Ubinas I" generando depósitos de avalanchas de escombros de ~2.8 km³de volumen, que fueron canalizados en los valles de Ubinas y Para. Seguidamente se produjo el emplazamiento de depósitos de flujos de pómez y cenizas, que llegaron a más de 5 km al Sur del volcán. Estos depósitos piroclásticos tienen alrededor de 120 m de espesor.

2.2 UBINAS II (370,000 a tiempos históricos)

Este período está dividido en dos fases (figuras 2 y 3):

1ra: En una primera fase denominada “**Cono de la Cumbre**” se emplazaron coladas de lava que conforman el cono superior del volcán, cuyas pendientes tienen $\geq 40^\circ$ (figura 3). Estas lavas se encuentran sobre los 4,900 msnm y han sido datadas entre 370,000 y 142,000 años (Thouret et al., 2005). Posteriormente, se produjo el crecimiento de un domo de lava en el flanco Sur del Ubinas, datado en 251,000 años (Thouret et al., 2005). Este domo se destruyó produciendo flujos de bloques y cenizas que fueron depositados en el fondo del valle del río Ubinas, a 8 km al Sureste del volcán.

2da: En la segunda fase denominada “**Caldera de la Cumbre**” (14,000 años hasta la actualidad) se emplazaron varios tipos de depósitos ligados principalmente a erupciones explosivas, visibles a 9 km al Sur del volcán Ubinas (figuras 2 y 3). En esta zona, a la base se distingue una capa de lapilli pómez de 3.8 m de espesor, emplazado poco antes de 14,000 años (Thouret et al., 2005). Encima de estos depósitos se encuentra una capa de pómez de 1.2 m de espesor datada en $7,480 \pm 40$ años y que probablemente está ligado a la formación de la caldera actual del volcán Ubinas. La última erupción de gran magnitud del volcán Ubinas ocurrió hace 980 ± 60 años y emplazó depósitos de pómez que posee 4.5 m de espesor a 6 km al Sureste del cráter y posee un volumen mínimo de 2.8 Km³. Este depósito fue dispersado principalmente hacia el Sureste, hasta una distancia mayor de 40 km. Asimismo tenemos depósitos de avalanchas de escombros que yacen al pie del flanco Sur, justamente sobre los cuales se asienta el poblado de Querapi. Estos depósitos se emplazaron hace $3,670 \pm 60$ años como producto de un segundo derrumbe del flanco Sur del volcán y llegaron hasta 6 km al Sur.



ERA	FORMACIÓN Y EDIFICIOS	LITOLOGÍA		
HOLOCENO	ESTRATO-VOLCAN UBINAS II	Qh-cl Depósitos coluviales		
		Qh-al Depósitos aluviales		
		Ub-III Lahares		
		U5-IIa Flujos de escorias de 1667		
		Ub-IIc Depósitos de cenizas grises de menos de 500 años		
		Ub-IIc Avalancha de escombros de ~3740 años B.P.		
		Ub-IIb Depósitos de cenizas y lapilli pómez emplazados entre 16000 y 1000 años.		
		Ub-IIa-2 Secuencia de flujos de pómez y cenizas, y flujos de bloques y cenizas (176 y 16 ka).		
		D-1 Domo de lava riolítico, datado en 250 ± 26 ka.		
		Ub-IIa-1 Secuencia de flujos piroclásticos cohesivos, de composición dacítica y riolítica (342 y 16 ka).		
PLEISTOCENO	ESTRATO-VOLCAN UBINAS I	Ub-IIa Flujos de lava andesíticos y dacíticos del cono superior (370 y 20 ka).		
		Ub-IIb Depósito de avalancha de escombros con megabloques		
		Ub-Ia Flujos de lava andesíticas del cono inferior datadas en >370 ka.		
		D-1 Domo de lava andesítico		
		P-Ba-5 Depósito volcanoclástico		
		P-Ba-4 Flujos de lava andesíticos y flujos piroclásticos		
		P-Ba-3 Flujos de lava andesíticos		
		P-Ba-2 Depósitos de avalancha de escombros		
		P-Ba-1 Ignimbritas soldadas de colores gris violáceas, andesíticas.		
		PLIOCENO	GRUPO BARROSO	M-Ta-5 Depósitos de flujos de cenizas cohesivas y soldados
M-Ta-4 Lavas y depósitos de flujos piroclásticos alterados e hidrotermalizados.				
M-Ta-3 Depósitos de flujos de cenizas dacíticas, soldadas.				
M-Ta-2 Ignimbritas dacíticas y andesíticas masivas y soldadas.				
M-Ta-1 Secuencia volcanoclástica estratificada.				
MIOCENO	GRUPO TACAZA			Ki-Ma-2 Avalancha de escombros con bloques alterados e hidrotermalizados.
				Ki-Ma-1 Lavas y depósitos de flujos piroclásticos alterados e hidrotermalizados.
CRETACEO INFERIOR	FORMACIÓN MATAQUE			

LEGENDA

Limite del sistema hidrotermal según medidas de PS		Escarpas	
Falla probable		Zonas alteradas e hidrotermalizadas	
Falla normal		Caldera de la cumbre	

Figura 2. Mapa geológico del volcán Ubina (Tomado de Rivera 2010).

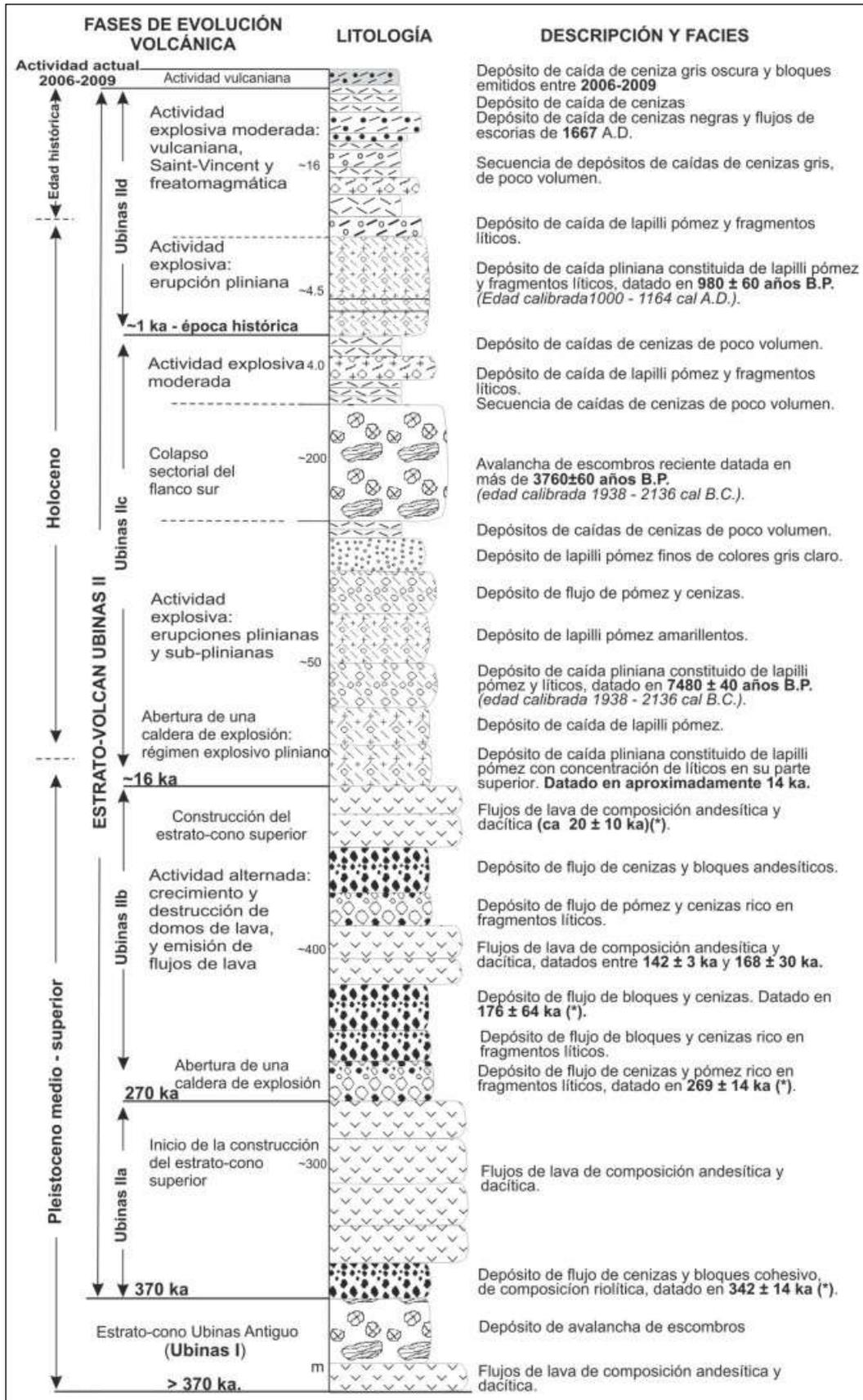


Figura 3. Columna estratigráfica del volcán Ubina: principales procesos e implicaciones para la evolución geológica y volcánica (Tomado de Rivera et al., 2011).

CAPÍTULO 3: ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

El volcán Ubinas se ubica entre los 2800 y 5670 msnm, y forma parte de la Cordillera Occidental de los Andes peruanos. Los extremos de los flancos O, N y E del volcán corresponden a un área relativamente plana denominada zonas de altiplanicie. Mientras que en los extremos E, S, SE y NE se distinguen dos valles semi - encañonados de tipo glaciar entre los que se ubica el valle de Ubinas y Para, por donde drenan los ríos con los mismos nombres respectivamente.

Para la elaboración del mapa geomorfológico del valle Ubinas (Mapa 01), se utilizó la información de Rivera et al., 2011. Las unidades geomorfológicas agrupadas según su origen son:

3.1 GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO, DEGRADACIONAL Y EROSIONAL

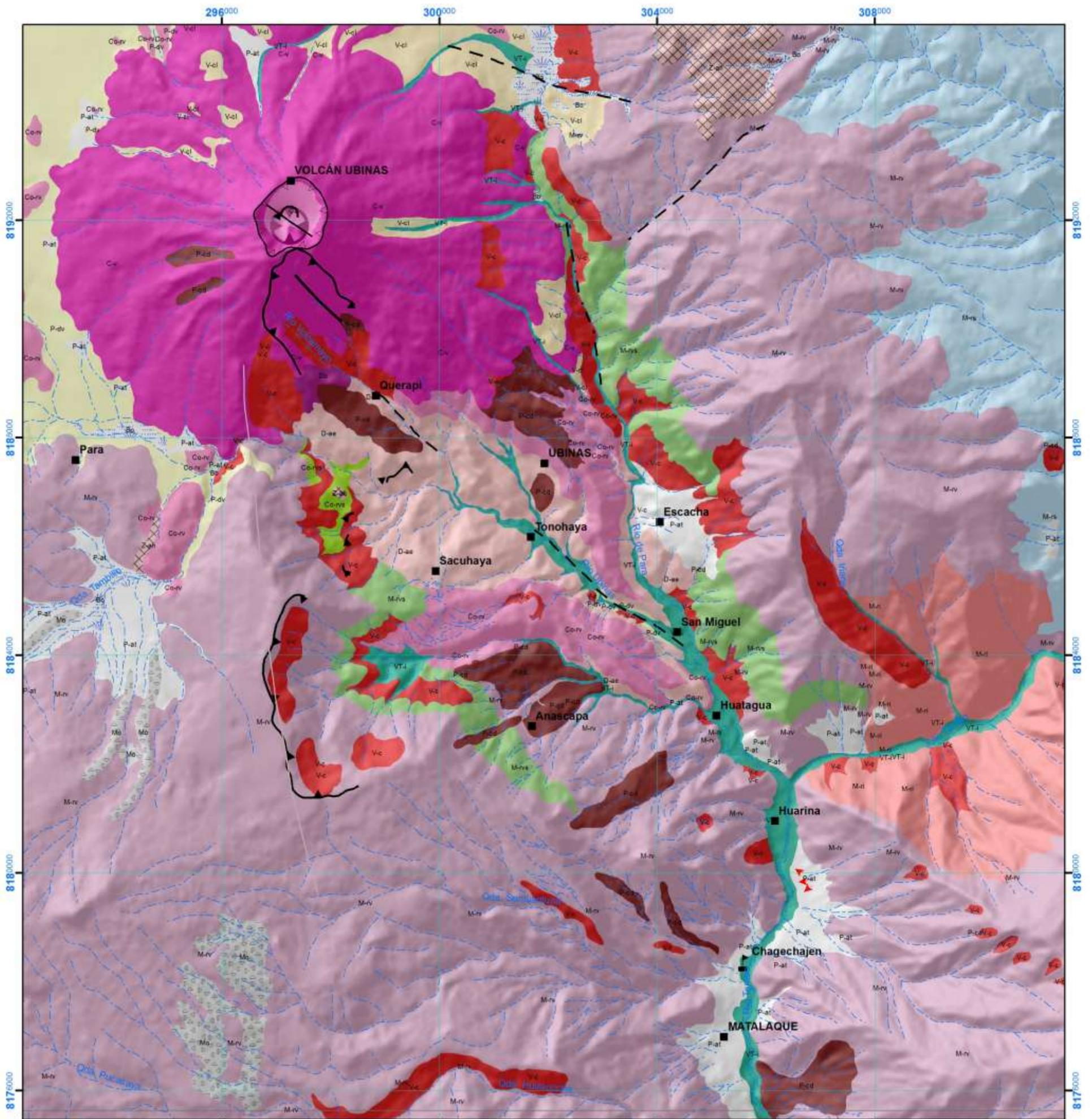
Resultan del efecto progresivo de los procesos morfodinámicos degradacionales sobre los relieves iniciales originados por la tectónica o sobre algunos paisajes construidos por procesos exógenos agradacionales, estos procesos conducen a la modificación parcial o total de estos a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas cambiantes (Villota, 2005). Los paisajes morfológicos, resultantes de los procesos denudativos forman parte de las cadenas montañosas, colinas, altillanuras, superficies onduladas y lomadas. Dentro de este grupo se tienen las siguientes unidades:

UNIDAD DE MONTAÑAS:

Las montañas presentan gran desarrollo en la cuenca del río Ubinas, localizándose al Este y Suroeste de la cuenca. Se considera dentro de esta unidad a las geoformas que alcanzan alturas mayores a los 300 m respecto al nivel de base local, se reconocen como cumbres y estribaciones producto de las deformaciones sufridas por la erosión y la influencia de otros eventos de diferente naturaleza (levantamiento, glaciación, etc.). En el contexto general se encuentran conformadas por alineamientos alargados, constituidos por rocas de tipo volcánico principalmente, volcánico-sedimentario, sedimentario e intrusivo, con un moderado a fuerte estado de meteorización superficial y de erosión. Dentro de esta unidad se tienen las siguientes subunidades:

Relieve montañoso en rocas volcánicas (M-rv): Dentro de esta subunidad se consideran afloramientos de rocas volcánicas (tobas, tufos, derrames lavicos andesíticos y brechas), presentan laderas con pendientes medias a fuertes. Entre las de mayor distribución en el valle Ubinas.

Relieve montañoso en roca volcánico sedimentaria (M-rvs): Corresponde a cadenas montañosas antiguas expuestas al sur del volcán Ubinas. Litológicamente corresponden a secuencias volcano clásticas con depósitos sedimentarios. Presentan laderas con pendientes moderadas a abruptas, de cumbres alargadas. Se presentan muy erosionadas, asociadas a procesos de caídas, deslizamientos, erosión en cárcavas y flujos de detritos (huaycos). Unidad que se localiza en ambos flancos del valle.



LEYENDA

GEOMORFOS DE CARACTER TECTONICO DEGRADACIONAL Y EROSIONAL

UNIDAD	SUB UNIDAD	ETIQUETA	COLOR
Montañas	Montaña en roca volcánica	M-v	[Color: Light Purple]
	Montaña en roca volcánica sedimentaria	M-vs	[Color: Light Green]
	Montaña en roca sedimentaria	M-s	[Color: Light Blue]
	Montaña en roca ígnea	M-i	[Color: Light Orange]
	Colina en roca volcánica	C-v	[Color: Light Pink]
Colinas	Colina en roca volcánica sedimentaria	C-vs	[Color: Light Green]
	Cono volcánico	C-v	[Color: Light Purple]
	Caldera	Ca	[Color: Light Pink]
Domo de lava	Domo de lava	D-l	[Color: Light Purple]
GEOMORFOS DE CARACTER DEPOSICIONAL O AGRADACIONAL			
Planicies	Variente de cenizas y lapilli	V-cl	[Color: Light Yellow]
	Variente coluvial de detritos	V-c	[Color: Light Orange]
Piedemonte	Piedemonte o relieve sobre-difusil (basal, avanchal)	P-cl	[Color: Light Brown]
	Piedemonte o relieve aluvio-conesil (gradal)	P-al	[Color: Light Yellow]
Mesetas	Mesetas	Ms	[Color: Light Green]
	Valle basal y terrazas eschifrenadas	VT+	[Color: Light Green]
Plazas	Altiplano de depósitos volcánicos	P-dv	[Color: Light Yellow]
Depresiones y Oros	Bofedal	Bs	[Color: Light Blue]
	Zona de alteración hidrotermal	Z-ah	[Color: Light Orange]
Depósito de lavancha de escombros selgas			

SIMBOLOGÍA

- [Square with dot] Pueblo
- [X] Cota (m.s.n.m.)
- [Blue line] Río
- [Blue dashed line] Quebrada
- [Blue circle] Laguna
- [Blue circle with dot] Bofedal
- [Black outline] Área urbana
- [Black circle with dot] Cráter
- [Black circle with dot] Caldera
- [Black line with arrow] Escarpa de deslizamiento
- [Black outline] Zona de alteración
- [Black line with arrow] Falsa normal de bajo ángulo
- [Black line with arrow] Falsa normal
- [Black line with arrow] Falsa inflexa
- [Black line] Lineamiento
- [Black triangle] Sobreescurrimiento

REPÚBLICA DEL PERÚ
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO
DIRECCION DE GEOLOGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLOGICO

INGEMMET

MAPA DE GEOMORFOLÓGICO

0 200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800 2000 m

PROYECCIÓN: TRANSVERSA DE MERCATOR
DATUM HORIZONTAL: UTM WGS84 ZONA 19S

Relieve montañoso en rocas sedimentarias (M-rs): Corresponde a afloramientos de roca sedimentaria, afectados por procesos tectónicos y erosivos, conformados por rocas de tipo microconglomerados, areniscas, lutitas y limos. Presentan laderas con pendientes medias a fuertes.

Relieve montañoso en rocas intrusivas (M-ri): Esta subunidad está conformando laderas y crestas de topografía abrupta, con elevaciones que alcanzan los 4600 msnm. Los cuerpos ígneos intrusivos que afloran de formas irregulares se encuentran constituidos por granodiorita. Esta unidad no se desarrolla en el valle, pero se consigna para referencia.

Esta unidad ha sido disectada por el río Tambo y quebradas; también existen procesos de erosión de laderas y movimientos en masa.

