



Año 1 Nº 1 - agosto 2014

Revista OVI

ACCIONES Y LOGROS DEL OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO DEL INGEMMET

Ministerio de Energía y Minas







PRESIDENTA DEL CONSEJO DIRECTIVO Susana Vilca Achata

SECRETARIA GENERAL Elizabeth Ramos

JEFA (e) DE RELACIONES INSTITUCIONALES Rocío Morris

> **DIRECTOR DGAR** Lionel Fidel Smoll

COMITÉ EDITOR

Jersy Mariño Salazar Marco Rivera Porras Mirian Mamani Huisa

EDICIÓN GENERAL

Jersy Mariño Salazar Marco Rivera Porras Domingo Ramos Palomino Edu Taipe Maquerhua Luisa Macedo Franco Pablo Masías Alvarez

EDICIÓN GRÁFICA Nuria Chambi Moloche

DISEÑO DE INTERIORES Nuria Chambi Moloche

FOTOGRAFÍA Archivos INGEMMET y OVI

AUTORES

Dino Enríquez Fuentes Domingo Ramos Palomino Edu Taipe Maquerhua Fredy Apaza Choquehuayta Ivonne Lazarte Zarpa Javier Calderón Vilca Jersy Mariño Salazar Jessica Vela Valdez Katherine Gonzales Zúñiga Luisa Macedo Franco Marco Rivera Porras Mayra Ortega Gonzales Nélida Manrique Llerena Pablo Masías Alvarez Patricio Valderrama Murillo Rafael Miranda Roger Machaca Puma Wilmer Chilo Miranda

COLABORADORES

Juan Salcedo Carbajal Lionel Fídel Smoll Mirian Mamani Huisa

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2014-11506

Impreso en Tarea Asociación Gráfica Educativa Psj. María Auxiliadora 156-164, Lima 5, Perú

CONTENIDO

PRESENTACIÓN

BASE LEGAL, FUNCIONES, ÁREAS DE TRABAJO Y PERSONAL DEL OVI

BREVE EVALUACIÓN DEL RIESGO VOLCÁNICO EN EL SUR DEL PERÚ EL PERÚ Y SUS VOLCANES ACTIVOS

GEOLOGÍA Y EVALUACIÓN DE PELIGROS VOLCÁNICOS

- Geología y mapa de peligros del complejo volcánico Ampato-Sabancaya
- Geología y mapa de peligros del volcán Misti
- Volcán Yucamane (Tacna): Geología y evaluación de peligros volcánicos
- Estudios geológicos y de peligros volcánicos en el volcán Tutupaca (Tacna)

VIGILANCIA VOLCÁNICA

- Monitoreo geodésico de volcanes
- Monitoreo geoquímico de los volcanes del Perú
- Monitoreo sísmico en los volcanes activos del Perú
- Tomografía eléctrica en los volcanes del sur del Perú

TRABAJOS DE EDUCACIÓN Y DIFUSIÓN EN EL SUR DEL PERÚ

COOPERACIÓN CIENTÍFICA Y TÉCNICA

BIBLIOGRAFÍA

BREVE GLOSARIO VULCANOLÓGICO

INFOGRAFÍA "TRABAJOS DEL OVI ERUPCIÓN VOLCÁN UBINAS 2013-2014"

PRESENTACIÓN



ING. SUSANA VILCA Presidenta del Consejo Directivo - INGEMMET

El Perú se encuentra ubicado dentro del cinturón de fuego del Pacifico, zona de alta actividad sísmica y volcánica que convierte a nuestras ciudades en espacios vulnerables, siendo la población alto andina del sur de nuestro país, la más expuesta a este tipo peligros.

La búsqueda de soluciones para prevenir o mitigar los efectos negativos de las erupciones volcánicas, es un asunto que concierne a instituciones científico-técnicas como INGEMMET; a las distintas autoridades, la población, medios de comunicación, etc. Es así que para poder entender el origen, evolución y comportamiento de los volcanes activos, es necesario recurrir a las distintas ramas de la geología, tales como la vulcanología, geofísica, geoquímica, geodesia, petrología, etc. Los resultados e interrelación de dichos estudios, brindan mejores acercamientos sobre el comportamiento de nuestros volcanes y a su vez permiten diseñar mejores estrategias para reducir el riesgo volcánico.

La erupción más importante en nuestro país, por los efectos negativos a escala global, fue la del volcán Huaynaputina en el año 1600, la que generó un grave impacto ambiental a nivel mundial. Por otro lado, los volcanes Sabancaya y Ubinas hace poco volvieron a activarse, generando graves impactos socioeconómicos en las regiones de Arequipa y Moquegua principalmente.

Es por todo esto que desde el Consejo Directivo del INGEMMET, el cual tengo el agrado de presidir, apoyamos desde sus

inicios la iniciativa de la creación de un centro de investigación de carácter multidisciplinario que se encargue de identificar, estudiar y monitorear los peligros asociados a movimientos en masa, actividad volcánica, aluviones, tsunamis y demás peligros geológicos; dando como resultado el nacimiento del Observatorio Vulcanológico del INGEMMET, OVI.

El OVI es un centro de estudio, investigación y monitoreo de volcanes activos del sur del Perú, que se ubica en la ciudad de Arequipa. Su objetivo es determinar la naturaleza y probabilidad de ocurrencia de una erupción volcánica a través del monitoreo sistemático, integral y permanente; evaluar los tipos de peligros volcánicos en base a estudios geológicos de detalle; y proporcionar alertas oportunas a la sociedad sobre actividad volcánica inminente, a fin de reducir el riesgo de desastre en el sur peruano.

En la presente revista se muestran los principales trabajos del OVI en términos de monitoreo volcánico, estudio geológico de volcanes, evaluación de peligros volcánicos, así como trabajos de sensibilización y difusión de la información volcanológica que genera con el fin de que las poblaciones del sur peruano, sus autoridades y centros de estudios, conozcan el modo de comportamiento de los volcanes, su actividad pasada y su estado actual; estudios que permiten implementar acciones de prevención y mitigación de desastres para un adecuado manejo de emergencias por procesos de erupciones volcánicas.

BREVE HISTORIA DE LOS **ESTUDIOS VULCANOLÓGICOS** EN INGEMMET

Desde 1980, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) viene efectuando estudios de evaluación de los peligros volcánicos y vulcanología en el sur de nuestro país, destacando entre ellos el "Proyecto de Investigación Geotérmica de la República del Perú" (OLADE), "Inventario de Volcanes del Perú" (1997) y "Riesgo volcánico en el sur del Perú" (1997). También podemos mencionar los estudios preliminares de "Amenaza Volcánica en los volcanes Sara Sara, Ayacucho" (1998); así como Tutupaca (Tacna), Coropuna (Arequipa) y Yucamane (Tacna), publicados el 2001. En esta primera etapa participaron los geólogos L. Fídel, B. Zavala, S. Nuñez, A. Huamaní y G. Valenzuela, con el asesoramiento del Dr. W. Morche (Alemania).

En el año 2005 se inicia el programa "Riesgo Volcánico y Neotectónica en el sur del Perú" y paralelamente se empieza a conformar el Grupo de Volcanología, que inicialmente sería conformado únicamente por geólogos, quienes eran asesorados por la cooperación internacional del IRD, Proyecto Multinacional Andino PMA-GCA, Universidad Blaise Pascal, la Universidad de Savoie, entre otros.

En el año 2006 se inició la erupción del volcán Ubinas, y fue la población la que tuvo que alertar a sus autoridades y a las instituciones científicas sobre este peligro, ya que en aquel entonces este volcán, considerado como el más activo del sur peruano, no contaba con ningún sistema de monitoreo. Por tal razón el INGEMMET decide de implementar sistemas de monitoreo en los volcanes activos, incorporando profesionales de otras especialidades como geoquímicos, geofísicos y geodestas. En esta crisis, vulcanólogos de INGEMMET procedieron a confeccionar el "Mapa Preliminar de Peligros del Ubinas" y el "Mapa de Rutas de Evacuación y Sitios de Refugios", conjuntamente con otras instituciones científicas (Universidad Blaise Pascal – IRD, INGEMMET, SENAMHI) así como con la ONG PREDES y con técnicos de la Municipalidad de Ubinas y del Gobierno Regional de Moquegua. Posteriormente, dichos mapas fueron presentados a las autoridades del Comité Regional de Defensa Civil de Moquegua, la Municipalidad Distrital de Ubinas y a los pobladores de la zona afectada, a fin de llevar a cabo una adecuada gestión de la crisis volcánica.

En marzo del 2007, el Grupo de Volcanología del INGEMMET se traslada a Arequipa, donde desarrollaría tres áreas principales: (a) geología volcánica y evaluación de peligros volcánicos; (b) monitoreo volcánico; y (c) difusión y sensibilización. Luego de años de arduo trabajo, en marzo del 2013, se ve la necesidad de crear el Observatorio Vulcanológico del INGEMMET – 0VI, en la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, el cual sería conformado por un equipo de investigación y monitoreo interdisciplinario (4 geólogos-vulcanólogos, 5 geofísicos, 2 geodestas y 2 químicos) adquiriendo equipos de monitoreo e implementando sistemas de vigilancia instrumental en los volcanes.

Desde esa fecha, INGEMMET ha emprendido un programa de monitoreo volcánico instrumental (geofísico, geoquímico, geodésico y visual) en tiempo real, de los principales volcanes activos: Misti, Ubinas, Ticsani, Sabancaya; emitiendo un reporte diario del monitoreo que puede ser visto gratuitamente desde su página web.

Actualmente, los estudios de este Observatorio son cruciales para que la población y las instituciones privadas y gubernamentales, ya que es gracias a esta información que pueden elaborar anticipadamente planes de contingencia y evacuación, y así mitigar el impacto negativo de una erupción volcánica.

BASE LEGAL, FUNCIONES, ÁREAS DE TRABAJO Y PERSONAL DEL OVI

BASE LEGAL

El origen, evolución y comportamiento de los volcanes, son procesos geológicos, que para su cabal comprensión son estudiados por las distintas ramas de la geología, como la vulcanología, geofísica, geoquímica, geodesia, petrología, etc. Según la Estrategia Internacional Para la Reducción de Desastres (EIRD), de las Naciones Unidas (DNU), "las amenazas/peligros geológicos incluyen procesos terrestres internos, tales como actividades y emisiones volcánicas".

El Consejo Directivo del INGEMMET, en su sesión del 15 de marzo del 2013, aprobó la Creación del Observatorio Vulcanológico del INGEMMET (OVI). Dicha creación fue ratificada mediante Resolución de Presidencia Nro. 037-2013-INGEMMET/PCD, la cual fue publicada en el Diario Oficial El Peruano el 27 de marzo 2013.

La creación del OVI se enmarca en el Reglamento de Organización y Funciones del INGEMMET (Decreto Supremo, Nro. 035-2007-EM), que en su Artículo 3, de Ámbitos de Competencia y Funciones, señala "Identificar, estudiar y monitorear los peligros asociados a movimientos en masa, actividad volcánica, aluviones, tsunamis y otros". Esta creación se realiza luego de más de 8 años de trabajo en el que INGEMMET conforma progresivamente un equipo de investigación y monitoreo interdisciplinario sobre volcanes. En este tiempo se adquieren equipos de monitoreo e implementan sistemas de vigilancia instrumental en los volcanes.

EL OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO DEL INGEMMET (OVI)

El OVI es un centro de estudio, investigación y monitoreo de volcanes activos del sur de Perú, de carácter interdisciplinario, ubicado en la ciudad de Arequipa. Su fin es determinar la naturaleza y probabilidad de ocurrencia de una erupción volcánica a través del monitoreo sistemático y permanente; así como, evaluar los tipos de peligros volcánicos en base a estudios geológicos. Con esta información, se proporciona alertas oportunas a la sociedad sobre actividad volcánica inminente, a fin de reducir el riesgo de desastre en el sur peruano.

FUNCIONES DEL OVI

EL OVI tiene seis funciones principales:

 Realizar el monitoreo permanente, integral y en tiempo real de los volcanes activos del sur peruano. Para ello se viene implementando redes de monitoreo con instrumentación sísmica, geoquímica, geodésica y visual.

- Determinar los niveles de alerta volcánica y efectuar pronósticos de erupciones volcánicas. Realizar estudios geológicos, evaluación de peligros y elaborar mapas de peligros volcánicos.
- Brindar asesoramiento a la sociedad en reducción del riesgo volcánico.
- Difundir el conocimiento vulcanológico, a través de boletines, reportes y materiales de divulgación.
- Promover la formación y capacitación de profesionales en las diferentes ramas de la vulcanología.

ÁREAS DE TRABAJO Y ESTRUCTURA DEL OVI

El OVI está adscrito a la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET, posee cuatro áreas de trabajo principales:

a) Geología y evaluación de peligros, cuyo objetivo es conocer los tipos de actividad eruptiva presentada por los volcanes activos, así como determinar la frecuencia y la magnitud de las erupciones pasadas, permitiendo así dar una respuesta a preguntas como ¿Qué tipo de erupciones presento el volcán?, ¿Cuál fue el área afectada por erupciones pasadas? y ¿Qué tipo de escenarios se espera en el futuro, en caso de reactivarse? Uno de los pilares más importantes es el cartografiado geológico a nivel de detalle, así como la elaboración de mapas de peligros.

b) Monitoreo volcánico, cuyo objetivo principal es conocer ¿Cuándo? un volcán puede entrar en erupción y de esta manera emitir alertas tempranas a la sociedad que podría ser afectada por dicha erupción.

c) Educación y difusión, cuyo objetivo es difundir el conocimiento que genera el INGEMMET, vital para la seguridad física, la ocupación planificada del territorio y el desarrollo de nuestra nación. Para ello, es imperativo que la información y conocimiento que generamos llegue de manera clara y oportuna a los diferentes usuarios.

d) Telecomunicaciones e informática, cuyo objetivo es implementar la transmisión de datos de monitoreo en tiempo real, el desarrollo de software especializado, mantenimiento de equipos, entre otros.

De forma complementaria, el OVI cuenta con un gabinete de microscopía, tamizado y de preparación de muestras. Además, el INGEMMET cuenta con los laboratorios de química analítica (aguas, rocas), Rayos X y teledetección (inSAR, imágenes de satélite), los cuales vienen brindando apoyo a los trabajos del OVI.

RECURSOS HUMANOS DEL OVI

Actualmente el OVI cuenta con 18 especialistas, entre geólogos, vulcanólogos, químicos, geofísicos, geodestas, electrónicos y especialistas en educación y difusión, representando así el más importante equipo de trabajo para el estudio de volcanes activos que existe en Perú. Adicionalmente contamos con un investigador residente del IRD-Francia y más de 10 cooperantes extranjeros, con quienes se viene desarrollando diversos proyectos de investigación. Es importante recalcar que personal del OVI recibe una continua capacitación en diversos observatorios vulcanológicos del mundo (EEUU, Francia, México, Costa Rica, Ecuador, Colombia, etc.).

NOMBRES Y APELLIDOS / ESPECIALIDAD	FUNCIONES				
Dr. Marco Rivera Geólogo - Vulcanólogo, Personal CAP	Cartografiado geológico, evaluación de peligros y elaboración de mapas de peligros volcánicos.				
Msc. Jersy Mariño Geólogo – Vulcanólogo, Personal CAP	Cartografiado geológico, petrología, geoquímica de rocas, evaluación de peligros y elaboración de mapas de peligros volcánicos.				
Msc. Patricio Valderrama Geólogo, Personal CAS	Modelamiento de procesos volcánicos y cartografiado geológico.				
Ing. Nélida Manrique Geóloga, Actualmente en Francia	Cartografiado geológico, petrología, evaluación de peligros y elaboración de mapas de peligros volcánicos.				
Ing. Luisa Macedo Geóloga, Personal CAS	Comunicación con comunidades (educación y difusión), así como evaluación de peligros.				
Lic. Edwin Casquina Comunicador, Personal Autónomo	Trabajos de prensa y comunicaciones.				
Msc. Edu Taipe Geofísico, Personal CAS	Monitoreo geodésico de volcanes y fallas activas.				
Ing. Rafael, Miranda Geofísico, Personal, Autónomo	Monitoreo geodésico.				
Ing. Domingo Ramos Geofísico, Personal CAS	Monitoreo sísmico y estudios de potencial espontáneo.				
Msc. Yanet Antayhua Geofísico, Personal CAS (actualmente en Mexico)	Monitoreo sísmico.				
Ing. Roger Machaca Geofísico, Personal CAS	Monitoreo sísmico.				
Bach. Mayra Ortega Geofísico, Personal Autónomo	Monitoreo sísmico.				
Bach. Alberto Callata Geofísico, Personal Autónomo	Monitoreo sísmico.				
Lic. Pablo Masías Duímico, Personal CAS	Monitoreo geoquímico de gases aguas.				



Personal del Observatorio Vulcanológico del INGEMMET (OVI)

NOMBRES Y APELLIDOS / ESPECIALIDAD	FUNCIONES
Bach. Fredy Apaza Químico, Personal CAS	Monitoreo geoquímico de gases y aguas
Bach. Ivonne Lazarte Geofísico, Personal CAS	Monitoreo visual y estudios de potencial espontáneo
Ing. Javier Calderón Electrónico, Personal CAS de OSI	Telecomunicaciones e informática
Ing. Dino Enriquez Electrónico, Personal CAS	Telecomunicaciones e informática
Bach. Jessica Vela Geóloga	Tesista
Egre. Wilmer Chilo Geofísico	Practicante

Tabla 1: Cuadro de personal y funciones del OVI

7



Interpretation Inter

Los desastres de origen volcánico no han sido ajenos a nuestro país. Basta mencionar la erupción del volcán Huaynaputina (Moquegua), ocurrido en el año de 1600, que ocasionó la muerte de aproximadamente 1500 personas y la destrucción total de 15 poblados pequeños localizados a menos de 20 km alrededor del volcán (Thouret et al., 1999). Por otro lado, hasta el 2006 ninguno de los volcanes activos contaba con sistemas de monitoreo, que permitiera conocer con meses de anticipación la proximidad de una erupción. Por eso las erupciones del Sabancaya (1988–1998) y Ubinas (2006–2009) nos tomaron por sorpresa.

POBLACIÓN EN RIESGO

Dentro del radio de influencia de nuestros volcanes activos y potencialmente activos habitan cerca de 3 millones de personas, en las regiones de Arequipa, Moquegua, Tacna y Puno. El caso más alarmante lo representa la ciudad de Arequipa, con cerca de 1 millón de habitantes, localizada a poca distancia del Misti. La población en riesgo se encuentra deficientemente preparada para afrontar una erupción volcánica.

INFRAESTRUCTURA HÍDRICA, ENERGÉTICA Y DE TRANSPORTES EN RIESGO

En el sur se tienen importantes obras hidráulicas y energéticas, vitales para el desarrollo económico del sur peruano, las cuales se encuentran dentro del área de influencia de los volcanes activos (Figura 2). Las más importantes son:

- El Sistema Hídrico del río Chili, conformado por siete represas (400 millones m3) que abastece de agua a la ciudad de Arequipa y terrenos de cultivo.
- La planta de tratamiento de agua potable La Tomilla, que suministra agua potable a más del 90 de la población de Arequipa.

- El Proyecto Especial Majes-Siguas y la represa Pasto Grande, cuya construcción e implementación demandaron una inversión del Estado de más de \$ 1200 millones de dólares.
- Las centrales hidroeléctricas del río Chili: Charcani I, II, III, IV, V (805 MLUh).
- El aeropuerto internacional de Arequipa y el tráfico aéreo que puede verse interrumpido durante las erupciones volcánicas.
- Vías de comunicación nacional e internacional

ACTIVIDAD MINERA EN RIESGO

En el sur peruano se tienen importantes proyectos y operaciones mineras en riesgo. Resaltan la mina Cerro Verde ubicada cerca al Misti, las minas Caylloma, Arcata, Orcopampa, Shila y Ares, cercanas a los volcanes Sabancaya y Andahua-Huambo-Orcopampa, los proyectos Chapi y Calatos, contiguos a Ubinas y Huaynaputina, así mismo las minas Cuajone, Toquepala, Tucari, Santa Rosa y los proyectos Quellaveco y El Chorro, cercanos al Ticsani, Tutupaca y Yucamane. Estos volcanes han presentada actividad eminentemente explosiva, con emplazamiento de volúmenes importantes de cenizas, las cuales representan el mayor peligro para las operaciones mineras. Estas cenizas pueden afectar seriamente los motores de los sistemas de ventilación, compresión, transporte y plantas concentradoras, así como contaminar las canchas de lixiviación.

El riesgo mayor para las operaciones mineras, representa la potencial contaminación de sus fuentes de abastecimiento de agua, debido a eventuales caídas de ceniza, flujos piroclásticos y/o emplazamiento de lahares debido a una erupción de cualquiera de los volcanes activos. En este último caso, son más vulnerables las lagunas Suches y Vizcachas, contiguas a los volcanes Ticsani, Tutupaca y Yucamane, que abastecen agua a las minas Cuajone y Toquepala; así como la represa Aguada Blanca y río Chili, cercanos al Misti y que aprovisionan agua a la mina Cerro Verde.