UNIDAD DE COLINAS Y OTROS DE ORIGEN VOLCÁNICO:

Están representadas por colinas de relieve complejo y en diferentes grados de disección, de menor altura que una montaña (menos de 300 metros desde el nivel de base local) y con inclinación de laderas promedio superior a 16%), conforman alineamientos de carácter estructural y denudativo. Esta unidad se ubica próxima a la unidad de montañas y viene a formar parte de las estribaciones andinas. Se asocian litológicamente a rocas de tipo volcánico, volcánico-sedimentario. Dentro de este grupo se diferenciaron las subunidades:

Relieve de colinas en rocas volcánicas (C-rv): Corresponde a afloramientos de rocas volcánicas (tobas, tufos y derrames lávicos, presentan formas irregulares y laderas con pendientes medias a altas. Se encuentra en ambas márgenes del río Ubinas y a NE del volcán Ubinas.

Relieve de colinas en rocas volcánico sedimentarias (C-rvs): Corresponde a afloramientos de roca sedimentaria, reducidos por procesos denudativos, se encuentran conformando elevaciones alargadas, con laderas de baja a moderada pendiente. Se localizan, con poco desarrollo, en la margen derecha de la cuenca media del río Tambillo.

Cono volcánico (C-v): Está constituido por flujos de lava y flujos de piroclásticos, los cuales en gran parte están cubiertos por depósitos de cenizas y materiales retrabajados. Morfológicamente dentro de dicha estructura se destacan dos zonas: la base y la cumbre del edificio.

Caldera (Ca): Corresponde a la parte más alta del cono del volcán Ubinas, presenta una morfología glacial típica, labrada en los diversos flujos de lava y depósitos volcanoclásticos de fuerte pendiente, la nieve se deposita en época de invierno (diciembre a marzo), con un espesor promedio de 50 cm.

Domo de lava (Do): Se ubica al S del volcán Ubinas, posiblemente ligados a la actividad del Ubinas. Tiene forma cónica con una base semi-circular. En general se encuentra cubierto de cenizas holocénicas y cenizas emitidas durante la actividad 2006-2009.

3.2 GEOFORMAS DE CARÁCTER DEPOSICIONAL Y AGRADACIONAL

Estas geofomas son resultado del conjunto de procesos geomorfológicos constructivos, determinados por fuerzas de desplazamiento, como por agentes móviles, tales como: el agua de escorrentía, los glaciares, y los vientos, los cuales tienden a nivelar hacia arriba la superficie de la tierra, mediante el depósito de materiales sólidos resultantes de la denudación de terrenos más elevados.

Vertientes de cenizas y lapillis (V-cl): Depósitos que descansan sobre las zonas de altiplanicie, constituido por sedimentos volcanoclásticos y depósitos de lapilli y ceniza.

Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (P-cd): Corresponde a las acumulaciones de ladera originadas por procesos de movimientos en masa del tipo deslizamientos, derrumbes, caída de rocas, avalancha de rocas. Generalmente su composición litológica es homogénea; son depósitos de corto recorrido relacionados a las laderas superiores adyacentes. Su morfología es usualmente convexa y su disposición semicircular a elongada en relación a la zona de arranque o despegue del movimiento en masa.

Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial (P-at): Son conos formados por acumulaciones de material acarreado por flujos excepcionales, en la desembocadura de quebradas y torrenteras.

Morrenas (Mo): Esta unidad comprende a geofomas convexas suaves y alargadas producidas por la acumulación de materiales depositados por acción glacial durante el Plesitoceno-Holoceno. Se trata de morrenas frontales y lateral (flanco Norte, Oeste y Sur del volcán Ubinas). Estas destacan por presentar una mezcla heterogénea de bloques de rocas volcánicas, gravas y limos.

Valles fluviales y terrazas indiferenciadas (VT-i): Valles tributarios donde no ha sido posible diferenciar el fondo de valle, las terrazas y llanuras de inundación, debido a la escala de trabajo. Entre ellos se tiene cursos de los ríos Tambo, Ubinas y Para.

- Valle Ubinas: este valle se prolonga desde la quebrada Volcanmayo (pie del flanco sur del volcán Ubinas) hasta la confluencia del río Tambo, en ambos márgenes del río Ubinas se encuentran terrazas conformadas por lahares y/o depósitos aluviales, donde se encuentran asentados los poblados Tonohaya, San Miguel y Huataga.
- Valle Para: de cauce estrecho y poco prolongado (menos de 3 km de longitud). Aguas arriba del valle, en ambos márgenes de este río afloran depósitos de flujos piroclásticos soldados cubiertos por flujos de lodo y depósitos aluviales. El río Para se une al Ubinas en inmediaciones del poblado San Miguel.

Altiplanicie de depósitos volcánicos (Ab): La zona de altiplanicie durante el Pleistoceno a inicios del Holoceno fue intensamente glaciada, existiendo actualmente en ella gran cantidad de depósitos glaciares. De Morfología extensa que se destaca entre las demás por presentar superficies horizontales

y/o ligeramente onduladas o de suaves pendientes, distribuidas al Oeste del volcán Ubinas.

Bofedal (Bo): Rellenan las depresiones ubicada al N y NE del Volcán Ubinas.

Zona de alteración hidrotermal (Z-ah): Geoformas constituidas de depósitos de flujos piroclásticos de cenizas. Estos depósitos afloran al E del Ubinas (cerro Pacoorco Grande) y se encuentran alterados e hidrotermalizados.

Depósito de avalancha de escombros antiguo (D-ae): Después de la construcción el estrato-volcán antiguo se produjo el colapso del flanco sur del edificio volcánico Ubinas, que provocó una avalancha que se canalizó en los valles de Ubinas y Para. El depósito de avalancha está constituida por bloques subangulosos e hidrotermalizados.

CAPÍTULO 4: PELIGROS VOLCÁNICOS

4.1 ACTIVIDAD HISTÓRICA DEL VOLCÁN UBINAS

Relatos históricos y datos geológicos muestran que el volcán Ubinas presentó al menos 23 crisis volcánicas desde 1550 hasta 1995-96 (Rivera, 1998), referidas a alta actividad fumarólica y emisiones de cenizas, con una recurrencia de 1 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). A estos eventos hay que agregarle la erupción del volcán Ubinas del 2006 al 2009 (Mariño et al., 2011; Rivera et al., 2011). Estos eventos causaron daños en centros poblados y terrenos de cultivos localizados en áreas aledañas al volcán (figura 4). Los daños ocasionados fueron principalmente por lluvias de cenizas y emisiones de gases.

Datos históricos refieren que algunas de las erupciones presentadas por el Ubinas fueron moderadas a altas. Dichas erupciones son comparables a la erupción de tipo Vulcaniana o tipo Saint Vincent del año 1662, que alcanzó un Índice de Explosividad Volcánica (IEV) 3, o la del año 1677 que tuvo IEV 2. Según Simkin & Siebert (1994) estas erupciones depositaron 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 está sobre las cenizas y pómez del volcán Huaynaputina, que erupcionó el año 1600 D.C.

Durante el siglo XX, el Ubinas ha presentado al menos nueve eventos eruptivos (incluido el del 2006-2009), caracterizados por intensas emisiones de gases y cenizas, ligados a eventos de tipo freático y freatomagmático. 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).

En la Tabla N° 1 se presenta un resumen de la actividad del volcán Ubinas en épocas históricas, antes del año 2006.

Tabla Nro. 1. Resumen de la actividad histórica del volcán Ubinas (Tomado de Rivera, 1998)

AÑO	INICIO	FINAL	TIPO DE ACTIVIDAD	IEV	OBSERVACIONES
1550			Erupción central y explosiva	3 ?	
1599	07 Feb.	22 Feb.	Erupción explosiva moderada	2	Cenizas grises cayeron cerca a Arequipa.
1600			Erupción explosiva		
1662			Erupción explosiva	2 ?	Las cenizas viajaron hasta las pampas de Sama y Locumba.
1677			Erupción explosiva de gran magnitud	3	Probablemente cayeron cenizas y flujos piroclásticos de escorias encontradas al NW y N del volcán (hasta 1 km del cráter).
1778			Erupción explosiva		
1784			Erupción central y explosiva	2	Alta actividad fumarólica y emisión de cenizas.
1826			Erupción central y explosiva	2	
1830			Erupción central y explosiva	2	
1862			Erupción central y explosiva	2	
1865			Erupción central y explosiva	2	Emisión de cenizas grises.
1867	24-May	28-May	Erupción central y explosiva	2	
1869		Octubre	Erupción central y explosiva	2	
1906		Octubre	Erupción central y explosiva	2	
1907		Octubre	Erupción central y explosiva	2	
1912-1913 ?			Erupción central y explosiva	2	Cenizas cayeron sobre Ubinas, Chojata y Yalhua afectó tierras de cultivo y murieron ganados por epidemias desconocidas generadas por las cenizas.
1923-1925 ?			Erupción explosiva		Cenizas grises cayeron cerca a la ciudad de Arequipa.
1936	03 Ene.	Julio	Erupción explosiva y fumarólica	2	En el valle de Ubinas las cenizas afectaron áreas importantes de cultivo.
1937	Mayo	Julio	Erupción central y explosiva	2	Las cenizas destruyeron terrenos de cultivo y generaron epidemias en el valle de Ubinas.
1951	Mayo	21 Oct.	Erupción central y explosiva	2	En el valle de Ubinas las cenizas causaron serios daños.
1956	Junio		Erupción explosiva y fumarólica	2	Emisión de cenizas causaron daños en los terrenos de cultivo y en poblados del valle de Ubinas.
1969	Mayo	Dic. ?	Erupción explosiva	2	En el valle de Ubinas las cenizas destruyeron los cultivos y afectaron a la población.
1995-1996	Dic.	Abril ?	Alta actividad fumarólica	1	Esta actividad alarmó a la población del valle de Ubinas.

IEV: Índice de Explosividad Volcánica: es una escala de magnitud de una erupción que va de 0 a 8. Describe el tamaño de las erupciones volcánicas, basada entre otros factores, en el volumen de material emitido, altura de la columna eruptiva, etc.

4.2 ERUPCIÓN DEL VOLCÁN UBINAS DEL AÑO 2006

La crisis eruptiva del volcán Ubinas se inició el 27 de marzo de 2006 (Mariño et al., 2011). En dicha fecha se reportaron por primera vez caídas de ceniza en zonas cercanas al volcán. Durante el proceso eruptivo se han identificado dos etapas principales:

- 1) **Etapla eruptiva freática:** Se extendió del 27 de marzo al 18 de abril de 2006 y estuvo caracterizada por emisiones de cenizas y proyectiles balísticos con un alto porcentaje de componentes hidrotermalizados (figura 4; Mariño et al., 2011); y
- 2) **Etapla eruptiva de tipo vulcaniano:** Se inició alrededor del 19 de abril de 2006, fecha en que se avistó por primera vez un cuerpo de lava incandescente en el fondo del cráter (corroborado también por el alto contenido de componentes juveniles en las cenizas emitidas posteriores al 20 de abril). Esta segunda etapa se caracterizó por emisiones moderadas de ceniza y la ocurrencia de esporádicas explosiones, que en algunas ocasiones están acompañadas por emisiones de proyectiles balísticos (Mariño et al., 2011).

En la segunda etapa se ha identificado un periodo de mayor actividad eruptiva, entre abril y agosto de 2006 (figuras 5 y 6); y un periodo de menor actividad, entre septiembre de 2006 y diciembre de 2009. El periodo de mayor actividad estuvo caracterizado por emisiones casi constantes de ceniza, que duraron entre 2 y 3 semanas aproximadamente, separados por periodos de muy baja actividad que duran generalmente entre 10 y 14 días. Durante este periodo, la columna eruptiva alcanzó valores de altura máximos, entre los 1500 y 2500 m sobre el cráter del volcán, sin embargo, luego de algunas explosiones estas se elevaron incluso entre los 3,000 y 4,000 m de altura. En este periodo, que duró aproximadamente 134 días, se registraron 81 explosiones, es decir, ocurrió en promedio una explosión cada uno o dos días. El periodo de menor actividad (septiembre de 2006 a diciembre de 2008) está caracterizado por intervalos de tranquilidad, que podían durar semanas e incluso meses, y cortos intervalos de ligero incremento de emisiones de ceniza, que duraron entre 1 y 3 semanas. Durante este periodo de menor actividad, en promedio, la pluma volcánica alcanzó entre 300 y 700 m de altura sobre la cumbre, y las explosiones fueron muy esporádicas. En este periodo, que duró 2 años con 6 meses, las explosiones ocurrieron en promedio una vez cada 20 a 30 días.

PRODUCTOS EMITIDOS DURANTE LA ERUPCIÓN

Según Riverta et al. (2010) y Mariño et al. (2011), los productos emitidos por el volcán Ubinas, entre marzo de 2006 y diciembre de 2009, fueron cenizas y proyectiles balísticos. Las mayores emisiones de cenizas estuvieron precedidas por explosiones volcánicas, las cuales fueron de magnitud pequeña a moderada, comparada con erupciones de otros volcanes andesíticos. Las cenizas afectaron principalmente áreas situadas a menos de 12 km del volcán, donde se encuentran casi la totalidad de pueblos del valle de Ubinas (figura 7). El alcance máximo registrado de los proyectiles balísticos fue de 1,8 km, donde

poseen hasta 1,5 cm de diámetro, sin embargo, a 200 m del cráter se han encontrado bombas de hasta 3,5 m de diámetro. Estos balísticos están constituidos por lavas juveniles, algunas vítreas y otras escoriaeas, así como por líticos no juveniles (fragmentos hidrotermalizados y de lava accidental), que han sido arrancados del conducto volcánico. Los proyectiles balísticos juveniles poseen composición andesítica basáltica, y contienen fenocristales de plagioclasas (algunas zonadas), piroxenos, óxidos y xenocristales de biotita.



Figura 4. Fotografías tomadas el día 31 de marzo de 2006: (a) caldera del volcán Ubinas, cubierto por cenizas de color blanquecino; (b) emisiones de cenizas y gases de poca densidad, provenientes de 3 ventos; (c) plantaciones de alfalfa cubiertos por restos de cenizamuy fina, ubicadas a 4 km al sureste del cráter del volcán Ubinas. (Tomado de Mariño et al., 2011).



Figura 5. Columna eruptiva de gases y cenizas del 1 de junio de 2006, registrado desde el pueblo de Ubinas. Las cenizas alcanzaron más de 1000 m de altura, fueron dispersadas en dirección SE cayeron sobre los pueblos del valle de Ubinas (Tomado de Mariño et al., 2011).



Figura 6. Emisión de gases y cenizas del 3 de junio de 2006. Las cenizas fueron dispersadas en dirección sur y sureste, y cayeron sobre los pueblos del valle de Ubinas (Tomado de Mariño et al., 2011).

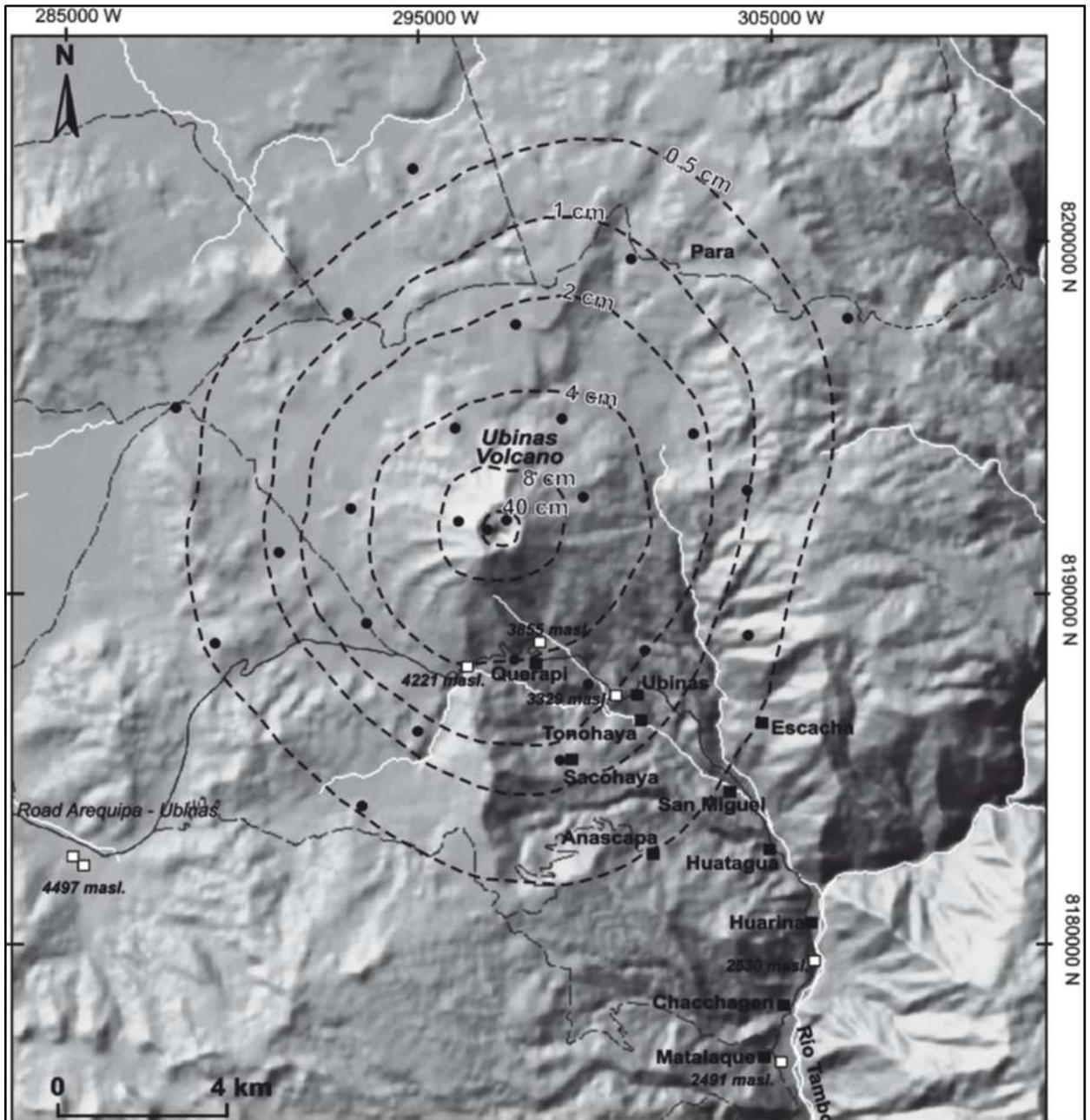


Figura 7. Mapa de isópacas, donde se muestra el espesor de los depósitos de caída de cenizas, acumulados durante el periodo marzo de 2006 y abril de 2007 (Rivera et al., 2010).

IMPACTO DE LA ERUPCIÓN EN LAS PERSONAS Y EL MEDIO AMBIENTE

Los productos emitidos por el volcán Ubinas fueron principalmente gases volcánicos, cenizas y bombas volcánicas. Los gases se diluyeron tan pronto entraron en contacto con la atmósfera y sus efectos han sido mínimos en el medio ambiente. Las bombas o proyectiles balísticos han alcanzado distancias menores a 2 km, motivo por el cual no han provocado mayor daño a la población, infraestructura y áreas de cultivo (Mariño *et al.*, 2011).