▲EL PERÚ Y SUS VOLCANES ACTIVOS►

A lo largo de la Cordillera Occidental de los Andes, en los departamentos de Ayacucho, Arequipa, Moquegua y Tacna, se distinguen 12 volcanes activos y potencialmente activos; de norte a sur Sara Sara, Solimana, Coropuna, Ampato-Sabancaya, Chachani, Misti, Ubinas, Huaynaputina, Ticsani, Tutupaca, Yucamane y Casiri (Figura 1). De los cuales seis volcanes son activos, pues erupcionaron los últimos 500 años (Sabancaya, Misti, Ubinas, Huaynaputina, Ticsani, Tutupaca). Además, dentro de esta cadena volcánica existen aproximadamente 40 conos pequeños de ceniza y escorias (por ejemplo en los valles de Huambo-Orcopampa-Andahua-Yura). Los grandes volcanes, principalmente los estrato-volcanes iniciaron su actividad hace menos de 500 000 años.

Según archivos históricos, las erupciones ocurridas durante los últimos 500 años causaron enormes estragos a varios poblados, terrenos de cultivo y obras de infraestructura (carreteras, canales de agua, etc.) localizados en sus inmediaciones. Uno de los más trágicos sucesos asimilación y cristalización fraccionada (AFC) en la base de la corteza o cerca de la superficie. Esto debido a la presencia de una corteza continental muy engrosada (~70 km) existente en el sur peruano.

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DE LOS VOLCANES

El volcán nevado Sabancaya es el más joven del complejo volcánico Ampato-Sabancaya, ubicado al sur del valle del Colca, y a 40 km al NO de la ciudad de Arequipa (Figuras 1, 2 y 5). Algunos distritos de las provincias de Caylloma, Castilla y Arequipa como: Chivay, Achoma, Cabanaconde, Coporaque, Maca, Huambo, Lluta, Andahua, Aplao, Huancarqui, Santa Isabel de Siguas, Yura, etc., con aproximadamente 40 000 habitantes viven en riesgo ante una posible erupción del volcán Sabancaya.

Los estudios geológicos efectuados por INGEMMET en convenio con el IRD y otros investigadores han mostrado que este volcán inició su actividad efusiva y explosiva a inicios del Holoceno. Los estudios tefro-



ocurridos en el sur peruano, lo generó la erupción explosiva del volcán Huaynaputina en el año de 1600 DC, que ocasionó la muerte de más de 1500 personas y destruyó alrededor de 15 poblados menores localizados en sus inmediaciones (Thouret et al., 1999). La más reciente actividad volcánica registrada en el sur del Perú fue la del volcán Sabancaya ocurrida entre 1988–1996 y el volcán Ubinas en 2006–2009, y setiembre 2013–2014.

Los volcanes del sur peruano deben su actividad al proceso de subducción de la placa oceánica de Nazca debajo de la placa continental sudamericana, que a la vez genera la existencia de una cadena volcánica denominada Zona Volcánica Central de los Andes. (CVZ, 14° 30' –27° S), Figura 1.

Los volcanes activos son de naturaleza calco-alcalina, con predominancia de andesitas y que pueden ser generados principalmente por la fusión de los materiales del manto debido a la deshidratación de la corteza oceánica subducida. Además, los magmas durante su evolución y posterior emisión hacia la superficie son afectados por procesos de estratigráficos muestran que el volcán Sabancaya ha presentado varias erupciones explosivas de baja a moderada magnitud (VEI 1–2) durante el Holoceno medio. En efecto, en la calicata Sallalli II se han identificado cinco depósitos de caída de ceniza emplazados entre 4150 ± 40 años AP y 1600 d.C. En la calicata Colihuiri se ha identificado 13 depósitos de caída de ceniza emplazados entre 3015 ± 40 y 730 ± 35 años AP y tres niveles de caída de ceniza emplazados hace más de 3015 ± 40 años AP y un depósito de caída de ceniza ligado a una erupción ocurrida hace aproximadamente 730 ± 35 años AP.

Desde el año 1750 hasta la actualidad, el Sabancaya ha registrado cincoerupciones (Juvigné et al., 1998). La última gran actividad, se inició en 1986, que comenzó con un incremento en la emisión de fumarolas que alcanzaron alturas mayores a 2 km. Esta actividad se incrementó entre los años de 1988 y 1998, durante el cual el Sabancaya emitió continuamente ceniza y bloques incandescentes. En esta oportunidad la ceniza viajó a más de 10 km al NE y E del volcán. Desde el año 2012 se distingue una ligera reactivación volcánica con emisiones de gases, incrementada en febrero de 2013, durante el cual los gases alcanzaron

g



Figura 2. Cadena de volcanes activos del sur del Perú, así como poblaciones e infraestructura en riesgo.

alturas de hasta 1500 m.

El volcán Ampato es el edificio más antiguo del complejo volcánico Ampato-Sabancaya. Este volcán está conformado por secuencias de flujos de lava y domos, así como secuencias piroclásticas, emplazadas entre el Pleistoceno superior y posiblemente inicios del Holoceno (Figura 5). Dos flujos de lava del edificio Ampato Basal, han sido datados en 410 ± 10 ka y 217 ± 5 ka (datación K/Ar). Asimismo, flujos de lava pertenecientes al edificio Ampato Superior, rindieron edades de 40 ± 3, 34 ± 8 y 17 ± 6 ka (Rivera et al., 2014). Los productos eruptivos poseen mayormente composiciones andesíticas a dacíticas, aunque se han encontrado depósitos de caída piroclástica de composición riolítica.



Figura 4. Emisiones de gases en el volcán Sabancaya, 12 de mayo del 2013, vista hacia el Norte





Figura 5. Anaglifo que muestra el complejo volcánico compuesto por los volcanes Ampato, Sabancaya y Hualca Hualca

El volcán Misti (5825 msnm), es un volcán activo localizado a menos de 12 km del casco urbano de la ciudad de Arequipa (Figs. 6 y 8). Esporádicamente, este volcán viene emitiendo gases sulfurosos y vapor de agua muy tenue, visibles en la cima y el cráter. Los estudios geológicos muestran que el Misti se construyó hace más de 100 000 años. Este volcán a lo largo de su evolución ha emitido variados productos volcánicos como flujos de lava, flujos piroclásticos, caídas de ceniza y de lapilli de pómez (Figura 7). Durante los últimos 11 000 años presentó al menos 10 erupciones explosivas considerables. La última erupción

importante de tipo pliniana ocurrió hace 2050 años BP (Cobeñas et al., 2012); (Harpel et al., 2011), durante el cual emitió piedra pómez y flujos incandescentes que descendieron por las quebradas que discurren por la ciudad de Arequipa. Alrededor del Misti, existen dos capas delgadas de ceniza oscura que corresponden probablemente a dos pequeñas erupciones ocurridas a mediados del siglo XV (años 1440–1470), otras erupciones menores ocurrieron en mayo de 1557, julio de 1784 y julio a octubre de 1787. Algunas crisis fumarólicas moderadas han sido reportadas en 1948–1949 y en 1984–1985.



Figura 6. El volcán Misti y la ciudad de Arequipa donde viven más de 900 000 personas. La población día a día crece en dirección al Misti. Vista tomada en dirección noreste. Ver figura 8.



Figura 7. Secuencia estratigráfica en la quebrada Pastores (8 km al S0 del Misti), de más de 40 m de espesor. Se observan depósitos del periodo.



Figura 8. Anaglifo de los volcanes Misti y Chachani.

El volcán Ubinas se encuentra ubicado a 90 km al norte de la ciudad de Moquegua y a 65 km al este de la ciudad de Arequipa. Es considerado como el más activo del sur peruano, por haber presentado 26 erupciones leves a moderadas desde el año 1550. La actividad volcánica ocurrida entre los años 2006 y 2009 causó alarma y preocupación en los pobladores del valle de Ubinas y sus autoridades quienes antes de dicha crisis no disponían de planes ni estrategias para afrontar una crisis volcánica que involucre la evacuación de la población. En esta oportunidad se termió que la actividad se incrementara enormemente, inclusive con la generación de flujos piroclásticos o colapso del flanco sur con posibles consecuencias trágicas para los más de 5000 habitantes que viven en el valle de Ubinas (situado al pie del flanco sur del volcán). En el año 2006,

ante el incremento sustancial de la actividad, y por recomendaciones del INGEMMET-IGP-IGUNSA las autoridades evacuaron a los pobladores de Querapi hacia el refugio de Anascapa (20 y 21 de abril de 2006) y posteriormente los días 9 al 11 de junio evacuaron a más de 1500 personas al refugio de Chacchagen (~20 km al SE del volcán). Posteriormente, en setiembre de 2013 el Ubinas se reactivó y presento una actividad moderada que duró pocas semanas (Figura 9). Recientemente desde el 01 de febrero, el Ubinas muestra un ligero incremento de actividad. Los poblados aledaños al volcán que se encuentran en riesgo son: los poblados de Querapi, Tonohaya, Ubinas, San Miguel, Huatahua, Huarina, Sacohaya, Escacha, Anascapa, San Juan de Tarucani, con una población aproximada de 5000 personas.



Figura 9. Volcán Ubinas crisis furnarólica con emisiones de gases y ceniza en setiembre 2013 y febrero 2014 (Foto del 05 de setiembre 2013).



Figura 10. Anaglifo de los volcanes Ubinas, Huaynaputina y Ticsani.

El volcán Huaynaputina se ubica a 63 km al norte de la ciudad de Moquegua. Es un volcán parcialmente destruido, conformado por una caldera en forma de herradura de 25 km de largo por 15 km de ancho, en cuyo interior se distinguen tres cráteres en forma de embudo (Figura 11). Este volcán en el año de 1600 presentó una erupción explosiva violenta, la más voluminosa ocurrida en los Andes centrales en tiempos históricos, que emitió ceniza y piedra pómez que viajaron a más de 600 km al noroeste del volcán, cubriendo más de 20,000 km2 de los actuales territorios de los departamentos de Arequipa y Moquegua (Thouret et al., 1999). En caso de una eventual reactivación de este volcán los poblados en riesgo son: Omate, Quinistaquillas, Puquina, Calacoa y poblados aledaños localizados en los departamentos de Moquegua y Arequipa.



Figura II. Caldera del volcán Huaynaputina donde se distinguen tres orificios o cráteres formados durante la erupción del año de 1600 DC. Ver imagen anáglifo Nº 4.