La mayor afectación del medio ambiente ha sido producida por el emplazamiento de ceniza (figuras 7 y 8). Estas partículas poseen menos de 2 mm de diámetro y están conformadas por material hidrotermalizado, vidrio volcánico y cristales fragmentados de diferentes minerales, como plagioclasas, anfíboles, piroxenos y óxidos de Fe-Ti, provenientes de rocas del conducto volcánico y lava.

La dirección de los vientos jugó un papel importante en la dispersión de las cenizas. Se produjeron caídas de cenizas en distintas direcciones alrededor del volcán, sin embargo, en los tres años de erupción se observa una ligera predominancia de caídas de ceniza al SE, E, NE y N del volcán. Se han producido importantes lluvias de cenizas dentro de un radio de 12 km, que han afectado el medio ambiente (figura 8). Los principales efectos de las cenizas en el medio ambiente y población han sido:

- Contaminación de pastos naturales, principalmente el icho, que es alimento de los camélidos y ovinos, pastoreados en los bofedales por encima de los 3600 msnm.
- Contaminación de áreas de cultivo al SE y S del volcán Ubinas. Las finas capas de ceniza provocaron se marchiten las plantas y se pierda la cosecha de papas, maíz, trigo, cebada, alfalfa y otros productos de panllevar. Las zonas más afectadas estuvieron restringidas dentro de un radio de 4 a 7 km del cráter, cerca de las localidades de Querapi, Ubinas, Sacohaya, Tonohaya y Escacha.
- Muerte de animales por ingesta de alimentos contaminados con la ceniza. Esto provocó la muerte de un buen número de camélidos, ovinos, ganado vacuno y caprino.
- Generación de lluvias ácidas, básicamente en las temporadas de lluvias, entre los meses de enero y marzo. Se originó por la mezcla de gases volcánicos impregnados en la ceniza y las gotas de lluvia. Las lluvias ácidas originan la contaminación de fuentes de agua, tales como manantiales, quebradas, acequias. La ingesta de agua contaminada provocó males estomacales en las personas y animales.
- Emplazamiento de flujos de lodo (lahares), principalmente en las temporadas de lluvias, entre diciembre y marzo de 2007 y 2008. Los flujos de lodo se originan por una mezcla de agua y ceniza. Cabe resaltar la ocurrencia de importantes flujos de lodo a lo largo de las quebradas Infiernillo, El Volcán y el río Ubinas, el 17 de enero de 2007, que arrasaron algunas áreas de cultivo asentadas en las riveras, así como provocaron la interrupción de las vías

carrozables Ubinas – Arequipa y Tonohaya – Ubinas, interrumpiendo el tránsito durante horas y días.

- Presencia de partículas finas de ceniza en suspensión en el aire que generaron baja visibilidad, y que duraron algunos minutos e incluso varias horas.
- Las cenizas generaron problemas de salud en las personas, principalmente en los habitantes de Querapi, Ubinas, Tonohaya, Sacoaya y Escacha. Los centros de salud de las localidades afectadas reportaron un considerable incremento de males respiratorios, dermatitis y afecciones estomacales en las personas, provocadas por la ceniza. Asimismo, la erupción generó trastornos psicológicos, principalmente en los niños.

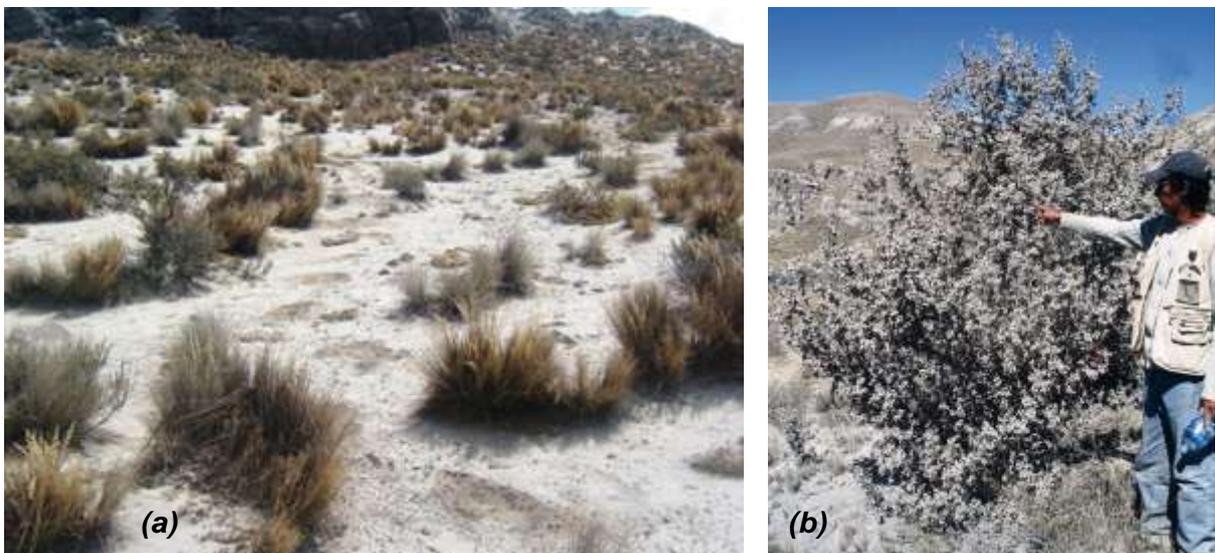


Figura 8. (a) Capas finas de ceniza cubren pastos naturales en las partes altas, sobre los 3600 msnm, afectando la crianza de camélidos (agosto 2006). (b) Caídas de ceniza cubren árboles y pastos naturales cerca de Querapi, a 4 km de distancia del cráter, mes de septiembre 2006 (tomado de Mariño et al., 2011).

4.3 CRISIS ERUPTIVA DEL VOLCÁN UBINAS DE SETIEMBRE DEL 2013

Entre el 01 y 07 de setiembre del 2013, se han registrado 09 explosiones de tipo freático en el volcán Ubinas (Tabla Nro. 2). La primera explosión ocurrió el día 01 setiembre a las 22:46 Hrs. El día 2 de setiembre a las 15:52 Hrs. se registró una nueva explosión, luego del cual se pudo distinguir una gran columna de gases y ceniza de hasta 2 km de altura sobre el cráter (figura 9). Luego las cenizas fueron dispersadas hacia el sector Norte del volcán. Posteriormente se produjo una tercera explosión a las 23:50 Hrs que produjo caída de ceniza. El día 3 de setiembre se registraron 3 explosiones más a las 8:09, 10:21, 10:29 Hrs. Luego de la primera explosión se formó una columna de gases y ceniza de 2 km de altura, donde la ceniza fue dispersada a más de 40 km de distancia en dirección Noroeste del volcán (figura 10), afectando poblados como San Juan de Tarucani y otros centros poblados menores.

Durante el ascenso al cráter, el día 02 de setiembre, se identificaron fragmentos de roca incandescente (o proyectiles balísticos) y caída de ceniza en la zona de la caldera y cráter del volcán. Algunos proyectiles balísticos emitidos a altas temperaturas (>200 °C) generaron estructuras de impacto en el piso de la caldera, de hasta 2 m de diámetro.

Luego de las explosiones se formaron columnas de gases y ceniza que alcanzaron entre 0.8 a 2 km de altura sobre el cima del volcán (figuras 11 y 12), cuyo material fue dispersado en dirección Norte y Noroeste, influenciado por la dirección de los vientos que en esa oportunidad tuvieron una orientación N-NO.

Durante esta crisis, las cenizas han sido dispersadas preferentemente hacia el Norte y Noroeste, sectores donde hay muy pocos pobladores. Las cenizas han contaminado principalmente fuentes de agua y pastos naturales como el ichu (figura 13). Muy ocasionalmente las cenizas han alcanzado centros poblados, como por ejemplo San Juan de Tarucani (figura 14). Debido a emisiones muy limitadas de la ceniza y que duraron pocos días, los efectos de las mismas en el medio ambiente y la salud de las personas han sido muy limitadas.

Tabla Nro. 2: Características de las explosiones del volcán Ubinas, ocurridos en setiembre del 2013 (Tomado de Reporte Nro. 1, OVI-INGEMMET).

Número Explosión	Fecha	Hora (local)	Hora (UTM)	Energía (MJ)	Duración explosión (seg)	Duración Tremor x día (min)
1	01-set-2013	22:46	03:46	1700	175	180
2	02-set-2013	15:52	20:52	650	415	170
3	02-set-2013	23:50	04:50	120	285	500
4	03-set-2013	08:09	13:09	120	470	120
5	03-set-2013	10:21	15:21	50	360	0
6	03-set-2013	10:29	15:29	300	105	0
7	04-set-2013	18:07	23:07	500	426	30
8	05-set-2013	16:20	21:20			
9	07-set-2013	10:36	15:36			



Figura 9. Columna de gases y ceniza formada luego de la explosión del día 2 de septiembre a las 15:52 Hrs.



Figura 10. Columna de gases y ceniza formada luego de la explosión del día 3 de septiembre a las 08:09 Hrs.



Figura 11. Emisiones de ceniza del volcán Ubinas, producido el día 3 de setiembre del 2013.



Figura 12. Columna de gases y ceniza formada luego de la explosión del día 05 de septiembre del 2013.



Figura 13. Ceniza color gris cubriendo los pastos naturales en áreas cercanas al volcán Misti. Foto del día 05/09/2013.



Figura 14. Pobladora de San Juan de Tarucani muestra ceniza del volcán Ubinas emplazado en su localidad. Fuente: El Comercio: 08/09/2013.

4.4 PRINCIPALES PELIGROS VOLCÁNICOS DEL UBINAS

El volcán Ubinas ha mostrado varios tipos de actividad a lo largo de su historia eruptiva, que van desde erupciones de gran magnitud (sub-plinianas y plinianas) a erupciones de baja magnitud.

En base a la composición química de los productos emitidos por el volcán en los últimos 500 años, y las características de sus erupciones en dicho intervalo de tiempo, se argumenta que la actual erupción y/o futuras erupciones tendrán una magnitud baja a moderada. Es decir se esperan erupciones que alcancen principalmente un Índice de Explosividad Volcánica (IEV) de 1 a 4. En tal caso la columna eruptiva puede alcanzar entre 6 y 15 km de altura, produciendo además de caídas de cenizas, flujos piroclásticos. Eventualmente pueden originar el colapso del flanco Sur y emplazar flujos de avalanchas de escombros y flujos de lodo. Los flujos antes mencionados pueden canalizarse por el flanco Sur con dirección al valle de Ubinas, donde se localizan los poblados de Querapi, Ubinas, Tonohaya, San Miguel, Huatagua; vías de acceso y terrenos de cultivos, causando graves daños. Los principales tipos de peligros asociados al volcán Ubinas, se muestran en la figura 15.

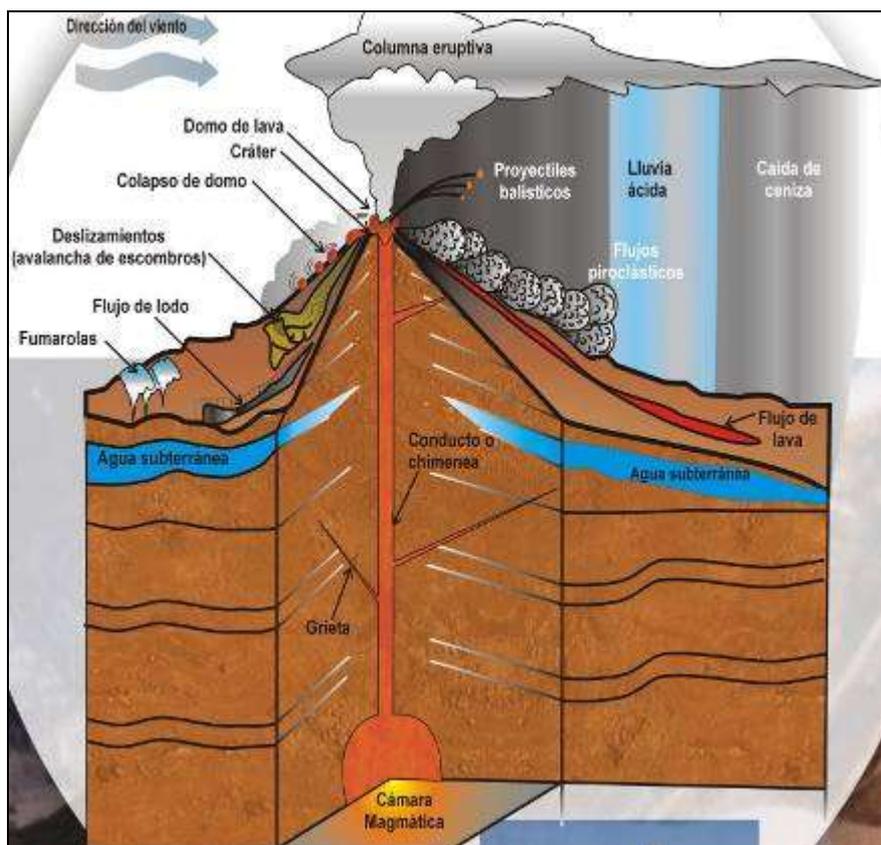


Figura 15. Principales tipos de peligros identificados en el volcán Ubinas: peligros por caídas de ceniza, lahares, flujos piroclásticos, flujos de lava y avalanchas de escombros.

A continuación se describe los principales peligros que puede presentar el Ubinas en caso de incrementar su actividad:

PELIGROS POR CAÍDAS O LLUVIAS DE CENIZAS Y ESCORIA:

Caídas de cenizas han ocurrido en casi todas las erupciones del Ubinas durante época histórica. La ceniza genera daños en la población, terrenos de cultivo, actividad pecuaria, pastizales, reservorios y canales de aguas. Las cenizas pueden ser dispersadas a más de 100 km de distancia alrededor del volcán, influenciadas por la dirección del viento.

PELIGROS POR FLUJOS DE BARRO (HUAYCOS) Y DESBORDES:

Los flujos de barro pueden ser generados durante una erupción volcánica debido a la fusión del hielo y nieve que yace en la cumbre del volcán durante los meses de diciembre a abril. También pueden originarse por la ocurrencia de lluvias intensas desencadenadas durante erupciones volcánicas. Los flujos de barro viajarían por las quebradas y valles que drenan del volcán Ubinas, y tomarían entre 20 a 40 minutos en descender hacia los valles de los ríos Ubinas y Para, ocasionando daños en ambas márgenes.

PELIGROS POR FLUJOS PIROCLÁSTICOS:

Los flujos piroclásticos son una mezcla de cenizas, fragmentos de rocas y gases a alta temperatura, que descienden a gran velocidad (entre 200 y 300 km/hora) por los flancos del volcán. Estos productos pueden ser generados durante erupciones explosivas moderadas, y se canalizarían por los cauces de quebradas y ríos. Los flujos solo en algunos minutos descenderían del volcán y causarían destrucción por enterramiento e incineración de todo lo que encuentren a su paso. Cálculos efectuados por Rivera (1988), para el caso de erupciones vulcanianas a sub-plinianas estas pueden recorrer distancias mayores a 6 km con dirección al valle de Ubinas.

PELIGROS POR EL COLAPSO DE FLANCO SUR Y GENERACIÓN DE AVALANCHAS DE ESCOMBROS

Durante una erupción explosiva (vulcaniana o pliniana), el crecimiento de un domo de lava dentro del volcán y/o emisión importante de lavas, puede originar el derrumbe del flanco Sur. Ello debido a que el flanco Sur es delgado, presenta fuerte pendiente y numerosas fracturas. El derrumbe originaría flujos de avalanchas de escombros, que se desplazarían por las quebradas Volcanmayo, Sacuaya, y Chillón con dirección al río Ubinas y Tambo. Las avalanchas alcanzarían una distancia mínima de 10 km, destruyendo poblados y terrenos de cultivos.

PELIGROS POR FLUJOS DE LAVA:

Durante una actividad efusiva se generarían lavas que rellenarían y desbordarían el cráter, la caldera y fluirían hacia el norte del volcán, ya que el borde Norte de la caldera tiene menor altura que el borde Sur. En caso se acumule un volumen importante de lava en el cráter y caldera, la presión generada sobre el flanco Sur, puede causar el derrumbe parcial de dicho

flanco. Luego del colapso se generarían avalanchas de escombros y flujos de lavas, que se desplazarían a lo largo del valle de Ubinas.

4.5 MAPA DE PELIGROS VOLCÁNICOS DEL UBINAS

Con la reactivación del volcán Ubinas manifestada en marzo del 2006, el grupo de volcanología del INGEMMET inició la ejecución de trabajos de geología del volcán con el objeto de determinar los tipos de estructuras y depósitos volcánicos asociados a la actividad de dicho volcán, para luego evaluar los peligros y enunciarlos mediante un mapa de peligro. El mapa elaborado al inicio de la crisis 2006-2009 (Rivera et al., 2010) 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 la gestión de la crisis del Ubinas el 2006.

El mapa que se presenta en este estudio, es un mapa actualizado que toma en cuenta diversos escenarios eruptivos y ha sido elaborado por Rivera et al. (2011, Ver Mapa Nro. 2). 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 vulcanianas, freatomagmáticas, freáticas y una erupción pliniana (erupciones explosivas moderadas a fuertes (Rivera et al., 2011).

METODOLOGÍA DE ELABORACIÓN DEL MAPA DE PELIGROS:

Según Rivera et al. (2011), 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 (Mapa Nro. 2), 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.

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 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.

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 el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), 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 prevalcientes en la zona.

En el mapa existen líneas que limitan las zonas sujetas a un grado de peligro. Esto no implica, por la naturaleza del mapa, que inmediatamente fuera de estas zonas se esté absolutamente exento del peligro y riesgo o que al interior de ellas, necesariamente, se tenga que ser afectado.

MAPA DE PELIGROS DE LA ZONA PROXIMAL PARA PELIGROS MÚLTIPLES:

El mapa de peligros de la zona proximal, ha sido elaborado por Rivera et al. (2011, Ver Mapa Nro. 2), a escala 1:50 000, en el cual se diferencian tres zonas pintadas de diferentes colores: zona de alto peligro, de moderado peligro y bajo peligro.

- **Zona de alto peligro (rojo):** Comprende un área semi-circular alrededor del cráter 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 1-3). La probabilidad de ocurrencia de erupciones de magnitud baja (IEV 1-3) es alta, aproximadamente, uno a cinco eventos cada 100 años.
- **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).
- **La zona de bajo peligro (amarillo):** Esta zona 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, en caso que la erupción sea de alta a muy alta magnitud (IEV >4).