El volcán Ticsani, se ubica a 60 km al NE de la ciudad de Moguegua, a 5408 msnm. Corresponde a un complejo de domos que han crecido dentro de una depresión. La evolución volcánica comprende dos etapas: "Ticsani antiguo", de edad Pleistoceno superior, durante el cual se emplazó una secuencia de flujos de lava andesítica, depósitos volcanoclásticos y flujos piroclásticos. Luego, el edificio volcánico colapsó, emplazando depósitos de "avalancha de escombros" visibles en los ríos Putina, Carumas y Tambo, con un espesor promedio de 400 m. Estos depósitos de avalanchas se desplazaron a lo largo del río Tambo, hasta aproximadamente 31 km de distancia. En la segunda etapa "Ticsani moderno" se emplazaron coladas de lava, domos de lava y depósitos piroclásticos (Figura 12). Durante esta última etapa ha generado por lo menos tres erupciones explosivas: la primera hace 11 mil años y la última erupción explosiva importante ocurrió hace menos de 400 años. Los poblados de Calacoa, San Cristóbal, Quebaya, Cuchumbaya, Sacuya, Soguesane, Yaral, entre otros, viven en zozobra ante una eventual. reactivación de dicho volcán.

El volcán Tutupaca se ubica a 110 km al norte de la ciudad de Tacna, 63 km al NE de la ciudad de Moquegua y 28 km al norte del poblado de Candarave, sobre una zona de altiplanicie (Figuras 13 y 15). Se encuentra constituido por dos conos yuxtapuestos: Tutupaca Este (5790 msnm), que corresponde a un cono parcialmente destruido en su sector NE, ligado a una erupción explosiva registrado probablemente en el año

1802; y Tutupaca Oeste (5815 msnm), que corresponde a un cono truncado en la parte. Este presentó actividad volcánica en los años: 1780, 1802, 1862 y 1902, caracterizada por una alta actividad fumarólica y emisiones de ceniza. Sobre la última erupción ocurrida el 30 de marzo de 1802, Valdivia (1874), en "fragmentos para la Historia de Arequipa" comenta que en aquella época *la erupción del Tutupaca dejó ceniza en el aire por cinco meses, oscureciendo la atmósfera de Locumba, Tacna y Arica. Por varios días anduvieron con luces en la tarde* Los poblados en riesgo son la ciudad de Candarave y otros poblados menores como: Tacalaya, Turun-Turun, Suches y Huaitire, localizados en un radio de 14 km alrededor del volcán.

El volcán Yucamane se ubica a 92 km al norte de Tacna y a 11 km al S0 del pueblo de Candarave, a 5550 msnm (Figuras 14 y 15). Este volcán es el más reciente de un conjunto de volcanes extintos y erosionados que conforman el complejo volcánico Yucamane-Calientes. El Yucamane posee forma cónica, simétrica con una altura de 1200 m. Los reportes históricos dan cuenta de un evento eruptivo ocurrido en el año 1787, caracterizado por la emisión de ceniza (Valdivia, 1874). La actividad actual del volcán se manifiesta por tenues fumarolas existentes en el cráter. En caso de una eventual reactivación los poblados en riesgo están ubicados en la provincia de Candarave, donde habitan cerca de 8000 pobladores.



Figura 12. Vista del domo de lava hospedada dentro del volcán Ticsani, vista tomada hacia Norte. Ver figura 10.





Figura 14. El poblado de Candarave y el volcán Yucamane. Ver figura 15.



Figura 15. Anaglifo de los volcanes Tutupaca y Yucamane.



Figura 16. Anaglifo del volcán Coropuna.

Figura 17. Anaglifo de los volcanes Purupuruni y Casiri.



Figura 18. Anaglifo del volcán Sara Sara.

In the second second

El mapa de peligros del complejo volcánico Ampato-Sabancaya (Figura 19) ha sido realizado en forma conjunta, entre el Observatorio Vulcanológico del INGEMMET y el Instituto de Investigación para el Desarrollo de Francia (IRD). Los trabajos se realizaron entre los años 2008 y 2012. Previamente se elaboró el mapa geológico a escala 1/25 000 de dicho complejo volcánico.

Teniendo en cuenta los resultados de los trabajos de geología, en la elaboración de los mapas de peligros del complejo volcánico Ampato–Sabancaya se han considerado cuatro escenarios eruptivos: vulcaniano (IEV 1–2), vulcaniano a subpliniano (IEV 3), pliniano (IEV 4–5), y un escenario para una erupción efusiva.

a) Mapa de peligros múltiples en la zona proximal

Los límites en la zona de Alto Peligro (Figura 19, color rojo), se encuentran entre 1.5 y 3.5 km de distancia del cráter del Sabancaya. Los límites en la zona de Moderado Peligro (color naranja), se encuentran entre 5 y 6 km en los flancos SE, E y NE; entre 3 y 4 km al Norte del cráter; y menos de 2 km al SO del Sabancaya. Los límites en la zona de Bajo Peligro (color amarillo) están entre 9 y 12 km del cráter, a excepción del sector N, donde se encuentra a 7 km del complejo volcánico.



Figura 19. Mapa de peligros múltiples de la zona proximal del complejo volcánico Ampato-Sabancaya (tomado de Mariño et al., 2012)

b) Mapa de peligros por caídas piroclásticas

La zona de Alto Peligro, de color rojo en el mapa (Figura 20), se encuentra dentro de los 10 km de distancia. Esta zona puede ser afectada por caídas de ceniza de algunos centímetros de espesor durante erupciones pequeñas a moderadas (IEV 1–2), por caídas de ceniza de varios centímetros de espesor en erupciones moderadas (IEV 3). y por caídas de lapilli y bloques de pómez, de varios decímetros a algunos metros de espesor, en erupciones grandes (IEV 4–5). La zona de Moderado Peligro, de color naranja en el mapa, está entre 10 y 30 km de distancia. Esta zona puede ser afectada por caídas de ceniza de

algunos milímetros de espesor durante erupciones pequeñas a moderadas (IEV 1–2), por caídas de ceniza de algunos centímetros de espesor en erupciones moderadas (IEV 3), y por caídas de ceniza, lapilli y bloques de pómez del orden de varios centímetros a decímetros de espesor en erupciones grandes (IEV 4–5). La zona de Bajo Peligro, color amarillo en el mapa (figura 20), abarca entre 30 y 50 km de distancia. Esta zona no será afectada por caídas de ceniza durante erupciones pequeñas a moderadas (IEV 1–2), pero si por caídas de ceniza de algunos milímetros de espesor en erupciones medias (IEV 3), y por caídas de ceniza de pocos centímetros de espesor en erupciones grandes (IEV 4–5).



Figura 20. Mapa de peligros por caídas piroclásticas (tornado de Mariño et al., 2012).

c) Mapa de peligros por flujos de lodo o lahares

La zona roja (Figura 21), considerada de Alto Peligro, puede ser afectada por lahares de hasta 5 millones de m³; la zona naranja, de Moderado Peligro, puede ser afectada por lahares de 10 millones de m³; y la zona amarilla, de Bajo Peligro, corresponde a la zona que puede ser afectada por lahares de 20 millones de m³.



Figura 21. Mapa de peligros por flujos de lodo (tornado de Bellot, 2011).

▲MAPA DE PELIGROS DEL VOLCÁN MISTI►

El mapa de peligros del volcán Misti presentado en la figura 22, muestra las áreas que podrían ser afectadas en caso de ocurrir el emplazamiento de flujos y oleadas piroclásticas, flujos de lava, proyectiles balísticos, lahares y/o avalanchas de escombros durante una erupción del Misti. Los límites de la zona de Alto Peligro (rojo) se encuentran aproximadamente

entre 6 y 10 km de distancia del cráter. Los límites de la zona de Moderado Peligro (naranja) se encuentran aproximadamente entre 9 y 16 km del cráter. Finalmente, los límites de la zona de Bajo Peligro (amarillo) se encuentran aproximadamente entre 16 y 24 km de distancia del cráter del volcán.



Figura 22. Mapa de peligros del volcán Misti. La zona roja es la de Alto peligro, la zona naranja es de Moderado Peligro y la zona amarilla es de Bajo Peligro

◆VOLCÁN YUCAMANE (TACNA) GEOLOGÍA Y EVALUACIÓN DE LOS PELIGROS VOLCÁNICOS ►

ElINGEMMETencooperaciónconelInstitutodeInvestigaciónparaelDesarrollo (IRD,Francia)yelLaboratorioMagmasyVolcanes(Clermont–Ferrand,Francia) vienenrealizando el estudio geológico y la evaluación de peligros del volcán Yucamane. Este estudio se realiza con el fin de determinar el comportamiento eruptivo pasado del volcán, asícomo la amenaza y riesgo que implicaría su reactivación con fines de prevención y mitigación de desastres.

Estratigrafía y evolución volcánica

Elcomplejovolcánico Yucamane–Calientes tuvouna migración de la actividad volcánica de Norte a Sur, en el cual el volcán Calientes es el más antiguo, y Yucamanees el más reciente. Elvolcán está formado por una intercalación de flujos de lava y ocasionales flujos piroclásticos, que en su conjunto le dan una geometría cónica simétrica de ~1200 m de altura. La parte baja del volcán de nominado "Yucamane I" presenta lavas de suaves pendientes (<15°) y la

partealta("Yucamanell")presentaflujosdelavasmuyinclinados(>40°). El "Yucamane I" (Figura 23), constituye el periodo eruptivo inicial que fue principalmente de carácter efusivo en el cual se emplazaron flujos de lavas andesíticos,haceaproximadamente380000añosA.P.Estaslavasdescansan sobre un depósito de flujo de pómez y ceniza datado en 540 000 años A.P. (France,1985)ylavasandesíticasemplazadashace970000añosA.P.(DelaCruz &DelaCruz,2000),esdecirdelPleistocenomedioasuperior.

En una fase evolutiva intermedia se produjo el crecimiento y colapso de domos de lava que emplazaron al menos cinco depósitos de flujo de bloques y ceniza de 12 m de espesor, a 9 km en el flanco sur y sureste del volcán (Quebrada Honda). En un segundo periodo, ocurrido entre el Pleistocenosuperioral reciente, restos de los domos flueron cubier tospor flujos de lavas dacíticos y andesíticos que forman el cono superior del volcán. Dos lavas de la parte superior del volcán fueron datados entre 23,000±1A.Py3,000±2A.P.



Figura 23. Quebrada Honda, localizada a 8 km al, sur del volcán Yucamane, donde se distinguen depósitos de flujos piroclásticos y lahares del volcán Yucamane.