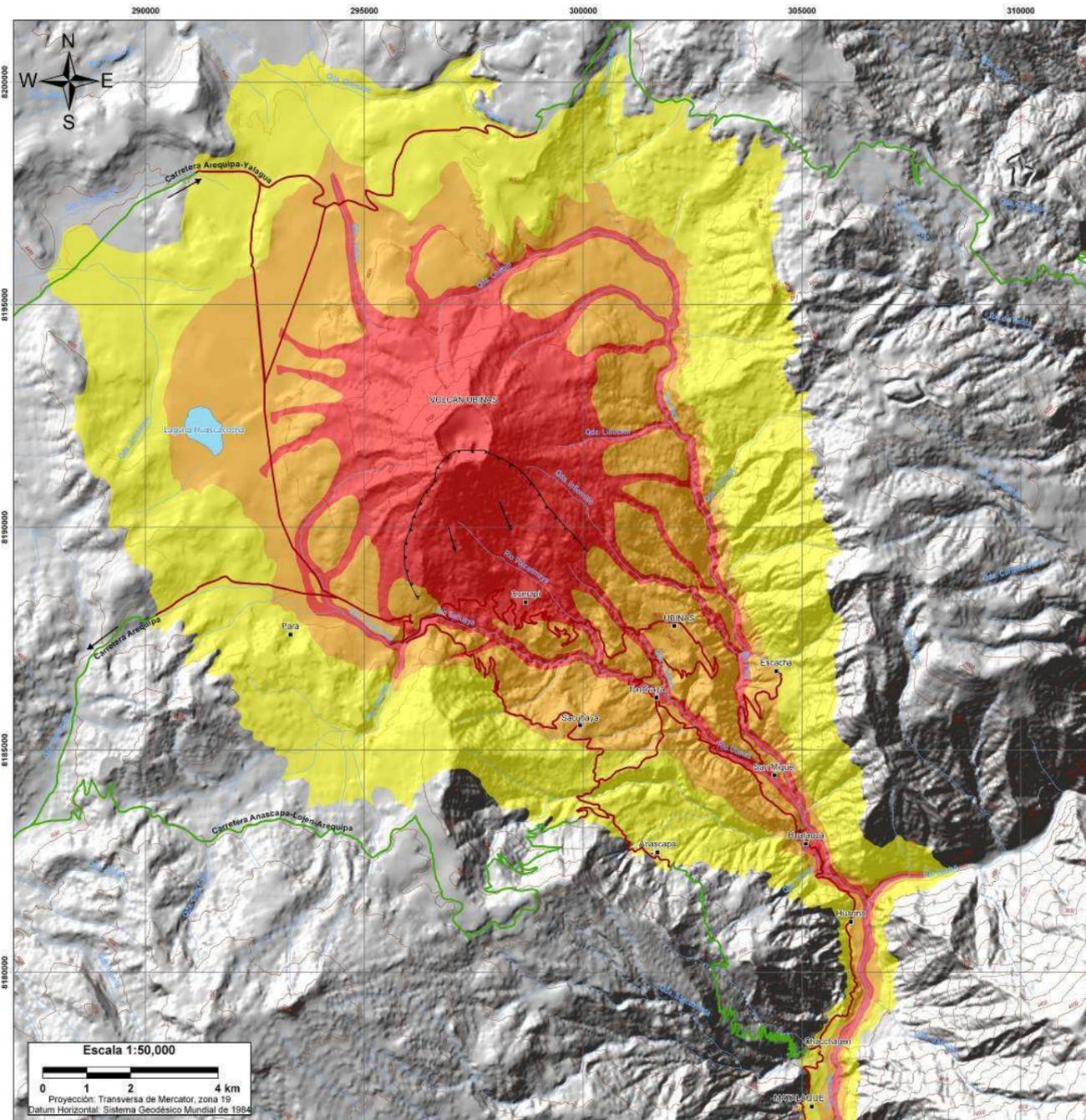
MAPAS DE PELIGROS POR CAÍDAS DE DE TEFRAS

Se han elaborado dos mapas de peligros por caídas de tefras (pómez, cenizas, escorias) del volcán Ubinas (Rivera et al., 2011; Ver Mapa Nro. 2). Estos mapas corresponden a dos escenarios: para erupciones leves a moderadas (vulcaniana, Saint-Vincent, freatomagmática) y erupciones grandes (subplinianas, plinianas).

En el caso de una erupción moderada (vulcaniana, Saint-Vincent, freatomagmática) 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 - 3) presentada por el Ubinas los últimos 500 años.

En caso de una erupción altamente explosiva (subpliniana a pliniana) se generarían caída de pómez de más de 1 m de espesor en un radio de ~15 km alrededor del Ubinas. Esta hipótesis 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. En efecto, en caso de la ocurrencia de una erupción pliniana las tefras tenderían a viajar hacia el Oeste en época lluviosa (diciembre a marzo), y hacia el Este 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.

MAPA DE PELIGROS DEL VOLCÁN UBINAS



INTRODUCCIÓN

En este mapa se representan con distintos colores las zonas susceptibles a ser afectadas con mayor frecuencia por los diferentes fenómenos volcánicos como son las lluvias de cenizas y piedra pómez, flujos piroclásticos, flujos de barro, avalanchas de escombros y flujos de lava. Se distinguen zonas de alto peligro en color rojo, moderado peligro en naranja y bajo peligro en amarillo. La zona cercana al cráter (rojo) es la más peligrosa porque sería afectada con mayor frecuencia por todos los fenómenos, mientras que la zona amarilla representa áreas que serían afectadas por pocos fenómenos y sólo en erupciones de excepcional magnitud. La determinación de zonas de peligro está basada en una combinación o suma de todos los peligros que pueden afectar dichas áreas.

METODOLOGÍA

Para delimitar las zonas de peligro se tuvo en cuenta los estudios geológicos, modelamientos por computadora para flujos de barro o lahares, cálculos de líneas de energía para determinar distancias hasta donde pueden alcanzar futuros flujos piroclásticos y avalanchas de escombros. Además de ejemplos análogos de erupciones ocurridas en otros volcanes del mundo. Al pie del mapa se citan las principales referencias que contribuyeron en su confección.

TIPOS DE PELIGROS VOLCÁNICOS MÁS FRECUENTES EN EL VOLCÁN UBINAS

LLUVIAS DE CENIZAS Y PIEDRA PÓMEZ

Estas se generan cuando los fragmentos de roca son expulsados hacia la atmósfera violentamente, formando una columna eruptiva alta, y que posteriormente caen sobre la superficie terrestre. Los fragmentos más grandes y densos caen cerca del volcán y se denominan bombas o bloques (>64 mm), mientras que las partículas de menor tamaño, denominadas lapilli pómez (2-64 mm) y cenizas (<2 mm) son llevadas por el viento a grandes distancias, luego caen y forman una capa de varios milímetros o centímetros de espesor. Estas partículas pueden causar problemas de salud en las personas, contaminar las fuentes de agua, afectar cultivos, interrumpir el tráfico aéreo, etc.

FLUJOS DE BARRO (HUAYCOS O LAHARES)

Los flujos de barro son mezclas de fragmentos de rocas volcánicas de tamaños diversos movilizadas por el agua, que fluyen rápidamente, con velocidades promedio entre 10 y 20 m/s. Se generan en periodos de erupción o de reposo volcánico. El agua puede provenir de fuertes lluvias, fusión de hielo o nieve. Estos flujos viajan a lo largo de quebradas o ríos, y eventualmente pueden salirse de estos cauces. El área afectada depende del volumen de agua y de materiales sueltos disponibles, así como de la pendiente y topografía. Normalmente destruyen todo a su paso y pueden recorrer grandes distancias (>100 km).

FLUJOS PIROCLÁSTICOS

Los flujos piroclásticos son corrientes calientes (300°C a 800°C), conformados por una mezcla de cenizas, fragmentos de roca y gases. Estos flujos descienden por los flancos del volcán a ras de la superficie y a grandes velocidades, entre 100 y 300 m/s. Están constituidos normalmente por una parte inferior densa, que se encausa y desplaza por el fondo de las quebradas o valles, y otra superior, menos densa denominada oleada piroclástica, compuesta por una nube de gases y cenizas que con frecuencia salen del valle, pudiendo afectar un área mayor. Estos flujos destruyen y calcinan todo lo que encuentran a su paso.

AVALANCHAS DE ESCOMBROS

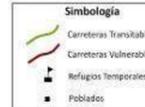
Las avalanchas de escombros son deslizamientos rápidos del flanco de un volcán. Son causadas por fracturas que producen la inestabilidad del volcán, tales como pendiente elevada de las laderas, presencia de fallas, sismos fuertes, alteración hidrotermal y explosiones volcánicas. Las avalanchas de escombros bajan a gran velocidad y destruyen todo lo que encuentra a su paso.

FLUJOS DE LAVA

Son corrientes de roca fundida, que son expulsadas por el cráter o fracturas en los flancos del volcán. Pueden fluir por el fondo de los valles y alcanzar varios kilómetros de distancia, pero en nuestros volcanes, cuyo magma (roca fundida) es viscoso normalmente se enfrían en áreas alejadas al cráter o recorren escasos kilómetros. Los flujos de lava destruyen y calcinan todo a su paso. En caso que el Ubinas emita más de 0.5 Km³ de lava puede provocar el colapso del flanco Sur del edificio volcánico debido a la presión que ejercería sobre este.

GASES VOLCÁNICOS

Durante las erupciones volcánicas se produce una importante liberación de gases, principalmente vapor de agua; pero también el dióxido de carbono, dióxido de azufre, ácido clorhídrico, monóxido de carbono, ácido fluorhídrico, azufre, nitrógeno, cloro y flúor. Estos gases se diluyen y dispersan rápidamente. Sin embargo pueden alcanzar concentraciones altas en la caldera o las laderas, donde pueden generar intoxicación o muerte de personas y animales. Los gases también pueden condensarse y adherirse a partículas de cenizas, así como reaccionar con las gotas de agua y provocar lluvias ácidas, que generan corrosión, daños en los cultivos y contaminan de aguas y suelos.

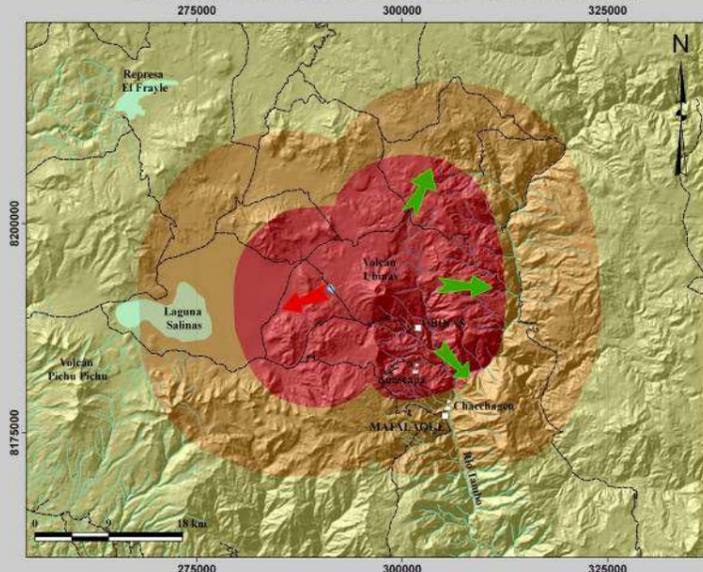


IEV: Índice de Explosividad Volcánica

Representa la magnitud de una erupción y es una escala que va de 0 a 8 grados. El IEV se define en función del volumen del material expulsado, la altura de la columna eruptiva, duración de la erupción, entre otros factores.

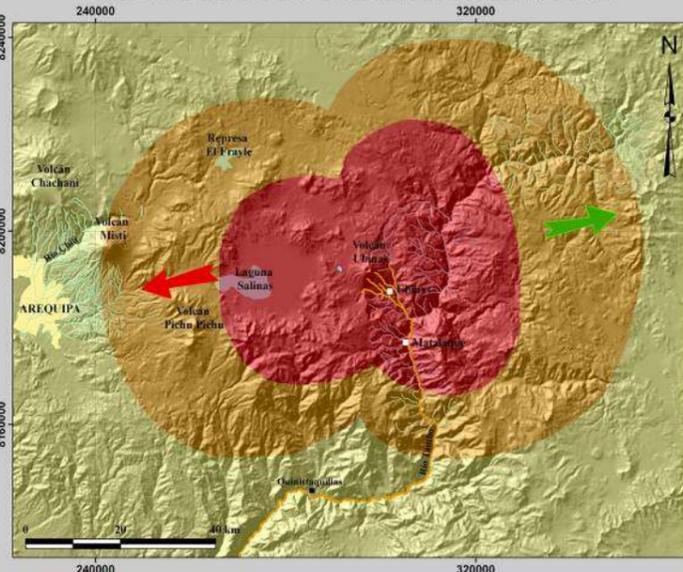
- Zona de Alto Peligro** (Rojo): Puede ser severamente afectada por lluvias de ceniza y piedra pómez, proyectiles balísticos, flujos piroclásticos, flujos de barro, avalanchas de escombros y/o flujos de lava, generados durante una erupción del Ubinas. Aunque estos últimos no llegarían al fondo del valle de Ubinas. Debido a su cercanía al volcán y sus características morfológicas, es la zona de mayor peligro. Cualquier tipo de erupción la puede afectar, inclusive las de baja magnitud como las ocurridas los últimos 500 años (IEV 1 a 3), entre ellas la erupción del 2006 - 2009.
- Zona de Moderado Peligro** (Naranja): Puede ser afectada prácticamente por todos los peligros que alcanzarían la zona anterior, a excepción de flujos de lava que por su viscosidad alta, difícilmente llegarían a esta área. Esta zona es de menor peligro que la roja y solo puede ser afectada durante erupciones de magnitud moderada a alta (IEV 4 a 5), como las erupciones explosivas ocurridas hace 14,000, 7,480 y 980 años A.P. También podría ser afectada por avalanchas de escombros generados por el colapso del flanco sur del volcán Ubinas, como la ocurrida hace aproximadamente 3670 años A.P.
- Zona de Bajo Peligro** (Amarillo): Es la zona más alejada del volcán y por tanto es la de menor peligro. Puede ser afectada por flujos piroclásticos, flujos de barro, avalancha de escombros y caídas de cenizas, pero solo en erupciones de magnitud muy alta (IEV > 5), como las ocurridas hace 269,000 y 342,000 años A.P., que emplazaron voluminosos flujos piroclásticos. La ocurrencia de este tipo de eventos a corto y mediano plazo es poco probable.
- Zona de Colapso** (Dotted): Zona que puede colapsar y generar avalancha de escombros que descenderían por los flancos del volcán y se canalizarían en el valle de Ubinas. El colapso puede estar asociado a una erupción volcánica importante o sismo fuerte. La distancia que alcanzaría es variable y dependerá del volumen del material involucrado. La hipótesis está basada en los depósitos:
 - (a) Depósitos de avalancha de escombros generados hace aproximadamente 3760 años A.P., sobre los cuales se asienta el poblado de Querqui.
 - (b) Depósitos de avalancha de escombros "antiguos" de aproximadamente 2.8 km, depositados hace más de 300,000 años A.P.

MAPA DE PELIGROS POR CAÍDAS DE CENIZA PARA UNA ERUPCIÓN DE MAGNITUD BAJA A MODERADA (IEV 1 a 2)



- Zona de Alto Peligro** (Rojo): Zona que puede ser afectada por caídas de ceniza de más de 3 cm de espesor.
- Zona de Moderado Peligro** (Naranja): Zona que puede ser afectada por caídas de ceniza de más de 1 cm de espesor.
- Zona de Bajo Peligro** (Amarillo): Zona que puede ser afectada por caídas de ceniza de menos de 1 cm de espesor.
- Direcciones de vientos predominantes de Abril a Noviembre** (Verdes).
- Direcciones de vientos predominantes de Diciembre a Marzo** (Rojos).
- Vías de acceso** (Negras).

MAPA DE PELIGROS POR CAÍDAS DE CENIZA PARA UNA ERUPCIÓN DE MAGNITUD MODERADA A GRANDE (IEV 3 a 6)



- Zona de Alto Peligro** (Rojo): Zona que puede ser afectada por caídas de ceniza y piedra pómez de más de 20 cm de espesor, durante erupciones de magnitud moderada a grande (IEV 3 a 6). Sus límites están basados en los alcances de tres erupciones explosivas que ocurrieron entre 14,000 y 1,000 años A.P.
- Zona de Moderado Peligro** (Naranja): Zona que puede ser afectada por caídas de ceniza y piedra pómez de más de 10 cm de espesor, durante erupciones de magnitud grande (IEV >4). Sus límites están basados en los alcances de la erupción del volcán Huaynaputina del año 1,600 D.C.
- Zona de Bajo Peligro** (Amarillo): Zona que puede ser afectada por caídas de ceniza de menos de 10 cm de espesor, durante erupciones de magnitud grande (IEV >4). Sus límites están basados en los alcances de la erupción del volcán Huaynaputina del año 1,600 D.C.
- Direcciones de vientos predominantes de Noviembre a Marzo** (Rojos).
- Direcciones de vientos predominantes de Abril a Octubre** (Verdes).
- Valle que puede ser afectado por flujos de barro generados por erupciones de magnitud alta a moderada y/o lluvias fuertes** (Azules): Basados en flujos de barro que llegaron al mar durante la erupción del volcán Huaynaputina del año 1600 D.C.



Poblado de Ubinas ubicado a 6 km del cráter del volcán (5000 habitantes en el área de influencia del volcán). Foto tomada el 24 de Abril de 2007.

BIBLIOGRAFÍA

- Rivera M. (1998). El volcán Ubinas (Sur del Perú): Geología, Historia eruptiva y evaluación de las amenazas volcánicas actuales. Tesis Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 123 p.
- Rivera, M., Thouret, J.-C., Marino, J., Berolatti, R., Fuentes, J. (2010). Characteristics and management of the 2006-2008 volcanic crisis at the Ubinas volcano (Peru). Journal of Volcanology and Geothermal Research, 198, 19-34.
- Rivera, M. (2010). Genèse et évolution de magmas andésitiques à royacliques récents des volcanes Misti et Ubinas (Sud du Pérou). Tesis Doctoral, Universidad Blaise Pascal (Francia), 407 p.
- Simkin T., Sebert L. (1994). Volcanoes of the world - a regional directory, gazetteer and chronology of volcanism during the last 10,000 years, 2nd edn. Global Volcanism Program. Smithsonian Institution, Washington, DC pp 348.
- Thouret J.-C., Rivera, M., Womer, G., Gerbe, M.C., Finizola, A., Fomari, M., Gonzales, K. (2005). Ubinas: the evolution of the historically most active volcano in southern Peru. Bulletin Volcanol 67: 557-589.

AUTORES

M. Rivera¹, J. Mariño¹, J. Thouret^{2,3}, P. Samaniego²

MAPA 2

¹Instituto Geológico Minero y Metalúrgico-INGEMMET

²Instituto de Investigación Para el Desarrollo de Francia (IRD)

³Laboratorio Magmas y Volcanes, Universidad Blaise Pascal, Francia (UBP)

Instituciones participantes en su elaboración:



CAPÍTULO 5: PELIGROS POR MOVIMIENTOS EN MASA

5.1 INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA

Los movimientos en masa constituyen los procesos geológicos que involucran desplazamiento o remoción de masa rocosas (fracturadas y/o meteorizadas), depósitos inconsolidados, o ambos por efecto de la gravedad. Su ocurrencia en la región está estrechamente ligada a intensas lluvias, sismos, erupción volcánica y modificaciones antrópicas (factores detonantes); así como factores condicionantes o intrínsecos tales como la litología, pendiente, morfología, cobertura vegetal, etc.