• GEOQUÍMICA Y EVOLUCIÓN PETROGENÉTICA •

Se han efectuado 54 análisis químicos de elementos mayores y trazas de rocas volcánicas del complejo volcánico Yucamane. Los magmas emitidos por el Yucamane varían en composición desde andesitas a riolitas (Figura 24, 538–70.4 wt. SiO2), altamente potásicas (157–3.07 wt K20), con características geoquímicas similares a los demás volcanes activos del sur peruano. Las rocas del volcán Yucamane pertenecen a la serie calco–alcalina.



EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LOS PELIGROS VOLCÁNICOS

La evaluación de los peligros está basada en el cartografiado de los depósitos volcánicos, el estudio de determinados depósitos, el grado de recurrencia de los eventos y el modelamiento de procesos volcánicos. Los cuales ayudaron a determinar cuatro tipos principales de peligros:

I) Caída de tefras, se distinguen dos casos: caídas de ceniza y eyecciones balísticas; hipótesis basada en las capas de escorias y lapilli de pómez del Holoceno que yacen principalmente al pie del flanco sur y sureste del volcán y dentro de las quebradas que drenan del volcán Yucamane. Así como, la existencia de bloques balísticos de 3 m de diámetro localizados a 0.5 km al oeste del cráter.

2) Flujos piroclásticos, se presentan tres casos:

- Flujos de bloques y cenizas generados por el crecimiento y destrucción de domos. Se observa al menos cuatro depósitos de flujos de bloques y ceniza de 2 a 12 m de espesor, que yacen de 5 a 7 km al sur, suroeste y sureste del cráter.
- Flujos de escorias que pueden ser generados por erupciones plinianas, como aquel depósito visible en las quebradas Honda y Campanani (6 a 8 km al sur y suroeste del cráter).
- Flujos de pómez y ceniza, que pueden ser generados por erupciones plinianas, basadas en la presencia de un depósito de 2 m de espesor visible en las quebradas del flanco suroeste.
- 3) Lahares, que pueden ser generados en periodos de lluvias excepcionales, o debido al contacto del material volcánico caliente con la nieve que yace desde diciembre a abril en la cumbre del volcán. La ocurrencia de este evento está basada en los lahares que yacen en las quebradas del flanco sur y suroeste.

4) Avalanchas de escombros provenientes del colapso del volcán Yucamane o Calientes, en caso de una erupción violenta o el crecimiento de un domo de lava. Es importante resaltar la presencia de un depósito de avalancha al pie del flanco sur del Yucamane.

En el marco de este estudio se viene elaborando el mapa de peligro del Yucamane que muestra las áreas que pueden ser afectadas en caso de una reactivación de dicho volcán, para que sirva como herramienta para el ordenamiento territorial, la formulación de proyectos de desarrollo, la elaboración de planes de prevención y el manejo de una eventual crisis volcánica.

estudios geológicos y de peligros volcánicos en el volcán tutupaca (tacna)

El complejo volcánico Tutupaca se ha edificado sobre un substrato constituido de ignimbrítas y secuencias volcano-sedimentarias de edad Mio-Pliocénica (Fidel y Zavala, 2001). La ubicación y su posterior evolución del complejo volcánico ha sido controlada por un sistema de fallas de orientación NNO-SSE. Según Manrique (2013), el complejo volcánico Tutupaca está constituido por tres edificios volcánicos sucesivos: el Tutupaca Basal y dos conos gemelos (Tutupaca Oeste y Tutupaca Este) pero con un grado de erosión diferente.

El Tutupaca Basal

Es un edificio antiguo, bastante erosionado, constituido básicamente por flujos de lava de más de 200 m de espesor. La parte central del edificio está constituida por secuencias de lavas erosionadas, con una morfología en forma de picos, afectadas por la erosión glaciar y que se encuentran fuertemente hidrotermalizadas. Las lavas de este edificio son andesitas porfídicas de color gris oscuro, que contienen fenocristales de plagioclasa, biotita, anfíbol y piroxeno. Al sur de este edificio se han identificado una serie de pequeñas colinas de 250–750 m de diámetro y de hasta 50 m de alto, que corresponden domos de lava, alineados en dirección NND–SSE y que han sido datados en 0.26 ± 0.2 Ma (INGEMMET & ELECTROPERÚ, 1994; Fidel & Zavala, 2001).

El Tutupaca Oeste

Es un edificio que posee una forma ligeramente cónica y está constituido por varios domos lávicos en la parte inferior, los cuales fueron cubiertos, en la parte superior, por secuencias lávicas. Las lavas de este edificio son andesitas y dacitas porfídicas, con una mineralogía que incluye fenocristales de plagioclasa, anfíbol y biotita. Este edificio está afectado por erosión glaciar mostrando importantes circos glaciares. Su cumbre está a una altura máxima de 5790 msnm, lo cual hace que sea el edificio más alto del complejo.

El Tutupaca Este,

Es el edificio más joven del complejo, y se caracteriza por estar exento de erosión glaciar, lo que sugiere una edad Holocénica. Este cono tiene una altura máxima de 5638 msnm y está constituido por al menos siete domos lávicos. En general, se trata de andesitas silíceas y dacitas, muy porfídicas con una mineralogía compuesta por plagioclasa, anfíbol y biotita incluidos en una pasta parcialmente vesiculada que varía entre microcristalina a vítrea. La característica más importante del Tutupaca Este es la presencia de una gran escarpa o anfiteatro de más de 1 km de diámetro en su parte superior abierta hacia el NE.

Los productos eruptivos recientes del Tutupaca Este

Desde la cicatriz del volcán Tutupaca Este y en dirección NE, hasta la Pampa Paipatja y el valle del río Callazas, se encuentra una zona con abundantes depósitos volcánicos asociados con la actividad reciente del volcán Tutupaca. Describiremos estos depósitos en la zona proximal, media y distal (Figura 25).

La zona proximal, comprende hasta 3 km de distancia del anfiteatro (Fig. 26). En esta zona se observa una serie de colinas que corresponden a

estructuras de tipo "hummocks" (Figura 25), constituidos por bloques polimicticos, con bloques altamente fracturados que presentan texturas de tipo "jigsaw". En función del tipo petrográfico dominante, se pueden identificar dos unidades: la parte inferior, que corresponde al cuerpo de las colinas descritas precedentemente, y constituida por bloques de composición andestica, altamente hidrotermalizada de colores amarilloverdosos, mientras que la parte superior está constituida por fragmentos líticos de composición andesita-dacita gris oscura, vesiculada y altamente porfirítica, similar a los domos que constituyen el edificio Tutupaca Este.



Figura 26. Vista panorámica del anfiteatro del edificio Tutupaca Este.



Figura 27. Morfología característica de la zona media del depósito en forma de "estrías" o crestas alargadas. La zona media del depósito está comprendida entre 3 y 6 km de distancia desde el anfiteatro. Esta zona se caracteriza por presentar una morfología de crestas y valles (denominadas "estrías") que tienden a alinearse en dirección del anfiteatro. Estas estrías tienen entre 5–10 m de ancho por 150–400 m de largo y una altura de 2–5 m. Los depósitos de la zona media son observados en la parte NNE del anfiteatro,



Figura 27. Morfología característica de la zona media del depósito en forma de "estrías" o crestas alargadas.

alcanzando el valle de la quebrada Taipicirca (Figura 27). El otro ramal, fue canalizado entre dos grandes morrenas en dirección NE. En esta zona media, se han podido identificar tres unidades diferentes. A la base se observa la brecha corteniendo abundante material hidrotermalizado, mientras que al tope se observa la unidad caracterizada por rocas frescas de domo. Sin embargo entre las dos se encuentra un depósito piroclástico caracterizada por la presencia de abundantes bombas de tipo "coliflor".

La zona distal corresponde a la Pampa Paipatja que se prolonga hasta el río Callazas, en dirección NE (Figura 25), así como la zona norte del volcán que llega hasta la laguna Suches. En esta zona se distinguen depósitos de flujo piroclástico de blogues y ceniza que abarca hasta los 10–12 km de distancia desde el anfiteatro. En la pampa Paipajta, también se ha identificado el depósito de avalancha de escombros rico en material hidrotermalizado, el cual está cubierto por la secuencia piroclástica rica en bombas. Aquí, el depósito de flujo de bloques y ceniza tiene entre de 5-6 m de espesor y está enriquecido en bombas tipo "coliflor" y "corteza de pan" hacia el tope del depósito (Figura 28). Los bloques densos son dacitas gris oscuras porfídicas que contienen fenocristales de plagioclasa, anfíbol y biotita, mientras que las bombas vesiculadas son de color gris claro, con grandes fenocristales de plagioclasa, anfíbol y biotita. Finalmente, en la pampa Paipajta se ha identificado una unidad superior, caracterizada por el enriquecimiento en bombas de tipo coliflor y que presenta espesores de 1 a 2 m.



Figura 28. Depósito de bombas en la parte superior en la Pampa Paipatja. En el fondo de la imagen se aprecia el edificio volcánico Tutupaca Este.

Finalmente, en la quebrada Zuripujo, localizada al SE del volcán, se ha identificado otra secuencia piroclástica, constituida por varias unidades de flujos de bloques y ceniza, con espesores comprendidos entre 2 y 5 m, los cuales están intercalados con niveles de oleadas piroclásticas y un nivel enriquecido en ceniza al tope de la secuencia con un espesor de 1–2 m. Los bloques dominantes en esta secuencia son andesitas

grises porfídicas con una mineralogía similar al resto del edificio, es decir constituida por plagioclasa, anfíbol y biotita. Evidencias de campo muestran que esta secuencia piroclástica se encuentra bajo la secuencia piroclástica previamente descrita. Una muestra de carbón correspondiente a la parte superior de la secuencia piroclástica de la quebrada Zuripujo dio una edad 14C de 220± 30 AP.

MONITOREO GEODÉSICODE VOLCANES►

INTRODUCCIÓN

El INGEMMET está desarrollando la vigilancia de volcanes activos implementando diversas técnicas, entre ellas técnicas geodésicas con la finalidad de monitorear las deformaciones del suelo en el edificio volcánico como producto de los procesos internos (ascenso de magma) o superficiales (deslizamientos y fallas).



en un proceso eruptivo.

Las deformaciones del terreno se originan a diferentes profundidades bajo la superficie y estas pueden medirse, para lo cual se requiere el uso de técnicas de gran precisión y resolución. La aplicación del método geodésico en la vulcanología se resume en el estudio del cambio de la forma y tamaño de los edificios volcánicos. En la Figura 29A se muestra un esquema de un volcán activo sin deformación, en la Figura 29B el volcán en proceso de deformación debido a la expansión de la cámara magmática. Estos cambios pueden ser medidos con la instalación y monitoreo de puntos geodésicos en la superficie del volcán, tal como se ve en el gráfico.

Desde el año 2005 el OVI ha venido optimizando, diseñando e implementando redes de monitoreo geodésico en los volcanes Ubinas, Misti, Sabancaya, Ticsani y Coropuna. El año 2013 se han adquirido cuatro GPS geodésicos de última generación para fortalecer este método de monitoreo.

LAS TÉCNICAS DE MONITOREO DE DEFORMACIÓN

En la actualidad, el OVI aplica dos técnicas de monitoreo de la deformación, estas son la medida electrónica de distancias (EDM) y el sistema de global de navegación por satélites (GNSS).

El EDM utiliza ondas de luz o pulsos de laser que viajan desde la estación base a la estación reflector (prisma) y viceversa. Se compara las fases de la luz emitida y reflejada para calcular la distancia recorrida es así como se determina la distancias entra base y reflector, todas estas medidas se comparan y evalúan su variación en el tiempo.

El GNSS usa señales de satélites que orbitan la tierra, con estas señales se emplea el concepto de "Triangulación". La triangulación, permite conocer la posición de un punto sobre la superficie de la tierra con precisiones milimétricas.

▲EQUIPOS DISPONIBLES EN EL OVI►

El INGEMMET con la propósito de mejorar la capacidad de pronóstico ante erupciones, viene adquiriendo progresivamente equipos de deformación que se suman a los que ya contamos en el observatorio. Los equipos con el que actualmente cuenta el OVI para realizar el monitoreo geodésico se muestran en la Tabla 2 y Figuras 30, 31 y 32.

Equipo	Cantidad	Marca	Modelo	Año
GPS Diferencial RTK	2	Trimble	R6	2011
GPS Geodésico	2	Trimble	R7	2012
GPS Geodésico	4	Trimble	R7	2013
Estación Total	1	TOPCON	GPT8002A	2008
Prisma Topográfico	32	Topcon	AY01A	2011
Prisma Topográfico	20	Topcon	AY01A	2013



Figura 30. GPS Diferencial RTK, Trimble modelo R6, se compraron 2 el año 2012.



Figura 31. GPS Geodésico Trimble modelo R7, se compraron 2 a finales del año 2013.



Figura 32. Instalación de prismas topográficos para emplear la técnica de EDM

1 UPW **VOLCANES** MONITOREADOS

UPW4

Actualmente, se viene monitoreando los siete volcanes activos, siendo el volcán Ubinas y el volcán Misti los mejor equipados y con mayor tiempo de monitoreo. En la Tabla 3 se presenta la red de monitoreo con que cuenta cada uno de los volcanes. En total son 96 estaciones, entre bases, prismas y puntos de control instaladas en los 6 volcanes.

UPW3 UPW2 UPW1

UPG1 0

Volcán	Base GPS	Base EDM/GPS	Prismas	Total
Ubinas	8	4	15	27
Misti	10	6	18	34
Sabancaya	4	1	6	11
Ticsani	9	1	3	12
Tutupaca	5	0	0	5
Coropuna	6	0	0	6

Tabla 3. Lista de volcanes monitoreados y número de estaciones implementadas



32

RESULTADOS

Los resultados del monitoreo con el equipo EDM son representados en forma de gráficos o curvas de deformación (figuras 37, 38 y 39). Estas curvas nos indican la variación de la distancia desde prismas instalados en los flancos del volcán respecto de bases estables ubicadas en las planicies bajas del mismo, como las que se aprecian en las figuras 37, 38 y 39, que corresponden a las curvas de deformación obtenidas en los volcanes Ubinas (años 2009–2014), Misti (años 2010–2014) y Sabancaya (años 2013–2014).







Figura 38. Curvas de deformación obtenidas para el volcán Misti



Respecto a los resultados de los trabajos de monitoreo con los equipos GPS, se tienen los mapas con campos de velocidad, que muestran ligeras deformaciones o desplazamientos. En la figura 40, se ilustra los resultados obtenidos en el volcán Ubinas.

Por otro lado, también se viene aplicando la técnica de InSAR (análisis de imágenes satelitales de radar) para monitoreo de la deformación en los volcanes Ticsani, Sabancaya, Ubinas y Misti, encontrándose interesantes resultados, sobre todo en los volcanes Sabancaya y Ticsani (Figuras 41 y 42). Estas imágenes muestran deformaciones asociadas a movimiento de fallas geológicas locales.



Conclusiones / perspectivas futuras

- Desde el año 2006 que se ha venido implementando el monitoreo de deformación en volcanes activos, empleando las técnicas de GNSS, EDM e InSAR. Los
 resultados nos muestran que los volcanes durante este periodo no se deformaron, sin embargo las fallas geológicas cercanas a los volcanes Sabancaya y
 Ticsani si presentaron actividad y se evidenciaron deformaciones claras en las imágenes InSAR.
- Con las técnicas de GPS y EDM se ha logrado alimentar la base de datos relacionados a la línea de base para correlacionar los resultados con periodos de mayor actividad volcánica.
- Actualmente los esfuerzos del monitoreo geodésico de volcanes está orientado a implementar sistemas de adquisición de datos en tiempo real con la instalación de GPS, inclinómetros y eventualmente EDM con estaciones robotizadas, para lo cual, el INGEMMET está invirtiendo en la adquisición de estos equipos. Paralelamente se ha implementado un cronograma de adquisición de imágenes satelitales para intensificar el monitoreo de deformación con la técnica InSAR.

MONITOREO GEOQUÍMICO DE LOS VOLCANES ACTIVOS DEL PERÚ

INTRODUCCIÓN

Los gases magmáticos, en su recorrido hacia la superficie, interaccionan con los materiales que encuentran a su paso (rocas y agua). Producto de estas reacciones los gases y aguas que son emitidos por los volcanes contienen determinados compuestos que lo caracterizan. Las manifestaciones frecuentes de esta actividad está dada por la presencia de fumarolas, fuentes termales, manantiales salados con burbujas, geiser, gases difusos, etc.

El monitoreo geoquímico consiste en el estudio del sistema hidrotermal ligado a la medición sistemática de los parámetros físicos y químicos de los gases volcánicos emitidos y fuentes termales que brotan en sus alrededores. Desde finales del 2005 el INGEMMET viene realizando de manera periódica este monitoreo. Se inició con la caracterización de las fuentes termales de los volcanes Misti, Ubinas y Ticsani. Progresivamente se ha ido ampliando hasta monitorear nueve volcanes: Misti, Ubinas, Sabancaya, Ticsani, Tutupaca, Yucamane, Huaynaputina, Coropuna y Chachani.

El OVI cuenta con profesionales en química especializados en vulcanología, que realizan esta labor, además con el respaldo de un Laboratorio de Química Analítica del INGEMMET.

TÉCNICAS DE MONITOREO

EL OVI realiza los siguientes trabajo de monitoreo geoquímico: a) evaluación de fuentes termales; b) evaluación directa de las fumarolas volcánicas; c) evaluación de las emisiones de SO² (sensores remotos); d) evaluación de las emisiones de CO² en el suelo (Figura 43).

a) Evaluación de fuentes termales

Las fuentes de agua asociadas a los volcanes activos pueden sufrir cambios en sus parámetros fisicoquímicos debido al contacto con el magma que asciende o se almacena en su interior. En tal sentido, el monitoreo de dichas aguas puede indicarnos el momento del ascenso del magma y/o eventual erupción de un volcán. El monitoreo de aguas se realiza en los volcanes Coropuna, Sabancaya, Chachani, Misti, Ubinas, Huaynaputina, Tutupaca y Yucamane. Este monitoreo consiste en medir parámetros fisicoquímicos como la temperatura, potencial de Hidrogeno (pH), conductividad eléctrica, aniones y cationes disueltos, etc. Muchas veces el monitoreo se realiza de manera continua, con muestreo frecuente y registro de datos de temperatura y conductividad eléctrica.

La fuentes permanentemente monitoreadas en el sur peruano, corresponden a las fuentes Ubinas Termal "UBT" (a 6 km al SE del cráter del volcán Ubinas) y la fuente Charcani V, asociado al volcán Misti. Actualmente se muestrea y se miden parámetros cada 7 días, se tiene un registro de temperatura cada minuto y de la conductividad eléctrica cada 15 minutos.

b) Evaluación directa de las fumarolas volcánicas

Las fumarolas provienen del conducto y/o reservorio magmático, por lo cual el análisis físicoquímico de estas, proveen información directa e indirecta de los que sucede al interior de un volcán, respecto a la presencia o ausencia de magma. Las fumarolas son emitidas a través de los cráteres, localizados por encima de los 5500 m de altura sobre el nivel del mar, esto sumado a los constantes derrumbes en los flancos

del volcán, la presencia de gases tóxicos y corrosivos, así como la posibilidad de que ocurra una explosión volcánica, hacen que obtener una muestra se convierta en una labor peligrosa. Razón por la cual, se realiza muy eventualmente la toma de muestras, a través de condesados de fumarolas. En estas muestras es posible medir el potencial de hidrógeno y la composición química e isotópica.

Por otro lado, se realiza la medición de la temperatura de gases de manera casi continua, con termómetros digitales e infrarrojos que registran la temperatura con intervalos de 15 ó 30 minutos en las fumarolas.

c) Evaluación de las emisiones de CO² en el suelo

Este método consiste en realizar el control de la emisiones de gases difusos como el dióxido de carbono "CO²" en la superficie de un volcán, tomando muestras de gas en el suelo, las que se miden en un espectrómetro infrarrojo portátil, y cuyos resultados se expresan en partes por millón (ppm).

En algunos volcanes como el Misti (2010–2012) y el Ticsani (2011) se han realizado perfiles en las laderas del volcán, con medidas cada 20 a 25 m de distancia. El objetivo de estos trabajos es conocer los puntos de desgasificación y determinar estructuras no visibles (fallas, fracturas, bordes de calderas, etc.).

Para el monitoreo se establecen perfiles de reiteración o enmallados con puntos fijos de medición, que se repiten periódicamente, por lo general una vez al año. Actualmente se trabaja en los volcanes Tutupaca, Ticsani y Ubinas. El resultado más notable se ha dado en el volcán Ubinas, donde se registró un aumento de 97 en la concentración de CO2 entre 2012 y 2013, poniendo en evidencia el ascenso de magma que produjo la crisis eruptiva del 2014.