Los movimientos en masa identificados se han descrito utilizando la clasificación de deslizamientos y en general de movimientos en masa, adoptada por el Grupo de Estandarización de Movimientos en Masa (GEMMA) del Proyecto Multinacional Andino – Geociencias para las Comunidades Andinas (PMA-GCA, 2007), se diferencian procesos activos, antiguos¹, y reactivados. En el Mapa Nro. 3 se presenta el inventario de movimientos en masa cartografiados. Ver figuras 16, 17, 18 y 19.



Figura 16: Desprendimientos y derrumbes de rocas en las cercanías de Querapi. Afecta la trocha carrozable que recorre el valle.

¹ En la estimación de la edad de los movimientos en masa, se emplea las cuatro categorías para edad, sugerida por McCalpin (1984), la cual diferencia: 1) Activo (con record histórico: <140 años), 2) Inactivo (Joven: 140-5000 años), 3) Inactivo (maduro: 5 000 a 10 000 años) y 4) Inactivo (viejo: antiguo >10 000 años).



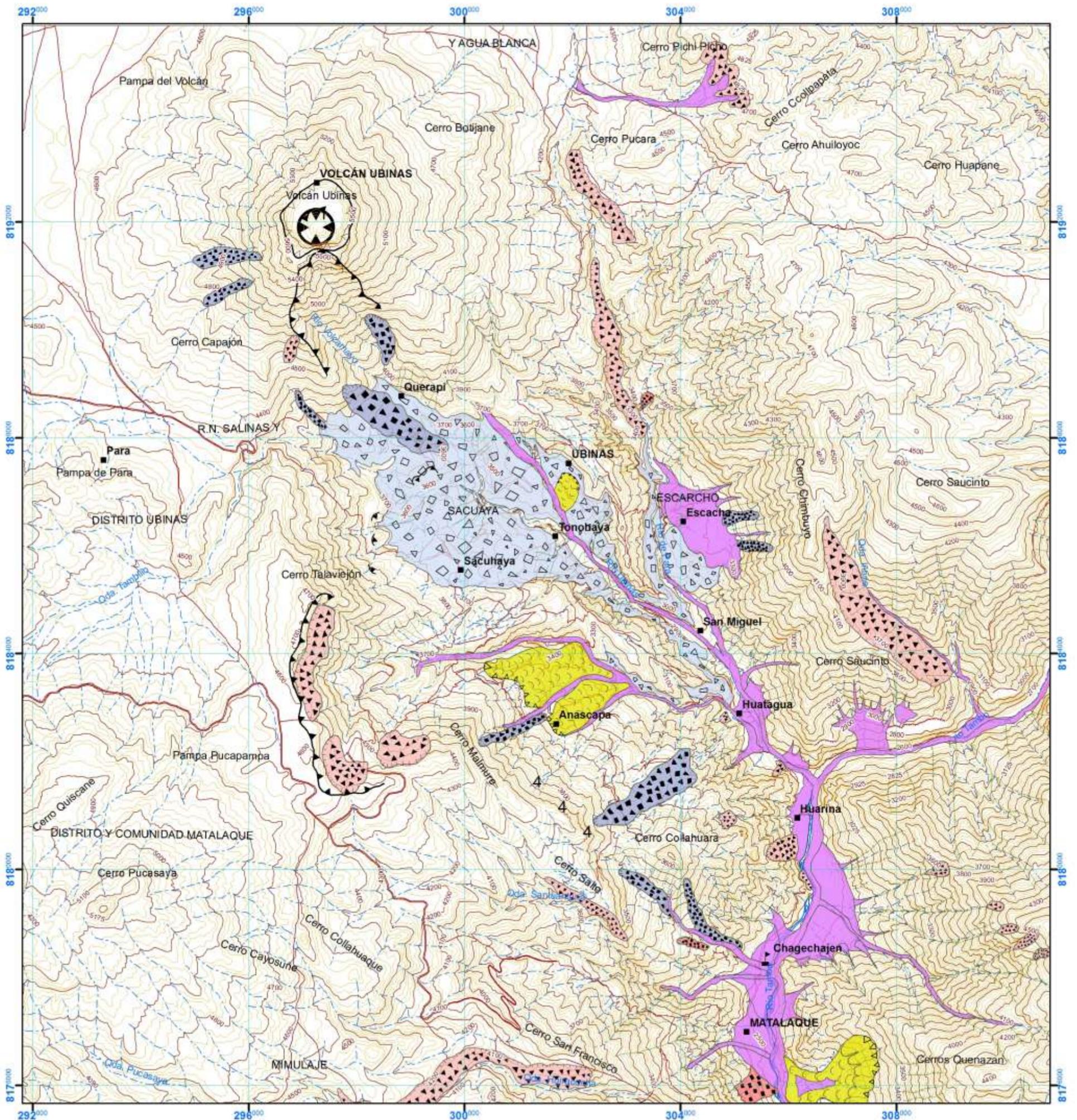
Figura 17: Zona de desprendimientos de rocas, colapso de ladera (derrumbes) y erosión en el sector Sacuaya viejo



Figura 18: Flujo de detritos (huaicos) en la quebrada Chifon. Movimiento en masa frecuente en la zona. Afecta trocha carrozable



Figura 19: Grandes abanicos de flujos de detritos (huaicos) en el sector Ánimas. Obsérvese la actividad reciente de estos eventos a causa de intensas precipitaciones pluviales.



SIMBOLOGÍA

- Pueblo
- Cota (m.s.n.m.)
- Río
- Quebrada
- Laguna
- Bofedal
- Área urbana
- Cráter
- Escarpa de deslizamiento

REPÚBLICA DEL PERÚ
 SECTOR ENERGÍA Y MINAS
 INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO
 DIRECCION DE GEOLOGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLOGICO

INGEMMET

MAPA DE MOVIMIENTOS EN MASA

0 250 500 1.000 1.500 2.000 m

PROYECCION: TRANSVERSA DE MERCATOR
 DATUM HORIZONTAL: UTM WGS84 ZONA 19S

5.2 SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA

La susceptibilidad a los movimientos en masa está definida como la propensión que tiene una determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico (movimiento en masa), expresado en grados cualitativos y relativos. Los factores que controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos geodinámicos, pueden ser intrínsecos o externos.

En la construcción del mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa se tienen en cuenta una serie de variable o factores que tienen influencia en la ocurrencia de dichos fenómenos.

Para determinar los grados de susceptibilidad, se ha utilizado el método basado en la categorización y ponderación de factores (**Método heurístico, indirecto y cualitativo**), cuyo objetivo principal es indicar y priorizar zonas donde las condiciones existentes hacen probable la ocurrencia de movimientos en masa (Fidel et al., 2006).

El proceso de elaboración se inicia con la captura de los factores (mapas temáticos: litológico, geomorfológico, hidrogeológico, pendientes) relacionados con la ocurrencia de estos fenómenos. El inventario de movimientos en masa sirve para validar los modelos generados.

MAPA LITOLÓGICO:

El mapa litológico fue elaborado en base al mapa geológico del volcán Ubinas, a escala 1:25 000, del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), cuya información se encuentra en el boletín Geología y Evaluación de Peligros del Volcán Ubinas (Rivera et al, 2011) y Geología del cuadrángulo de Ichuña, hoja 33u-III (1:50 000); realizado por la Dirección de Geología Regional.

Para la delimitación de las unidades litológicas se ha tomado como patrón la litología, el grado de homogeneidad de sus propiedades ingeniero - geológicos (rocas y suelos), principalmente su grado de fracturamiento, grado de meteorización y resistencia a la erosión, agrupándolas sin considerar su edad (Mapa Nro. 04).

Es así que los principales grupos de suelos y rocas se han agrupado en dos grandes unidades de clasificación: Depósitos inconsolidados y Substrato rocoso

a) Depósitos inconsolidados (Unidad I):

Esta unidad agrupa a los depósitos poco o nada coherentes e inconsolidados, de edad reciente, extensión y grosor variable. Formados por materiales de litología heterogénea y heterométrica, depositados desde el Pleistoceno hasta la actualidad. Se han agrupados por su grado de compactación.

Para el valle Ubinas se han determinado cuatro tipos de sedimentos, que son producto de la meteorización, erosión y acumulación; presentan morfologías que van desde planas, plano – onduladas a algo inclinadas, como en el caso

de las acumulaciones de piedemonte. Dentro de esta unidad se tienen las siguientes subunidades:

Depósitos coluvio – deluviales (Subunidad I-1): Esta subunidad agrupa depósitos de piedemonte de diferente origen (gravitacional y fluvio-gravitacional), que se acumulan en vertientes o márgenes del valle como también en laderas superiores; en muchos casos son resultado de una mezcla de ambos. En conjunto, por su naturaleza son susceptibles a la erosión pluvial, remoción y generación de flujos de detritos (chorreras y huaycos), y cuando son resultado de antiguos movimientos en masa son susceptibles a reactivaciones. Geomorfológicamente están asociados a las unidades de depósitos de vertiente, depósitos de deslizamientos y abanicos deluvio/coluviales.

Depósitos aluviales y fluviales (Subunidad I-2): Depósitos Aluviales: Los depósitos mejor desarrollados se localizan en el cauce de los ríos Ubinas y Para; así como en los flancos del mismo. Constituidos por gravas en una matriz arenosa o limo-arcillosa. A lo largo del valle del Ubinas se distinguen cuatro niveles de terrazas aluviales que descansan a ambos márgenes del río Ubinas

Depósitos morrénicos (Subunidad I-3): Conformados por materiales formados por acción de los glaciares. Se encuentran sobre la altiplanicie lávica, formados por gravas y bloques.

Depósitos de lahar (Subunidad I-4): Conformados por bloques de lava y grava incluidos dentro de una matriz fina areno-limosa bastante cohesiva; depósitos asociados a flujos de detritos de origen volcánico (lahars). Estos depósitos se encuentran distribuidos en las quebradas que descienden por los flancos del volcán. Además se encuentran a una distancia de 10 km del cráter (actual cauce del río Ubinas), formando terrazas escalonadas

Depósitos volcánicos y volcanoclásticos (Subunidad I-5): Esta subunidad agrupa a los materiales de avalanchas antiguas y acumulación de caída de cenizas y lapillis, asociados al volcán Ubinas.

b) Unidades del substrato

Rocas Intrusivas (Unidad II): Dentro de esta unidad litológica encontramos rocas intrusivas de tipo granodioritas y dioritas afloran en la confluencia del río Ubinas y Tambo, al SE del volcán Ubinas. Dentro de esta unidad se tienen la siguiente subunidad:

Granodioritas (Subunidad II-1): Afloramientos meteorizados de topografía moderada a fuerte, distribuidos principalmente en el sector Chujulaque, en el cerro Saucinto. Se encuentran afectados por procesos de erosión en cárcavas y caídas de rocas los cuales acarrear flujos de detritos.

Rocas volcánicas (Unidad III): En esta unidad presenta algunos afloramientos muy alterados, está constituida por lavas andesíticas, andesitas piroclásticas, tobas andesíticas y dacíticas. Dentro del valle Ubinas se tiene una buena

exposición de esta Unidad, en la zona de colinas y montañas. En esta unidad se han diferenciado las siguientes subunidades:

Flujo piroclásticos (Subunidad III-1): Depósitos de flujos piroclásticos de pómez y cenizas, constituidos de fragmentos de pómez y líticos lávicos dentro de una matriz de ceniza, son bastante masivos y cohesivos, al S y SE del volcán Ubinas entre los cerros Pichi Picho y Talaviejón.

Flujo piroclásticos con alteración (Subunidad III-1a): Constituido por flujos piroclásticos que presenta una ligera alteración silícica.

Derrámes lávicos (Subunidad III-2): Compuesto por flujos de lavas andesíticas silicificadas. Afloran al Suroeste del volcán Ubinas (Cerro Huancarane). También constituye la base del estrato – volcán.

Ignimbritas (Subunidad III-3): Constituido por ignimbritas dacíticas soldadas y riolíticas no soldadas. Corresponde a un depósito de flujo de pómez y ceniza soldadas, que aflora al Norte del Ubinas.

Lavas y flujos piroclásticos (Subunidad III-4): Secuencia de flujos piroclásticos y lavas andesíticas que se ubican al este y sureste del volcán Ubinas, como el cerro Chalujen. Comprende varios niveles de flujos piroclásticos entre flujos de cenizas y pómez y caída de cenizas bastante compactos, eventualmente intercalados con flujos de lava. Algunos depósitos se encuentran en parte alterados e hidrotermalizados.

Rocas volcánico – sedimentarias (Unidad IV): Esta unidad tiene una reducida distribución en el valle Ubinas, está constituida por secuencias clásticas volcánicas donde se tienen: tufos, aglomerados andesíticos, tobas, ignimbritas. Los peligros geológicos de más recurrencia son los derrumbes, caída de rocas, erosión de laderas.

Secuencia volcanoclástica con depósitos sedimentarios (Subunidad IV-1): Secuencia volcanoclástica estratificada con depósitos sedimentarios, aflora en la cabecera del valle Ubinas y en la margen izquierda del valle Ubinas. Constituida por niveles de limonitas estratificadas intercaladas con niveles de flujos de barro

Rocas sedimentarias (Unidad V): Dentro de esta unidad se han distinguido las siguientes cuatro subunidades:

Microconglomerados, areniscas, lutitas y limos (Subunidad V-1): Esta unidad está conformada por rocas clásticas constituidas por intercalaciones de microconglomerados y areniscas con lutitas y limos. Dentro de esta subunidad se pueden presentar principalmente flujos de detritos, y algunas ocurrencias locales de caídas.

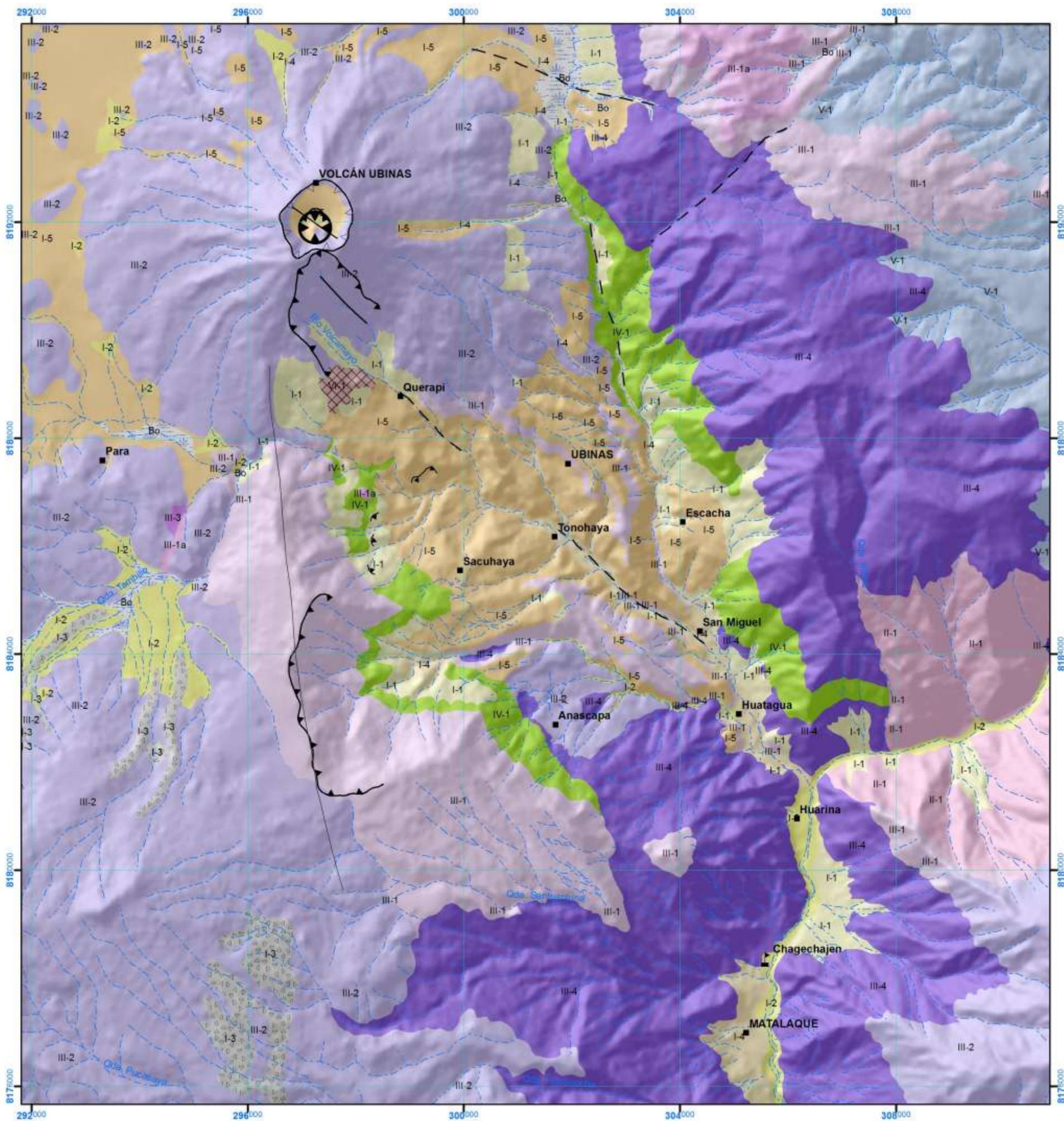
Domos de lava (Unidad VI-1): Este pequeño afloramiento es parte de un domo de lava andesítica se ubican al sur del cráter del volcán Ubinas, cabecera del río Volcamayo. Esta subunidad puede aparecer afectada por derrumbes locales y flujos de detritos.

c) Litología y susceptibilidad:

La geología es uno de los parámetros más importantes al analizar la susceptibilidad a los movimientos de masa, pero también uno de los más complejos de evaluar, por las diferentes asociaciones de rocas que se presentan y que condicionan su competencia geomecánica (fracturamiento, resistencia y meteorización). En el Cuadro Nro. 1 se evalúa el carácter litológico, estructural y la susceptibilidad.

CUADRO N° 1: LITOLOGÍA Y SUSCEPTIBILIDAD

Unidad Litológica	Clasificación	Símbolo	Grado	Calificación
DEPÓSITOS SUPERFICIALES	Depósito coluvio-deluvial	I-1	Alta	4
	Depósito aluvial	I-2	Media	3
	Depósito morrénico	I-3	Media	3
	Depósito de lahar	I-4	Media	3
	Depósitos volcánicos y volcanoclásticos	I-5	Baja	2
SUBSTRATO ROCOSO	Rocas intrusivas: granodiorita	II-1	Baja	2
	Flujos piroclásticos	III-1	Baja	2
	Flujos piroclásticos con alteración	III-1a	Alta	4
	Derrames lávicos	III-2	Baja	2
	Ignimbritas	III-3	Baja	2
	Lavas y flujos piroclásticos	III-4	Baja	2
	Secuencia volcanoclástica con depósitos sedimentarios	IV-1	Media	3
	Microconglomerado con areniscas, lutitas y limos	V-1	Baja	2
	Domo de lava andesítica	VI-1	Baja	2



LEYENDA

Unidad Litológica	Clasificación	Símbolo	Color
DEPOSITOS SUPERFICIALES	Depósito coluvio-deluvial	I-1	Light Yellow
	Depósito aluvial	I-2	Yellow
	Depósito morrénico	I-3	Light Green
	Depósito de lehar	I-4	Orange
	Depósitos volcánicos y volcanoclásticos	I-5	Dark Orange
SUBSTRATO ROCOSO	Rocas intrusivas: granodiorita	II-1	Pink
	Flujos piroclásticos	II-1	Light Purple
	Flujos piroclásticos con alteración	II-1a	Light Purple
	Derrames lávicos	II-2	Light Purple
	Ignimbritas	II-3	Light Purple
	Lavas y flujos piroclásticos	II-4	Dark Purple
	Secuencia volcanoclástica con depósitos sedimentarios	IV-1	Light Green
	Microconglomerado con areniscas, lutitas y limos	V-1	Light Blue
	Domo de lava andesítica	VI-1	Red Cross-hatch

SIMBOLOGÍA

- Pueblo
- X Cota (m.s.n.m.)
- ~ Río
- ~ Quebrada
- ~ Laguna
- ~ Bofedal
- ⊞ Área urbana
- ⊞ Cráter
- ⊞ Caldera
- ⊞ Escarpa de deslizamiento
- ⊞ Zona de alteración
- ⊞ Falla normal de bajo ángulo
- ⊞ Falla normal
- ⊞ Falla inversa
- ⊞ Lineamiento
- ⊞ Sobrescurrimiento

REPÚBLICA DEL PERÚ
 SECTOR ENERGÍA Y MINAS
 INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO
 DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO
INGEMMET
MAPA DE LITOLÓGICO
 ESCALA: 1:200,000
 PROYECCIÓN: TRANSVERSA DE MERCATOR
 DATUM HORIZONTAL: UTM WGS84 ZONA 19S

MAPA GEOMORFOLÓGICO:

El aspecto geomorfológico generalmente es tomando en cuenta como aspecto de pendiente. Sin embargo las unidades geomorfológicas diferenciadas en el valle de Ubinas, para los objetivos perseguidos, se les considera muy importantes como factores de susceptibilidad. La pendiente se analiza por separado. Para efectos del mapa de susceptibilidad se tomó el mapa geomorfológico presentado en el Capítulo 3 (Mapa Nro. 1). Los valores de susceptibilidad en función al análisis estadístico, para las diferentes unidades geomorfológicas, permitió agruparlas según su susceptibilidad en cinco rangos (Ver Cuadro Nro. 2).

CUADRO Nro. 2: CALIFICACIÓN DE GEOFORMAS

GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO DEGRADACIONAL Y EROSIONAL				
UNIDAD	SUB UNIDAD	ETIQUETA	GRADO	CALIFICACIÓN
Montañas	Montaña en roca volcánica	M-rv	Baja	2
	Montaña en roca volcánico sedimentaria	M-rvs	Media	3
	Montaña en roca sedimentaria	M-rs	Media	3
	Montaña en roca intrusiva	M-ri	Media	3
Colinas	Colina en roca volcánica	C-rv	Baja	2
	Colina en roca volcánico sedimentaria	C-rvs	Media	3
	Cono volcánico	C-v	Media	3
	Caldera	Ca	Media	3
	Domo de lava	Do	Media	3
GEOFORMAS DE CARÁCTER DEPOSICIONAL O AGRADACIONAL				
UNIDAD	SUB UNIDAD	ETIQUETA	GRADO	CALIFICACIÓN
Piedemonte	Vertiente de cenizas y lapillis	V-cl	Media	3
	Vertiente coluvial de detritos	V-c	Alta	4
	Piedemonte o vertiente coluvio-deluvial (desliz, avalancha)	P-cd	Alta	4
	Piedemonte o vertiente aluvio-torrencial (proluvial)	P-at	Media	3
	Morrenas	Mo	Baja	2
Altiplanicies, Depresiones y Otros	Valle fluvial y terrazas indiferenciadas.	VT-i	Media	3
	Altiplanicie de depositos volcánicos	P-dv	Muy baja	1
	Bofedal	Bo	Muy baja	1
	Zona de alteración hidrotermal	Z-ah	Baja	2
	Depósito de avalancha de escombros antiguo	D-ae	Media	3

MAPA HIDROGEOLÓGICO

Tomando información geológica a escala 1:25 000, aprovechando la diferenciación de unidades litológicas, basándose además de la versión preliminar del Mapa Hidrogeológico de Perú, en base a la agrupación de formaciones geológicas y de acuerdo a su permeabilidad, se elaboró el mapa hidrogeológico del área de estudio (Mapa Nro. 5). Dichas Unidades hidrogeológicas se agruparon en:

Formaciones detríticas permeables:

Se diferencian dos subgrupos:

- Acuíferos porosos no consolidados (APNC): Depósitos aluviales distribuidos en los tres valles principales constituyendo, terrazas, llanuras aluviales, con mayor superficie hacia las partes bajas del río Ubinas, así como gran parte del río Tambo y afluentes donde presentan mayor extensión.
- Depósitos morrénicos, fluvio-glaciales, glaciofluviales, depósitos de vertiente no consolidados (coluviales, deluviales, avalancha de escombros y proluviales), distribuidos espacialmente en muchos sectores del valle Ubinas.
- Acuíferos volcánicos en bloques (AV): Lavas y depósitos de flujo piroclástico alterado e hidrotermalizado.
- Acuíferos fisurado volcánico (AFV): Constituido de flujos de lava andesítica y dacítica
- Acuitardo sedimentario (ATS): Constituido de microconglomerados intercalados con areniscas, lutitas y limos
- Acuitardo volcánico (ATV): Lavas y depósitos de flujo piroclástico.
- Acuitardo volcánico en zona de alteración (ATV-Alt): Lavas y depósitos de flujo piroclástico alterado e hidrotermalizado.
- Acuitardo intrusivo (ATI): Constituido por afloramiento de granodioritas.

Unidades hidrogeológicas y susceptibilidad:

El agua es el factor que más comúnmente se le asocia con los movimientos en masa, y en general al fallamiento de los taludes o laderas, debido a que la mayoría de estos ocurren después de lluvias fuertes o durante periodos lluviosos prolongados. Siendo entonces, el agua subterránea uno de los principales factores en su ocurrencia.

Una lluvia, durante varios días consecutivos o con pocos días de diferencia, puede producir acumulación de agua subterránea, debido a que el talud no ha drenado el agua infiltrada; al ocurrir la siguiente lluvia se produce un ascenso del nivel freático. El régimen de aguas subterráneas en respuesta a las lluvias será diferente según la pendiente de la ladera, su litología y vegetación.

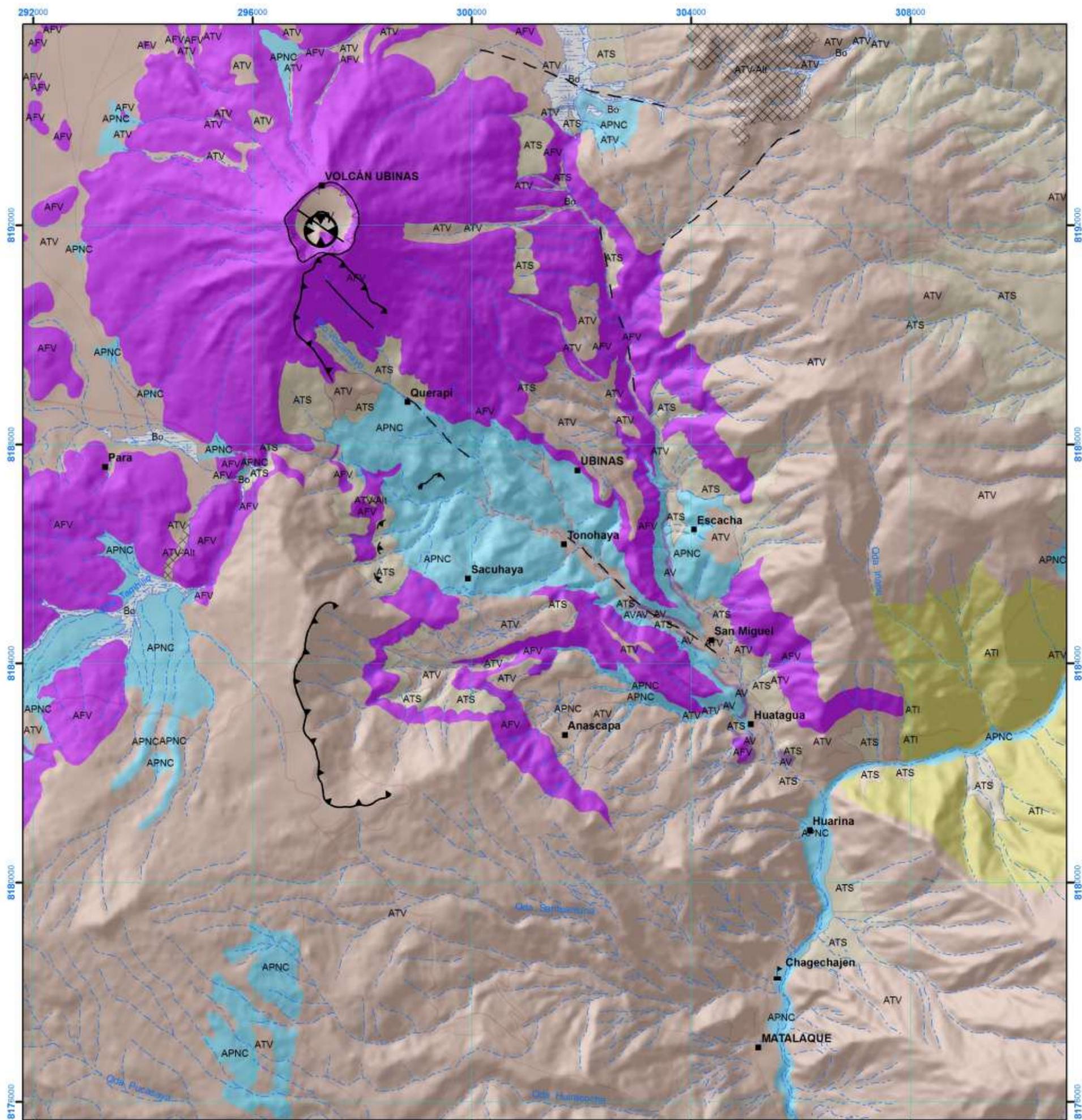
La cantidad de agua que se infiltra en la tierra queda determinada además de la cantidad, intensidad y tipo de precipitación, estructura geológica (fracturamiento) la pendiente del terreno y cantidad y tipo de vegetación, por la permeabilidad de los suelos y rocas, relacionados a la estratigrafía o secuencia de estratos permeables e impermeables. Una infiltración alta puede producir problemas de presión del agua interna que genere un deslizamiento. En el caso de que el talud llegue a saturarse, la facilidad o dificultad con que el talud se autodrene depende de las formaciones geológicas circundantes, por tanto la presencia de mantos permeables de evacuación de agua favorecerán grandemente su estabilidad. Los materiales impermeables que impiden el paso de las corrientes de agua subterránea, facilitan la ocurrencia de deslizamientos.

En el terreno se dan dos tipos de flujo de agua subterránea: intergranular (a través de los poros en formaciones aluviales, coluviales, etc.) y a través de fisuras (rocas). El flujo de agua tiende a ser más rápido a lo largo de fisuras, conductos o juntas especialmente en suelos residuales. Respecto al flujo en rocas y en suelos residuales se pueden señalar las siguientes premisas:

- En rocas volcánicas, a veces su porosidad es muy grande, pero sus poros no necesariamente están intercomunicados. El agua corre a través de grietas formadas al enfriarse y entre los derrames lávicos sucesivos.
- Las rocas ígneas pueden ser las menos saturadas y la poca agua presente procede de sus fracturas.
- Las rocas sedimentarias permeables son formaciones acuíferas importantes, y presentan grandes flujos de agua especialmente, en la dirección de la estratificación.
- En suelos residuales existe una relación del régimen de aguas subterráneas con la presencia de discontinuidades de tipo geológico. Los suelos de origen ígneo y metamórfico almacenan poca agua y en ellos las corrientes de agua están relacionadas comúnmente, con fallas de origen tectónico. Es un caso común en formaciones residuales, que un talud posea capas alternadas de materiales permeables y casi impermeables que generan concentraciones de flujo sobre ciertos planos que pueden ser o llegar a ser planos críticos de falla.

De acuerdo a las concepciones teóricas expuestas, la diferenciación de unidades litológicas en el Mapa Hidrogeológico, en función de su permeabilidad², y de las observaciones efectuadas en campo para las diferentes unidades de roca y suelo, se consideran los siguientes grados de susceptibilidad:

² La estimación de las permeabilidades en las diferentes unidades, son apreciaciones de carácter regional.



LEYENDA

Unidad Hidrogeológica	Clasificación	Símbolo	Color
ACUIFEROS	Acuífero poroso no consolidado	APNC	
	Acuífero volcánico en bloques	AV	
	Acuífero fisurado volcánico	AFV	
ACUITARDOS	Acuitardo sedimentario	ATS	
	Acuitardo volcánico	ATV	
	Acuitardo volcánico en zona de alteración	ATV-Alt	
	Acuitardo intrusivo	ATI	

SIMBOLOGÍA

- Pueblo
- Cota (m.s.n.m.)
- Río
- Quebrada
- Laguna
- Bofedal
- Área urbana
- Cráter
- Caldera
- Escarpa de deslizamiento
- Zona de alteración
- Falla normal de bajo ángulo
- Falla normal
- Falla inversa
- Lineamiento
- Sobreescurremiento

REPÚBLICA DEL PERÚ
 SECTOR ENERGÍA Y MINAS
 INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO
 DIRECCION DE GEOLOGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLOGICO

INGEMMET

MAPA DE HIDROGEOLÓGICO

PROYECCIÓN: TRANSVERSA DE MERCATOR
 DATUM HORIZONTAL: UTM WGS84 ZONA 19S

CUADRO Nro. 3: CALIFICACIÓN DE UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

Unidad Hidrogeológica	Clasificación	Símbolo	Grado	Clasificación
ACUIFEROS	Acuífero poroso no consolidado	APNC	Media	3
	Acuífero volcánico en bloques	AV	Media	3
	Acuífero fisurado volcánico	AFV	Media	3
ACUITARDOS	Acuitardo sedimentario	ATS	Alta	4
	Acuitardo volcánico	ATV	Baja	2
	Acuitardo volcánico en zona de alteración	ATV-Alt	Media	3
	Acuitardo intrusivo	ATI	Baja	2

MAPA DE PENDIENTES DE LAS LADERAS

El mapa de pendientes, fue preparado en base a los planos topográficos del IGN, a escala 1:25,000, con equidistancias de curvas de nivel cada 25 m, utilizándose para su generación el software de pendientes (con ayuda del GIS), obteniendo para ello un modelo de elevación digital y a la vez polígonos que presentan igual pendiente o inclinación en diferentes sectores del valle de Ubinas (Mapa Nro 6).

Se puede decir que es más fácil que ocurran movimientos en masa, en laderas y cauces cuya pendiente principal varía entre media a fuerte ($> 30^\circ$), también es más alta la erosión de laderas (laminar, surcos y cárcavas) en colinas o montañas, ya que a mayor pendiente se facilita el escurrimiento superficial y por ende la erosión hídrica o pluvial.

Sin embargo, algunos procesos lentos como la reptación de suelos y ocasionales deslizamientos, ocurren con un mínimo de pendiente. En el caso de las inundaciones y erosión fluvial, además de influir otros factores netamente geomorfológicos y dinámicos, también es usual en terrenos de suave pendiente.

Se consideró cinco rangos o grados de pendiente: muy baja, baja, media, fuerte, muy fuerte y abrupta; estas se describen a continuación:

- **Pendiente muy baja ($< 5^\circ$):** Terrenos planos con ligera inclinación que se distribuyen también a lo largo de las zonas de planicies, también conforman los depósitos de piedemonte y fondos de valle.

- **Pendiente baja (5° -20°):** Terrenos de pendiente moderada, presentan buena distribución en la zona de montañas y colinas, en las altiplanices por encima de los 4350 msnm.
- **Pendiente media (20° – 35°):** Pendientes con amplia distribución en la zona de montañas, también conformando las laderas superiores que se encuentran en ambas márgenes de los ríos Ubinas y Tambo.
- **Pendiente fuerte (35° - 50°):** Distribuidos principalmente en las laderas de montañas de la Cordillera Occidental, se extienden por sectores en las laderas superiores de los ríos Ubinas y Tambo.
- **Pendiente muy fuerte (> 50°):** Presentan una distribución reducida a lo largo de laderas de valles encañonados y las cabeceras que conforman el río Tambo.

La pendiente constituye un factor de evaluación principal para el análisis de susceptibilidad a los movimientos en masa.

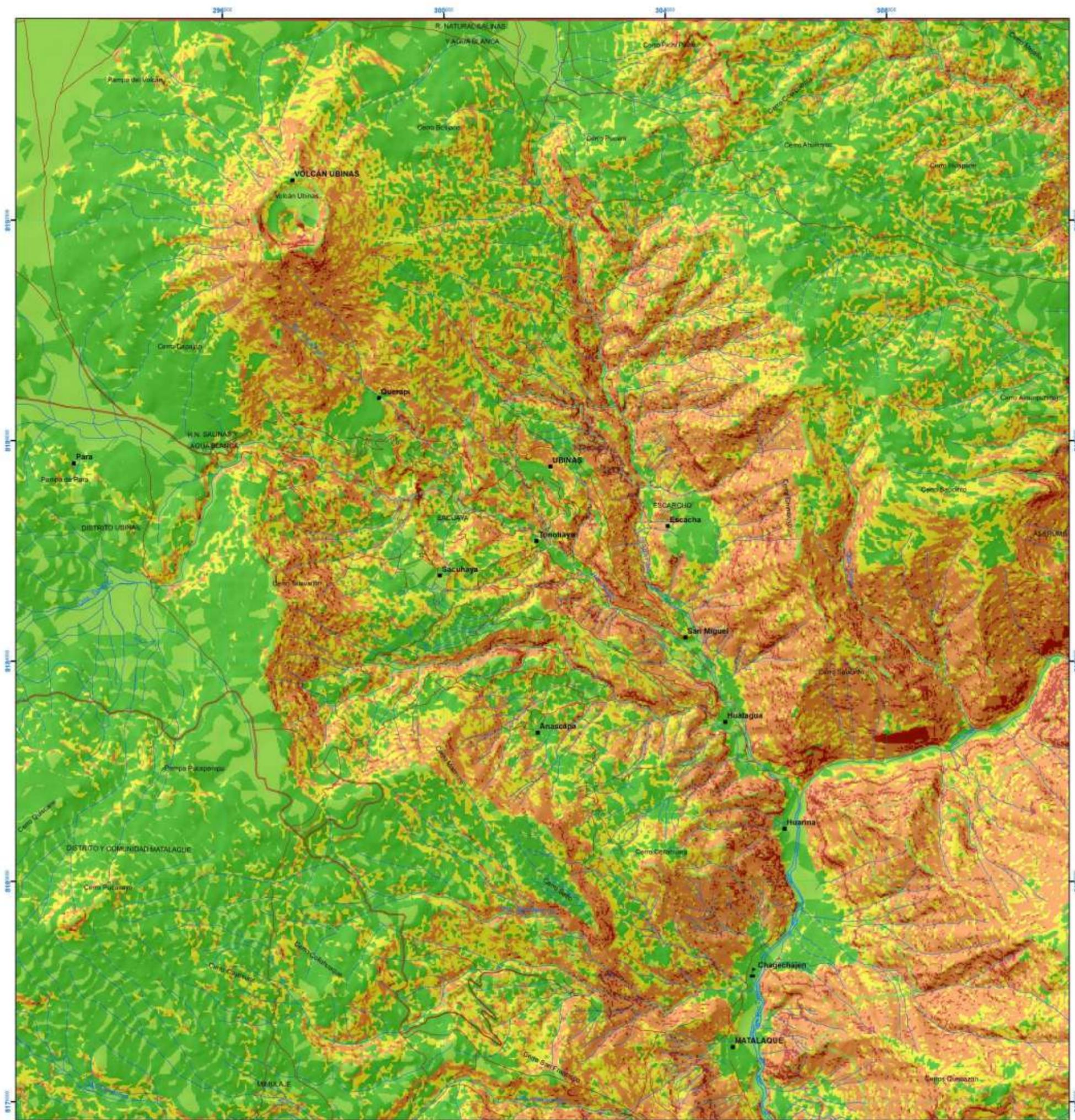
Pendientes y Susceptibilidad:

La pendiente como factor condicionante es un parámetro importante en la evaluación de todo tipo de proceso de movimiento en masa, por ello diversos autores consideran a ésta variable como fundamental en el análisis de susceptibilidad.