En el 2014 se viene implementando el monitoreo continuo de la concentración de CO², para ello se están instalando estaciones de medición de CO² continuo en los volcanes Ubinas, Misti y Sabancaya, que permiten registrar y almacenar valores de concentración de CO2, para poder determinar variaciones ligadas a la actividad volcánica.

d) Evaluación de las emisiones de SO2 (sensores remotos)

Los sensores remotos son utilizados para obtener información sin estar en contacto directo con la fuente a medir, esto reduce drásticamente el riesgo a sufrir percances durante el trabajo de campo en los volcanes, sobre todo en los periodos de crisis eruptiva. El OVI en cooperación con IG-EPN del ecuador y el IRD de Francia, realizan el monitoreo de las plumas volcánicas de los volcanes Ubinas y Sabancaya, con ayuda de un espectrómetro de correlación ultra violeta móvil (DOAS), midiendo la concentración y calculando el flujo del gas S02, en ppm y Tn/día, respectivamente. Considerando que el S02 es un gas volcánico presente predominantemente durante erupciones. En el volcán Ubinas del 2013 al 2014 se ha visto un incremento de estos flujos con valores de 170 Tn/día a 3000 Tn/día, correspondiente al incremento de actividad del volcán.

EQUIPOS EMPLEADOS EN EL MONITOREO

El OVI cuenta con equipos especializados para el monitoreo geoquímico. En la figura 44 se muestran algunos de los equipos empleados según las técnicas antes mencionadas para el estudio y/o monitoreo de aguas y gases volcánicos.



Figura 43. Vistas de trabajo de monitoreo geoquímico: A) muestreo y evaluación de aguas volcánicasC) evaluación de las emisiones de SO2 (sensores remotos)

B) evaluación directa de fumarolas volcánicasD) evaluación de las emisiones de CO2 en el suelo en el Ubinas.



Figura 44. Equipos de monitoreo geoquímico: A) Termometros, pHmetros y conductimetros para la evaluación de aguas B) Registradores de temperatura para evaluación de fumarolas, suelos y aguas C) Móvil DOAS midiendo SO2 en fumarolas volcánicas

D) Medidor del gas CO2.

▲ REDES DE MONITOREO

REDES DE MONITOREO

Se han establecido redes de monitoreo en varios volcanes, dando prioridad a los que presentan mayor peligro y actividad como es el caso de los volcanes Misti, Ubinas, Sabancaya y Ticsani (Figuras 45 y 46), aplicando las diferentes técnicas de geoquímica anteriormente descritas. También se mantiene el monitoreo periódico, con la toma de muestras cada 3 a 6 meses en los demás volcanes Tutupaca, Yucamane, Huaynaputina, Coropuna y Chachani, con redes de monitoreo de aguas y fumarolas.



Figura 45. Red de monitoreo geoquímico del volcán Misti.



Figura 46. Red de monitoreo geoquímico del volcán Sabancaya.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos sobre los parámetros fisicoquímicos de las fuentes termales y gases volcánicos son representados en forma de gráficos. En la Figura 47 se muestra los resultados del monitoreo de la fuente de agua "Ubinas Termal". En este gráfico se observan que existen variaciones en parámetros como la temperatura y la relación de S04/Cl, ligadas a una perturbación del sistema hidrotermal, posiblemente influenciadas por el ascenso de magma. Por otro lado, se obtienen gráficas de evaluación de las emisiones de gases volcánicos como el dióxido de azufre (S02) y dióxido de carbono (C02), ligados a una desgasificación magmática (Figura 48).



Características de los parámetros químicos del agua de la fuente termal UBT, localizada a 6 km al sureste del cráter del volcán Ubinas, registrados entre el 1 de septiembre de 2013 al 20 de marzo de 2014. Para fines demostrativos algunas concentraciones se multiplicaron por valores de 2, 3 y 5.



Resultados en el volcán Ticsani:

las medidas de la concentración de CO2 en la zona cercana a la cumbre del volcán Ticsani realizados en el 2011 alcanzaron los 6000 ppm (figura 49).



Resultados en el volcán Coropuna

Los análisis químicos realizados entre los años 2008 y 2012, de las aguas de siete fuentes termales: Antaura "CR1", Ccolpa "CR2", Viques "CR3", Accopallpa "CR4", Buena Vista "CR5", Huamani Loma "CR6", Antaura frá "CR7", y 3 ríos: río Viques "RVIC", río Accopallpa "RAC0", río Capacmayo RCPM (figura 50), tienen un comportamiento muy similar en la composición química de sus aniones mayoritarios: cloruros, sulfatos y bicarbonatos (CL-, S0₄-, HC0₃), y de manera general, no presentan mayor variación con el tiempo a nivel de los cationes; sodio "Na", potasio "K", magnesio "Mg" y calcio "Ca". Por otro lado, se observan ligeras variaciones en los demás iones que podrían estar relacionados a una continua actividad del sistema hidrotermal del volcán Coropuna (Figura 50).





VOLCÁNN COROPUNA

Resultados del monitoreo en el volcán Sabancaya.

Durante el año 2013 se realizó el análisis químico de las aguas de nueve fuentes termales: Calera "CAL", Toroyoc "TRY", Calera Mocco "CMO", Yanque 3 "YA3", Puye Puye "PUY", Sallalli 1 "SA1", Sallalli 2 "SA2" Sallalli 3 "SA3" y Pacclla "PCL" (figura 51). Los resultados muestran ligeras variaciones en la composición química de sus aniones mayoritarios: cloruros, sulfatos y bicarbonatos (CL-, SO₄-, HCO₃-) con respecto al tiempo. En cuanto a los cationes sodio "Na", potasio "K", magnesio "Mg" y calcio "Ca" no presentan mayor variación.



VOLCÁNN SABANCAYA

De los resultados anteriores, se infiere que el volcán Sabancaya presenta ligeras variaciones en su composición química, durante el año 2013, debido a su reciente actividad fumarólica iniciada en los primeros meses del 2013, ligada a una reactivación del sistema hidrotermal. Por otro lado, el volcán Coropuna no presenta mayor variación en la composición química de sus aguas, ligada a una estabilidad del sistema hidrotermal debido a que no presenta mayor actividad volcánica.

Los resultados del volcán Misti.

Se viene registrando variación de temperatura de las fumarolas en el interior del cráter del Misti (Figura 52). La estación "MST-F2" registra la temperatura de las fumarolas que son emitidas del domo del Misti, localizado dentro del cráter de dicho volcán; mientras que la estación "MST-F1" registra temperatura de las fumarolas que son emitidas del borde del cráter del Misti (Figura 52).

CONCLUSIONES / PERSPECTIVAS FUTURAS

- El monitoreo geoquímico de fuentes termales y gases asociados a los volcanes Ubinas y Misti empleando las diferentes técnicas nos permite comprender el comportamiento de los sistemas magmáticos. Los resultados nos muestran que los volcanes para este periodo han registrado ligeras perturbaciones en el sistema hidrotermal, que provocan variaciones en la composición química de diferentes iones como el cloruro, sulfatos, y algunos cationes como sodio y potasio de las aguas.
- El monitoreo de gases volcánicos como el dióxido de azufre (SO2) permiten detectar el ascenso o arribo de magma a la superficie, como es el caso de la actividad eruptiva del volcán Ubinas registrado en el 2014.
- Se ha logrado obtener una base de datos de parámetros fisicoquímicos de aguas y gases que nos ofrecen una línea base sobre la cual podemos establecer el monitoreo y correlacionar los resultados con otros métodos.
- Actualmente, el INGEMMET está invirtiendo en la adquisición de nuevos y modernos equipos de monitoreo geoquímico, orientado a implementar sistemas de adquisición de datos en tiempo real con la medición de parámetros fisicoquímicos de la aguas y gases, a través de estaciones fijas.

In Los volcanes activos del perú

INTRODUCCIÓN

En un volcán activo el inicio o aumento de la actividad sísmica es generalmente un precursor importante de una erupción volcánica. Desde la erupción del volcán Vesubio en Italia (año 79 AC.) durante el cual ocurrieron sismos relacionados a esta erupción (según relatos de Plinio el Joven), la actividad sísmica ha mostrado una fuerte asociación con la actividad volcánica, ejemplo de ello son las erupciones del Monte Nuovo (1853) en Campi Flegrei, Italia y el Monte Usu (1663) en Hokkaido, Japón, donde la actividad sísmica de estos volcanes obligó a los habitantes a abandonar sus regiones antes del comienzo de la erupción.

Gracias al desarrollo de la sismología, es posible entender el comportamiento interno de un volcán, es decir, la dinámica interna de los fluidos, el posible estado de sus esfuerzos locales y los mecanismos de transporte de magma, los cuales son reflejados mediante la gran variedad de señales sísmicas. En ese sentido, la importancia de este tipo de monitoreo radica principalmente en detectar de manera oportuna, precursores de algún proceso eruptivo e informar a las autoridades pertinentes para que puedan realizar las acciones necesarias. Por esta razón el monitoreo sísmico es considerado como uno de los principales métodos de monitoreo de volcanes.

El INGEMMET, por medio del Observatorio Vulcanológico del INGEMIMIET (OVI), viene realizando el monitoreo sísmico de los volcanes activos. Este trabajo se inició a raíz de la crisis del volcán Ubinas (2006). Desde entonces el OVI ha realizado campañas temporales de monitoreo sísmico en los principales volcanes en el sur del Perú (Ubinas, Misti, Sabancaya, Coropuna, Tutupaca y Ticsani). Asimismo, desde el 2013, ha implementado el monitoreo sísmico en tiempo real de los volcanes Misti, Ubinas y Sabancaya.

Equipos sísmicos del ovi

El OVI, con la finalidad de realizar el Monitoreo Sísmico, ha adquirido 16 sensores sísmicos de banda ancha, los cuales fueron adquiridos paulatinamente desde el año 2007 (Tabla 4 y Figura 53), con los cuales son monitoreados los volcanes Misti, Ubinas, Sabancaya y Tutupaca.

Equipo	Cantidad	Marca	Modelo	Adquisición	Año
Sismómetro	2	GURALP	CMG - 6TD	COMPRA	2007
Sismómetro	4	SARA	SI06	COMPRA	2007
Sismómetro	4	GURALP	CMG - 6TD	COMPRA	2007
Sismómetro	6	GURALP	CMG - 6TD	COMPRA	2007

Tabla 4. Equipos sísmicos con los que cuenta el Observatorio Vulcanológico de INGEMMET (OVI)

Figura 53 Imágenes de sensores de banda ancha marca GURALP, modelo CMG-&TD (a) y de periodo corto marca SARA, modelo SLO6.

▲MONITOREO SÍSMICO DE VOLCANES DURANTE EL 2014 ►

En el presente año el OVI se encuentra monitoreando de forma permanente y en tiempo real los volcanes Misti y Ubinas, y de manera temporal los volcanes Sabancaya y Tutupaca, en cuales se han instalado 11 estaciones sísmicas, como se describe en el Tabla 5.