En el presente trabajo se adoptó la siguiente clasificación (Ver Cuadro Nro. 4):

CUADRO Nro. 4. CLASIFICACIÓN DE PENDIENTES Y SUSCEPTIBILIDAD

Pendientes	Grado	Calificación
<5°	Muy baja	1
5° - 20°	Baja	2
20° - 35°	Media	3
35° - 50°	Alta	4
>50	Muy Alta	5



Simbología

	< 5°
	< 5° - 20°]
	< 20° - 35°]
	< 35° - 50°]
	> 50°

REPÚBLICA DEL PERÚ
 SECTOR ENERGÍA Y MINAS
 INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO
 DIRECCION DE GEOLOGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLOGICO

MAPA DE PENDIENTES

0 120 240 480 720 960 Km

PROYECCIÓN: TRANSVERSA DE MERCATOR
 DATUM HORIZONTAL: UTM WGS84 ZONA 19S

MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD

Luego de la preparación de los mapas temáticos de los factores condicionantes, se efectúa la combinación de los factores de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$S = \frac{\text{Litología (0.35) + (Geomorfología (0.25) + Pendiente (0.25) + Hidrogeología (0.15))}{4}$$

S: Susceptibilidad

Los mapas de susceptibilidad son usados en la planificación del territorio (ZEE – OT), estudios de planificación de obras de infraestructura; así como para la prevención y gestión de riesgo de desastres (Ver Mapa Nro. 7).

Grados de susceptibilidad:

- **Susceptibilidad baja a muy baja:** Estas áreas presentan en general laderas algo onduladas con pendientes muy baja a bajas. Se presentan en depósitos superficiales de tipo aluviales y vulcanoclasticos y en materiales rocosos como derrames lávicos y flujos piroclásticos. Esta zona es muy reducida en el área de estudio. No se ha cartografiado movimientos en masa. Precipitaciones pluviales excepcionales pueden provocar incisiones a manera de surcos en las laderas, los cuales pueden evolucionar a cárcavas. En algunos sectores pueden ser alcanzados por las porciones terminales o frentes de flujos generados en zonas ubicadas a mayor altitud.

Las zonas de muy baja susceptibilidad se ubican generalmente fuera de la cuenca del río Ubinas. En la cuenca del río Ubinas representan aproximadamente el 15% del área.

- **Susceptibilidad media:** Estas áreas presentan pendientes bajas a medias (5° – 35°), se encuentran depósitos de material superficial inconsolidado y/o consolidado (depósitos aluviales) y en materiales volcánicos como derrames lávicos. Área que se activa en los periodos de lluvia excepcional. Pueden ser afectadas por flujos de lodo y de detritos (huaicos), así como erosión en cárcavas.

El área se ubica, en mayor proporción, en las faldas Norte y Noroeste del volcán Ubinas y en áreas muy restringidas en la cuenca del río Ubinas. Representando aproximadamente el 20% del área.

- **Susceptibilidad Alta:** Confluyen la mayoría de condiciones del terreno favorables a generar movimientos en masa, cuando se modifican sus taludes y/o activados por sismos, erupción volcánica e intensas precipitaciones. Colinda con zonas de muy alta susceptibilidad en la cuenca del río Ubinas.

Estas áreas comprenden topografías con pendientes medias a muy alta (15° - 50°), se encuentran ocupando las laderas de montañas y valles; se tienen depósitos de materiales volcánicos a volcanoclásticos, flujos piroclásticos, derrames lávicos y secuencias volcanoclástica con depósitos sedimentarios; las cuales se encuentran muy fracturadas y alteradas.

Estas áreas son poco estables y susceptibles a los movimientos en masa (caídas de rocas, avalanchas, derrumbes, flujos de lodo, huaycos, deslizamientos y procesos de erosión de laderas). Dichas áreas se ubican en el valle del río Ubinas, representando aproximadamente el 35% del área.

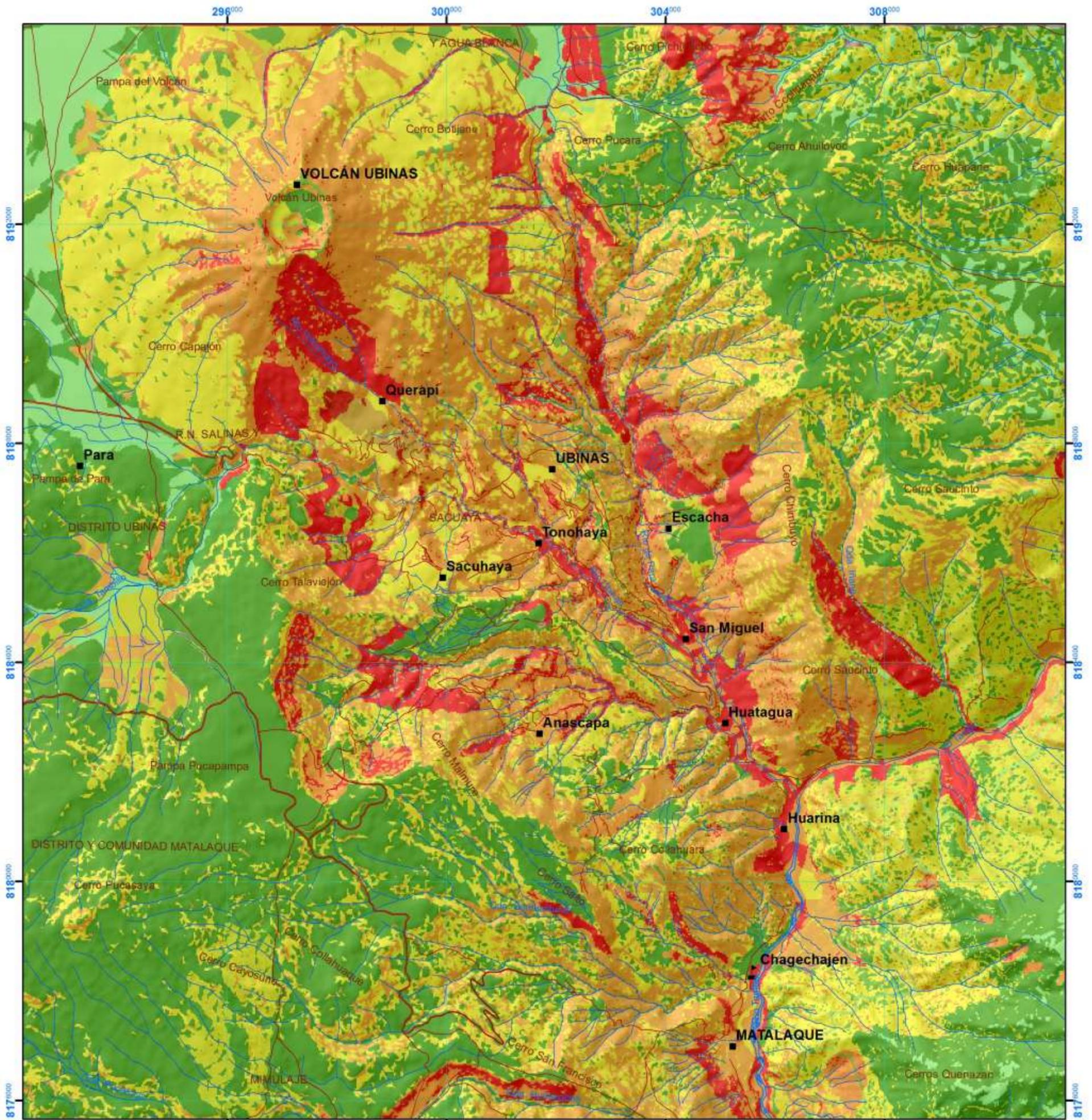
Se debe restringir el desarrollo de infraestructura urbana, o de instalaciones para una alta concentración de población. En el caso de infraestructura vial u otros se debe de realizar estudios de detalle.

- **Susceptibilidad Muy Alta:** Presentan condiciones del terreno muy favorables para que se generen movimientos en masa. Se concentran donde ocurrieron avalanchas, caídas de rocas, deslizamientos y huacos en el pasado y en la actualidad.

Estas áreas presentan pendientes fuertes a muy fuertes (15° - 50°), se presentan en rocas derrames lávicos, flujos piroclásticos, rocas intrusivas muy fracturadas y meteorizadas; así como depósitos coluvio – deluviales inconsolidados. Dentro de esta zona se produce la mayor cantidad de movimientos en masa (avalanchas, caídas, flujos y deslizamientos), además de procesos de erosión de laderas. representando aproximadamente el 30% del área.

Dentro de esta zona es importante resaltar la probabilidad del colapso del flanco sur del volcán Ubinas (avalancha), que puede ser detonado por erupción volcánica y/o sismos. Este, depende de la magnitud del evento puede comprometer todo el valle del río Ubinas.

Se debe restringir y/o prohibir el desarrollo de toda infraestructura y/o viviendas.



REPÚBLICA DEL PERÚ
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO
DIRECCION DE GEOLOGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLOGICO

INGEMMET

MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA

0 100 200 400 600 800 km

PROYECCION: TRANSVERSA DE MERCATOR
DATUM HORIZONTAL: UTM WGS84 ZONA 19S

MAPA 7

5.3 ZONAS CRÍTICAS A LOS MOVIMIENTOS EN MASA

En la microcuenca del río Ubinas se han identificado 42 ocurrencias de peligros geológicos, como avalancha de rocas, deslizamientos, flujos de detritos (huaycos), derrumbes, caídas de roca y procesos de erosiones de ladera. Predominado las erosiones de ladera y los flujos de detritos. Ver Mapa Nro. 3. En este mapa se han cartografiado los más significativos.

Para la identificación y descripción de “Zonas Críticas”, se determinó la el grado de peligro potencial individual y/o el análisis de densidad de ocurrencias de peligros potenciales en un área o sector, donde se exponen infraestructura o poblaciones, vulnerables a uno o más peligros geológicos.

En estas zonas críticas se resalta las áreas o lugares, que luego del análisis de él o los peligros geológicos identificados, la vulnerabilidad a la que están expuestas (infraestructura y centros poblados), por estos peligros, se consideran con peligro potencial de generar desastres, y que necesitan que se realicen obras de prevención y/o mitigación o mejorar las existentes.

En el mapa de zonas críticas se muestran las áreas críticas dentro de la cuenca del río Ubinas (Zonas Críticas 4, 5 y 6); así como otras cercanas (Zonas Críticas 1, 2 y 3), ver figura 20. En el Cuadro 5 se muestra un resumen de las zonas críticas y se describen resumidamente las características de cada una de estas, indicando la geodinámica del sector, la vulnerabilidad asociada así como las recomendaciones pertinentes.

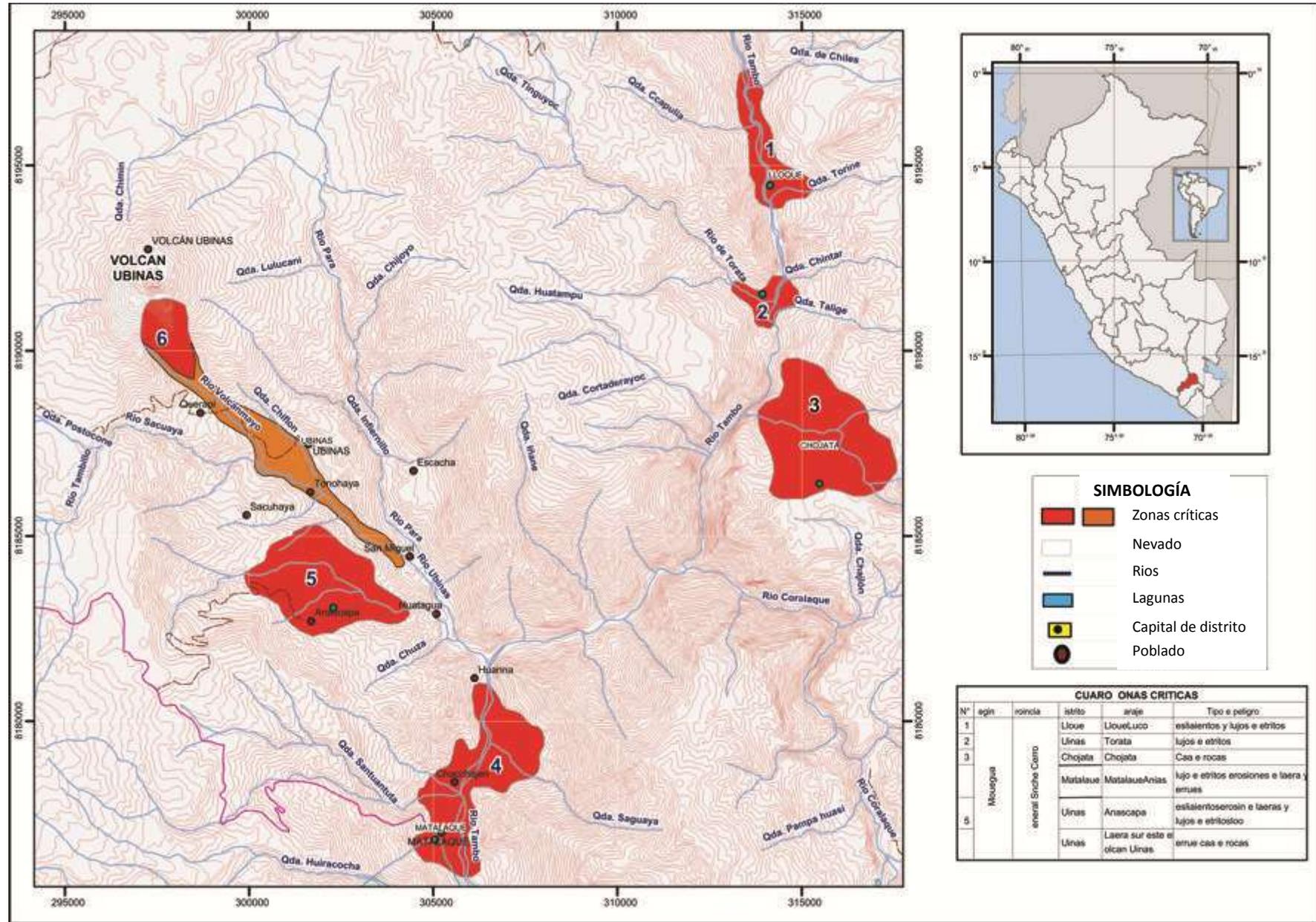


Figura 20: Zonas críticas a los movimientos en masa en el área de estudio.

CUADRO Nro. 5: ZONAS CRÍTICAS EN LA CUENCA DEL RÍO UBINAS

PARAJE/ SECTOR DISTRITO, CÓDIGO	SUSCEPTIBILIDAD / COMENTARIO	VULNERABILIDAD Y/O DAÑOS OCASIONADOS	RECOMENDACIONES
<p align="center">Lloque-Luco Lloque (1)</p>	<p>Área sujeta a deslizamientos y flujos de detritos. Roca de mala calidad de naturaleza volcánica, moderadamente a altamente meteorizada, la ladera presenta pendiente moderada. Se han identificado dos deslizamientos, un antiguo y otro reciente. El primero se ubica el poblado de Lloque. Cuando se produjo el deslizamiento antiguo represó al río Tambo en un tramo de 670 m, migrando el cauce hacia la margen derecha. El deslizamiento reciente se ubica aguas arriba del poblado de Lloque. Por la quebrada Torine y Lucco, se generan flujos de tipo ocasional. Se han identificado deslizamientos que alimentan con material suelto a la quebrada. De continuar las irrigaciones de los terrenos de cultivo por inundación, es muy probable que se generen reactivaciones.</p>	<p>Los flujos de detritos afecta la carretera Lloque-Luco. Sobre el cuerpo del deslizamiento se ubica la localidad de Lloque. De reactivarse el deslizamiento antiguo afectaría al poblado, terrenos de cultivo y carretera Lloque-Luco.</p>	<p>No irrigar los terrenos de cultivo mediante el sistema de inundación, cambiarlos por aspersión o goteo. No permitir el crecimiento urbano hacia el cauce de las quebradas. En los cauces de las quebradas construir muros disipadores de energía, para atenuar los flujos.</p>
<p align="center">Chojata Chojata (2)</p>	<p>Área sujeta a caída de rocas. Se ha generado una avalancha de rocas. Rocas volcánicas, de tipo andesítico, poco fracturada a medianamente fracturada, genera fragmentos de roca con diámetros comprendidos entre 2 a 0,20 m. Antigua avalancha de rocas, presenta un arranque, el corte de talud para carretera se ha inestabilizado generando caídas de rocas. El factor detonante puede ser sismos o precipitaciones pluviales intensas.</p>	<p>Puede afectar a la carretera Coralaque-Chojata, en un tramo de 800 m. Por sectores de 100 m. También puede afectar al poblado de Chojata.</p>	<p>Desatar bloque sueltos ubicados en el talud. En la carretera colocar avisos advirtiendo sobre la caída de rocas que sufre este tramo.</p>
<p align="center">Torata Ubinas (3)</p>	<p>Área sujeta a flujos de detritos. El río Torata y la quebrada Talige, han generado flujos de detritos que han llegado a represar al río Tambo, haciendo migrar el cauce del río Tambo. También se generan erosiones de ladera, que pueden generar flujos de detritos. El factor detonante son las precipitaciones pluviales.</p>	<p>El poblado de Torata se ubica en parte del cauce del río del mismo nombre. En las laderas que rodean al poblado se generan erosiones de ladera que pueden generar flujos de detritos.</p>	<p>La población no debe establecerse cerca del cauce del río. En los surcos generados por las erosiones de ladera, se deben colocar muros transversales de atenuación de flujos. Reforestar la zona.</p>
<p align="center">Matalaque-Animas Matalaque (4)</p>	<p>Área sujeta a flujos de detritos, erosión de laderas y derrumbes. En ambas márgenes del río Tambo se encuentran terrazas proluviales, generadas por huaycos. Los cuales en un tiempo llegaron a represar al río y hacerle cambiar su curso, tal como lo muestra la sinuosidad que tiene el río en este sector. Los huaycos se caracterizan por ser de movimientos muy rápidos y transportar grandes volúmenes de material. Afloran rocas volcánicas como aglomerados y brechas de naturaleza andesíticas. En este tipo de roca se están generando erosiones de ladera. A través del tiempo, se está generando material suelto, que en tiempos de lluvias excepcionales, el material va a ser removido, formándose así flujos de detritos.</p>	<p>Afecta a terrenos viviendas, terrenos de cultivo, y carretera afirmada Ubinas-Matalaque en un tramo de 20 m. De generarse un flujo de grandes dimensiones podría represar al río y al desembalsarse afectaría a los poblados ubicados aguas abajo del río.</p>	<p>Reforestar, especialmente las áreas colindantes a la zona urbana y las laderas cercanas a las quebradas. En las quebradas y en las incisiones generadas por las erosiones de ladera, colocar muros disipadores de flujos, con la finalidad de atenuar la fuerza del huayco.</p>

PARAJE/ SECTOR DISTRITO, CÓDIGO	SUSCEPTIBILIDAD / COMENTARIO	VULNERABILIDAD Y/O DAÑOS OCASIONADOS	RECOMENDACIONES
<p style="text-align: center;">Anascapa Ubinas (5)</p>	<p>Área sujeta a deslizamientos, erosión en cárcavas, erosión fluvial y flujos de detritos/lodo. El deslizamientos la principal causa es la infiltración de agua proveniente de los terrenos de cultivo, substrato permeable conformado por depósitos volcánicos. Este deslizamiento es antiguo, tiene reactivaciones desde el año 1964. Según Mendivil, S. (1964), en el terreno se generaron varias escarpas con saltos hasta de 1 m. En el movimiento de este año afecto a viviendas, por lo que propuso su reubicación. En la actualidad sigue el movimiento, las viviendas han sido reubicadas. De seguir el movimiento puede represar la quebrada Chimpamoya. En el cauce de la quebrada Panteón, se aprecia material suelto, con lluvias excepcionales se podrían generar flujos de detritos o de lodo, puede afectar a terrenos de cultivo. La zona inestable, por deslizamiento, puede reactivarse también por efectos sísmicos o lluvias intensas. Ver figuras 21 y 22</p>	<p>El deslizamiento afecta terrenos de cultivo y carretera de acceso. De presentar flujos afectaría a los terrenos de cultivo ubicados en el cauce de la quebrada.</p>	<p>Utilizar otro sistema de riego. Hacer un sistema de drenaje en la zona. No construir viviendas en las zonas inestables. Monitorear al deslizamiento activo.</p>
<p style="text-align: center;">Volcán Ubinas Ubinas (6)</p>	<p>Flanco Sur del volcán Ubinas, las rocas se encuentran muy fracturadas, se pueden generar caída de rocas, derrumbes o avalanchas de rocas. La ladera muestra una pendiente fuerte. Las rocas están medianamente fracturadas. Estas pueden ser detonadas por sismos, lluvias, como también por erupciones volcánicas. En caso de darse una erupción volcánica se podría generar una avalancha de rocas que podría cubrir parte del valle de Ubinas,</p>	<p>La avalancha afectaría a los poblados ubicados en las márgenes de parte alta y media del río Ubinas</p>	<p>Monitorear el área (lo está realizando el OVI), tener un sistema de alerta temprana..</p>

Nota: Las zonas críticas 1, 2 y 3 se encuentran fuera de la cuenca del río Ubinas. Se presentan en el cuadro como referencia.



Figura 21: Zona Crítica 5: Sector de Anascapa, las líneas de color rojo muestra el depósito del deslizamiento.



Figura 22: Imagen satelital del Google Earth, se muestra el deslizamiento de Anascapa.

CAPÍTULO 6: EVALUACIÓN DE PELIGROS VOLCÁNICOS Y POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL VALLE DE UBINAS

El Ubinas es el volcán más activo del sur peruano, en los últimos 500 años ha presentado hasta 25 erupciones de baja a moderada magnitud, lo cual sugiere que se produce una erupción cada 10 a 30 años en promedio. La actividad eruptiva del volcán Ubinas durante el pasado geológico y principalmente en épocas históricas, afectó constantemente a los pobladores localizados en el valle de Ubinas, sus terrenos de cultivos, actividad pecuaria, vías de acceso, canales y fuentes de agua. Reportes periodísticos y diversas crónicas dan cuenta del malestar de la población frente a estos eventos repetitivos, y su deseo de ser reubicados a zonas más seguras (Diario El Pueblo, 1936, 1937, 1951, 1969).

Los centros poblados y áreas de cultivo desarrollados en el valle del volcán Ubinas, se encuentran asentados sobre depósitos emplazados por el volcán Ubinas (figura 2). Como ejemplos podemos citar que los pueblos de Querapi y Tonohaya se hallan sobre depósitos de avalanchas de escombros, producto del colapso del flanco Sur, ocurrido hasta en dos oportunidades. El pueblo de Sacoaya y las partes circundantes al pueblo de Ubinas se hallan sobre potentes secuencias de depósitos de caídas de cenizas y pómez, además de flujos piroclásticos. Los pueblos localizados en el fondo del valle, como son Tonohaya, San Miguel y Huatahua, se encuentran sobre flujos de lodo y/o flujos piroclásticos provenientes del volcán Ubinas.

Las caídas de cenizas, escoria o pómez, pueden destruir áreas de cultivos, provocar malestares de salud en la población e interrumpir las vías de comunicación. Sin embargo, difícilmente pueden destruir infraestructura, a los más provocar enterramiento si la emisión alcanza volúmenes importantes. Sin embargo las nubes incandescentes o flujos piroclásticos, los flujos de lodo o huaycos, las avalanchas de escombros y flujos de lava, destruyen todo 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. Existen numerosos ejemplos de desastres provocados por dichos fenómenos, solo mencionaremos dos: Lo ocurrido en la localidad de Armero (Colombia, 1985), donde un huayco proveniente del volcán Nevado del Ruiz provocó la casi total destrucción del pueblo de Armero y muerte de más de 20 mil personas. Similar desastre sucedió en la isla de Martinique, donde una nube incandescente procedente del volcán Mt. Pelée, destruyó la ciudad de Saint Pierre en 1902 y cegó la vida de más de 29 mil personas.

Por otro lado, la actual crisis volcánica del Ubinas ha evidenciado numerosos problemas, algunos de los cuales hasta el día de hoy no se superan. Uno de los más importantes, es la presencia de vías de acceso (carreteras afirmadas), que pasan por zonas de alto peligro, lo cual impide una rápida y segura evacuación. También la carencia de una cultura de prevención hace más difícil un adecuado manejo de la crisis.

Finalmente, una de las más efectivas medidas de prevención, es evitar el crecimiento urbano cerca de volcanes activos. Esta medida, reduce los costos de

gestión de una crisis volcánica futura, disminuye la posibilidad de que ocurra un desastre y a largo plazo genera un ahorro importante al estado.

De no evitarse el crecimiento de las poblaciones cercanas al volcán, dentro de 50 o 100 años, la población será mucho mayor, las inversiones en obras de infraestructura serán importantes. Por consiguiente, la gestión de nuevas crisis volcánicas tendrán un mayor costo, la posibilidad de que ocurra un desastre será mucho mayor y en caso ocurra una erupción de magnitud moderada a alta, los costos por pérdida de infraestructura serán bastante grandes.

Aproximadamente el 65% del área de la cuenca del río Ubinas corresponden a zonas de Alta a Muy Alta Susceptibilidad, es decir confluyen la mayoría de condiciones del terreno (laderas) favorables a generar movimientos en masa. Estos pueden ser activados por sismos, erupción volcánica e intensas precipitaciones.

Estas áreas comprenden topografías con pendientes medias a muy altas (15° a $>50^{\circ}$), ocupando las laderas de montañas y valles; se tienen depósitos de materiales volcánicos a volcanoclásticos, flujos piroclásticos, derrames lávicos y secuencias volcanoclástica con depósitos sedimentarios; las cuales se encuentran muy fracturadas, alteradas y meteorizadas; que aunados a la baja competencia de los materiales condicionan la presencia de movimientos en masa.

Dentro de la zona de Alta a Muy Alta Susceptibilidad, se producen la mayor cantidad de movimientos en masa (avalanchas, caídas, flujos y deslizamientos), además de procesos de erosión de laderas.

Es importante destacar que dentro de esta zona ubicamos a la ladera sur del volcán Ubinas, con probabilidad de colapso y avalancha que puede ser detonado por erupción volcánica y/o sismos. Esta, dependerá de la magnitud del evento detonante y puede comprometer todo el valle del río Ubinas.

Se debe restringir el desarrollo de infraestructura urbana, o de instalaciones para concentración de población. En el caso de infraestructura vial u otros se debe tener en cuenta los mapas de peligros volcánicos, movimientos en masa y susceptibilidad estos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones y recomendaciones que a continuación se vierten están basadas en la historia y evolución del volcán Ubinas, la distribución y el alcance máximo de sus productos, la frecuencia y magnitud de sus erupciones pasadas y las características geomorfológicas del área, todo lo cual se halla plasmado en el mapa de peligros del volcán Ubinas (Rivera et al., 2011). También se han considerado la evaluación y zonificación de peligros por movimientos en masa, tales como deslizamientos, derrumbes y flujos de lodo, plasmado en el mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa.

CONCLUSIONES

- 1) El volcán Ubinas está conformado por dos edificios, denominados “Ubinas I” y “Ubinas II”. El edificio “Ubinas I” está constituido por flujos de lavas, conforma la base del volcán y se construyó entre 800,000 y 370,000 años. El edificio “Ubinas II” forma parte del cono superior del volcán, y se construyó desde 370,000 años hasta la actualidad. En dicho lapso se emplazaron flujos de lavas, algunas datadas entre 370,000 y 142,000 años; depósitos de caídas de pómez de hace 14,000, 7,480 y 980 años. El flanco Sur del volcán se ha derrumbado hasta en dos oportunidades, la última ocurrió hace 3,670 años y produjo el emplazamiento de avalanchas de escombros en el valle de Ubinas.
- 2) El volcán Ubinas es el más activo del sur peruano, debido a que en los últimos 500 años ha presentado hasta 25 erupciones de baja a moderada magnitud. Estas en promedio ocurren cada 10 a 30 años.
- 3) Durante los años 2006 a 2009, se produjo la penúltima erupción del volcán Ubinas, que tuvo una primera etapa eruptiva de tipo freática (27 marzo al 18 de abril 2006) y luego otra etapa de tipo vulcaniana (19 abril 2006 a 2009). El periodo de mayor actividad tuvo lugar entre abril y agosto del 2006. Los productos emitidos durante dicha erupción fueron cenizas y proyectiles balísticos. Las cenizas afectaron principalmente áreas situadas a menos de 12 km del volcán, donde se encuentran casi la totalidad de pueblos del valle de Ubinas y generaron contaminación de pastos naturales y áreas de cultivo, muerte de animales por ingesta de alimentos contaminados con la ceniza, problemas de salud en los pobladores, así como la evacuación de más de 2000 pobladores a dos refugios situados en Anascapa y Chacchagén, donde permanecieron casi durante un año.
- 4) Entre el 01 y 07 de setiembre del 2013, se registraron 09 explosiones en el volcán Ubinas. Luego de las explosiones se formaron columnas de gases y ceniza que ascendieron entre 0.8 a 2 km de altura sobre la cima del volcán. Las cenizas fueron dispersadas en dirección Norte y Noroeste. Las cenizas contaminaron principalmente fuentes de agua y pastos naturales, y muy ocasionalmente han alcanzado centros poblados, como por ejemplo San Juan de Tarucani. Debido a emisiones muy limitadas de la ceniza y que duraron pocos días, los efectos de las mismas en el medio ambiente y la salud de las personas fueron muy limitadas.

- 5) La actividad eruptiva del volcán Ubinas durante el pasado geológico y principalmente en épocas históricas, afectó constantemente a pobladores localizados en el valle de Ubinas, sus terrenos de cultivos, actividades pecuarias, vías de acceso, canales y fuentes de agua. Los poblados y áreas agrícolas del valle de Ubinas 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.
- 6) Debido a la configuración morfoestructural del edificio volcánico, pueden generarse el colapso o derrumbe del flanco sur del volcán Ubinas. Luego del colapso, los flujos de avalancha de escombros se canalizarían por el valle de Ubinas, donde se localizan la mayoría de centros poblados.
- 7) Los principales peligros volcánicos identificados en el volcán Ubinas son: peligros por caídas o lluvias de ceniza, flujos de lodo (lahares), avalanchas de escombros (por colapso del flanco sur), flujos piroclásticos y flujos de lava.
- 8) El mapa de peligros de la zona proximal (principal, Rivera et al., 2011), muestra tres zonas con diferente grado de peligrosidad. **a) Zona de alto peligro (rojo)**, que comprende áreas cercanas al cráter del volcán y cono volcánico, así como quebradas y valles que drenan del Ubinas. Esta zona puede ser severamente afectada por 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 (IEV 1-3), cuya probabilidad de ocurrencia es alta. **b) Zona de moderado peligro (naranja)**, se extiende desde aproximadamente 5,0 km hasta una distancia máxima de 12 km del cráter. Esta zona involucra cauces de quebradas y valles localizados al pie del volcán, así como la altiplanicie volcánica. Puede ser afectada por flujos piroclásticos, oleadas piroclásticas, lahares y/o avalanchas de escombros, en caso que la erupción sea de moderada a alta magnitud (IEV 3-4). **c) 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, pero solo en caso que la erupción sea de alta a muy alta magnitud (IEV >4), cuya probabilidad de ocurrencia es baja.
- 9) El mapa de peligros del volcán Ubinas, muestra que los centros poblados Querapi, Tonohaya, San Miguel y Huatagua se encuentran en la zona de alto peligro volcánico; mientras que los pueblos de Ubinas, Sacuaya, Escacha y Huarina se localizan en la zona de moderado peligro volcánico; y finalmente los pueblos de Anascapa, Para, Chacchagén y Matalaque, están en zonas de bajo peligro volcánico.
- 10) En los afloramientos de rocas tobaceas, y volcánico clásticas se presentan generalmente erosiones de ladera y flujos de detritos, como también deslizamientos y derrumbes.
- 11) La morfología de la cuenca del río Ubinas también está asociada a movimientos en masa, siendo la más conspicua las geoformas asociadas a las avalanchas del flanco sur del volcán Ubinas. En los frentes de coladas de lavas

muy fracturadas y tobas muy fracturadas, son frecuentes las caídas de rocas y derrumbes.

- 12) Los flujos de detritos, se presentan en las quebradas afluentes al río Ubinas y son las más frecuentes, y están asociadas a precipitaciones pluviales periódicas y excepcionales.
- 13) Desde el punto de vista geodinámico en el área de estudio confluyen características de peligrosidad por actividad volcánica, movimientos en masa, y sísmica, donde la recurrencia en el período histórico y prehistórico han generado daños importantes en la población.
- 14) Los eventos detonantes de movimientos en masa son las intensas precipitaciones pluviales (lluvias), como las ocurridas en 1985, 1998, y 2011, donde se activaron muchas quebradas que afectaron tramos de carreteras, áreas de cultivo y zonas rurales. Así como también los sismos de 1967 y 2001 que generaron derrumbes y caída de rocas en las laderas del valle afectando tramos de carreteras y terrenos de cultivo.
- 15) Aproximadamente el 65% del área de la cuenca del río Ubinas corresponden a zonas de Alta a Muy Alta Susceptibilidad, es decir confluyen la mayoría de condiciones del terreno (laderas) favorables a generar movimientos en masa. Estos pueden ser activados por sismos, erupción volcánica e intensas precipitaciones.
- 16) Los poblados de Querapi, Tonohaya, San Miguel, Huatahua, Ubinas, Escacha, Molino Pata, Molino, Jeleschaja, Huachutule, Sacoaya; (principalmente los poblados ubicados en las cercanías a ambas márgenes del río Ubinas); se ubican en zonas de alta y muy alta susceptibilidad a movimientos en masa.

RECOMENDACIONES

- 1) En el marco de la reciente Ley Nro. 29869, de Reasentamiento Poblacional Para Zonas de Muy Alto Riesgo no Mitigable, recomendamos a las autoridades e instituciones competentes, se evalúe la necesidad de implementar el reasentamiento poblacional de los centros poblados ubicados en el Valle de Ubinas. Para ello recomendamos se utilicen el mapa de peligros volcánicos y el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa, presentados en este informe, así como las Conclusiones antes expuestas.
- 2) Recomendamos a las instituciones competentes, se declare área intangible o reserva natural protegida, al volcán Ubinas, a las localidades reasentadas y áreas adyacentes. Esto con la finalidad de que se implemente un reasentamiento poblacional efectivo.
- 3) Recomendamos se implementen acciones de preparación y prevención en los poblados del Valle de Ubinas, a fin de reducir el riesgo de desastres en caso ocurra un nuevo proceso eruptivo del volcán Ubinas. Para ello deben implementar el Plan de Contingencia y Plan de Evacuación.

- 4) Recomendamos se intensifiquen los trabajos de monitoreo volcánico, a fin de contar con una mejor capacidad de pronóstico de erupción volcánica del Ubinas.

REFERENCIAS

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.

Fidel L, Zavala B, Núñez S, y Valenzuela G. (2006). Estudio de Riesgos Geológicos del Perú. Franja N° 4. INGEMMET, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, Boletín N° 29. 375 p.

Mariño, J.; Rivera, M.; Cruz, V.; Cacya, L. & Thouret, J-C. (2006)- Informe de trabajos efectuados por el INGEMMET durante la crisis volcánica del volcán Ubinas, periodomartzo a julio del 2006, informe técnico inédito. Lima:INGEMMET, 77 p.

Mariño, J.; Rivera, M.; Thouret, J-C.; Macedo, O.; Masías, P.; Antayhua, Y.; Cruz, V.; Cacya, L. & Thouret, J-C. (2011) –Gestión de la crisis eruptiva del volcán ubinas, 2006-2008. *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 45, 188 p., 1 mapa.

PMA:GCA (2007) - Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. SNGM, Publicación Multinacional, N°4, 432p.

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., et al. (2007) - Volcán Ubinas: Actividad eruptiva2005-2007 y características de productos emitidos.Boletín Sociedad Geológica del Perú, (102): 5-24.

Rivera, M.; Thouret, J.C.; Mariño, J.; Berolatti, R. & Fuentes, J. (2010) - Characteristics and management of the 2006-2008 volcanic crisis at the Ubinas volcano (Peru).*Journal of Volcanology and Geothermal Research*,198(1-2): 19-34.

Rivera, M.; Mariño, J. & Thouret, J-C.(2011) – Geología y evaluación de peligros del volcán ubinas. *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 46, 83 p., 2 mapas.

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.

Villota, H. (2005) - *Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras*. 2. ed. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 210 p.