Debido a la crisis actual del volcán Ubinas, que se inició en febrero del 2014, se densificó la red sísmica en este volcán con la instalación de siete sensores sísmicos de banda ancha marca Guralp CMG-6TD, de las cuales una estación transmite información en tiempo real (UBNO2). Por otro lado, debido al alto grado de exposición que se encuentra la población de Arequipa frente a una reactivación del Misti, el 2013 se instaló una estación sísmica (MSTOI) con transmisión en tiempo real para el monitoreo permanente de dicho volcán.

VOLCÁN	N° DE EQUIPOS INSTALADOS						
	GURALP	SARA					
Ubinas	7	-					
Misti	1	-					
Sabancaya	1	1					
Tutupaca	1	-					

Tabla 5. Distribución de los equipos sísmicos del OVI

Figura 54. Redes de monitoreo sísmico en los volcanes Ubinas, Misti, Sabancaya y Tutupaca.

TRABAJOS REALIZADOS DESDE EL 2006

A partir de la crisis del volcán Ubinas en el año 2006, el INGEMMET viene monitoreando los principales volcanes activos en el sur del Perú a través de campañas sísmicas temporales. A continuación se detallan los trabajos realizados:

2006: Monitoreo del volcán Ubinas (periodo abril – junio y noviembre 2006). Se instalaron tres estaciones sísmicas temporales en cooperación con el IG-UNSA. Resultados: Registros de sismos de tipo Largo Periodo (LP), explosiones y tremores.

2008: Monitoreo del volcán Ubinas (periodo del 22 de abril al 16 de mayo del 2008). Se instalaron dos estaciones sísmicas (UBII y UBI2) en los flancos norte y sur del volcán por un periodo de 25 días. Resultados: Se registraron predominantemente sismos de tipo LP.

de fases claras, localizadas a profundidades menores de 15 km y magnitudes de duración entre 0.1 y 1.0 Md, los cuales se distribuyen en dirección NE–S0 (Figura 55).

2009–2010: Monitoreo del volcán Sabancaya (periodo 2009–2010). Se instalaron seis estaciones sísmicas de marzo a abril del 2010. Resultados: Los sismos localizados se distribuyen al Norte y NNO del volcán Hualca Hualca y mínimamente en el Sabancaya, con magnitudes entre 0.4 y 1.9 Md, a profundidades menores a 14.5 km (Figura 56).

2010: Monitoreo del volcán Huaynaputina (periodo abril – octubre 2010). Se instalaron seis estaciones sísmicas del 15 de abril al 30 de octubre del 2010. Resultados: Se registró una actividad moderada con arribos claros de ondas P y S, localizados a profundidades menores a 9 km distribuidos al NO, S y SO del cráter del volcán.

Figura 55. Análisis frecuencial de los sismos registrados en la estación DOMO (6718) en el volcán Ticsani. Registro del 16 de octubre del 2008, a las 05:40 GMT. 2. A) Distribución en superficie de los sismos localizados con el programa SEISAN.

2008: Monitoreo del volcán Coropuna (periodo 22 de octubre al 24 de noviembre del 2008). Se instalaron tres estaciones sísmicas (Viraco, Jallua y Maucallacta) por un periodo de un mes. Resultados: Los sismos registrados tienen una diferencia de arribo de ondas S–P menores a 1.5 segundos, ligados a una sismicidad local, no mayor a 9 km y los epicentros se localizan en los alrededores del volcán.

2008 – 2009: Monitoreo del volcán Ticsani (periodo abril y agosto 2008 – febrero del 2009). Se instalaron seis estaciones sísmicas en cooperación con el Proyecto Europeo "Volcanoes Understanding Subsurface Mass Movemment (VOLUME)". Resultados: intensa actividad sísmica con sismos **2010-2012** Monitoreo del volcán Misti (periodo noviembre 2010 – abril 2012). Se instalaron cinco estaciones sísmicas. Resultados: Se han identificado tres familias de sismos volcanotectónicos.

2013: Monitoreo del volcán Ubinas (periodo: 24 de junio al 4 de julio de 2013). Se instaló una estación sísmica de banda ancha (UNO6), para transmisión de datos en tiempo real. Resultados. Se identificaron dos tipos de sismos: volcanotectónicos tipo B (7) y sismos de Largo Periodo (12) asimismo, se realizió el análisis de ruido símico donde se calculó el periodo predominante (TO) de 0.34 segundos, lo que corresponde a capas pobremente consolidadas (depósito de avalancha de escombros) de 119 m de espesor, aproximadamente.

Figura 56. Distribución en superficie (a) y en profundidad (b) de 150 sismos localizados en el volcán Sabancaya por la RSTS en el 2009.

2013: Monitoreo del volcán Ubinas (periodo: 01–07 de septiembre del 2013). Se realizó el análisis de 7 explosiones ocurridas en el mes de septiembre. Resultados: Se identificaron 4 tipos de explosiones, siendo la primera explosión la de mayor energía.

2013 – 2014: Monitoreo del volcán Sabancaya. Se instaló una estación sísmica periódica el 22 de febrero del 2013. Debido al incremento de la actividad sísmica, se instaló otra estación sísmica "SAMI" con transmisión en tiempo real (día 19 de marzo) y en julio se instaló una estación de referencia "SABHUA". Actualmente, la red de monitoreo del volcán Sabancaya está conformada por dos estaciones MACA y SABO6. Dichas estaciones están ubicadas a 19 y 8 km de distancia, respectivamente con respecto al cráter del volcán. Resultados. El análisis de las señales sísmicas se realizó con datos de la estación sísmica "SABO6" registrados entre el 16 de diciembre y 28 de enero (Figura 57).

2014: Monitoreo del volcán Ubinas. Se realiza el análisis de las señales sísmicas de manera diaria, con la finalidad de vigilar la actividad del volcán. Resultados: Se reporta diariamente la actividad sísmica del volcán, los cuales evidencian el estado actual de actividad del volcán. Estos reportes son transmitidos a las autoridades pertinentes de los gobiernos regionales de Moquegua y Arequipa, autoridades de Defensa Civil, etc. La actividad predomínate de este volcán está conformada por eventos de tipo LP, Tremores, Hibridos y Exhalaciones, propios de un volcán en proceso eruptivo.

2014: Monitoreo del volcán Misti. Se analizan las señales sísmicas de manera diaria. Resultados: Se presentan reportes diarios de la actividad sísmica del volcán, los cuales evidencian el estado actual de actividad del volcán y son emitidos a las autoridades pertinentes de defensa civil. Su actividad predominante está dominada por sismos de tipo VT y LP en menor cantidad.

PERSPECTIVAS FUTURAS

Siendo el monitoreo sísmico uno de los métodos más eficientes de monitoreo volcánico, se pretende implementar una Red Sísmica permanente conformada por cuatro estaciones con transmisión en tiempo real en los volcanes Ubinas, Misti y Sabancaya.

◆TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA EN LOS VOLCANES

El estudio de volcanes con métodos geofísicos está orientado al conocimiento de la estructura interna del volcán y a su dinámica interna. La tomografía eléctrica combina los métodos geo-eléctricos (potencial espontaneo y resistividad) con mediciones de temperatura y gas del suelo con el objeto de obtener mejores resultados.

El potencial espontáneo (SP) es un método geofísico de campo natural, consiste en medir la diferencia del potencial natural (mV), entre dos puntos sobre la superficie del suelo. En un ambiente volcánico, la señal de SP se genera por el acoplamiento electro-cinético (AE). Así, un AE negativo

Figura 58. Modelo de generación de la señal SP en un volcán activo.

asociado al arrastre de cationes y aniones, producto de la infiltración del agua meteórica hacia la napa acuífera (zona hidrogeológica) está presente en los flancos inferiores del volcán; y un AE positivo, producto del arrastre de aniones y cationes por ascenso de fluidos a través medios porosos, desde las zonas calientes del volcán (magma) hacia la superficie (zona hidrotermal), está presente en las zonas altas del edificio volcánico (Figura 58). Este AE positivo y negativo es regulado en superficie por la presencia de secuencias litológicas que actúan como material permeable y/o impermeable respectivamente.

El material empleado en el SP consta de dos electrodos de cobre impolarizable, sumergido en una solución saturada de CuSO4, OI voltímetro de gran impedancia y 300 m de cable de cobre (Figura 59). Adicionalmente se emplea OI GPS de mano, una libreta de campo y radio-transmisores.

Para las mediciones de campo, es necesario al menos dos personas. El primero se ubica en el punto de partida con el electrodo fijo, el segundo, avanza portando el cable y haciendo las mediciones con el electrodo móvil y el voltímetro a la distancia correspondiente (Figura 60). Las mediciones se realizan por simple contacto entre los electrodos y el suelo, sin embargo, para mejorar este contacto, se hace un hoyo de aproximadamente 15 cm en el suelo a fin de lograr cierta humedad natural y mejorar el contacto. Al terminarse la longitud del cable, se rebobina, se recupera el electrodo fijo y se inicia un nuevo tramo. Para efectos de corrección por error de offset, se realizan mediciones en circuitos cerrados.Mediciones de SP en el volcán Ticsani

Figura 59. Equipo de medición de Potencial Espontáneo.

Figura 60. Mediciones de Potencial Espontáneo.

Con el objeto de hacer un estudio electro-estructural del volcán Ticsani, entre los años 2009 y 2012, se realizaron un total de 5846 mediciones de SP distribuidos en 16 perfiles radiales y un perfil periférico. Estas mediciones de SP tuvieron una frecuencia de muestreo de 50 m en el perfil periférico y 25 m en los perfiles radiales; acumulando un total de 175 km lineales.

El análisis de los datos SP del volcán Ticsani ha permitido identificar una anomalía principal Al, que delimita el sistema hidrotermal del sistema hidrogeológico del volcán Ticsani (Figura 61). Esta anomalía está ubicada entre los 4500 y 5000 msnm y tiene una amplitud de ~4.5 V. Por otro lado, en el perfil periférico se han identificado 09 anomalías (a, b, c, d, e, f, g, h, i). las cuales estarían asociadas a zonas de afloramiento de agua, borde de una antigua caldera y fugas en canales de riego (Figura 62).

Figura 61. Anomalía A1 alrededor del volcán Ticsani. La zona amarilla corresponde a valores bajos de potencial espontaneo expresado en milivottios (mV) que sugiere una zona de circulación de fluidos volcánicos, mientras que la zona roja corresponde a una zona de circulación solo de agua subterránea.

Las estructuras de debilidad, tales como fallas, contactos, bordes de calderas, etc., generalmente ocultas a simple vista en la superficie del volcán, actúan como conductores de temperatura y gases volcánicos provenientes del interior del volcán. En este sentido, en un edificio volcánico, las mediciones de SP se realizan simultáneamente con mediciones CO2 y temperatura del suelo (Figura 63).

Mediciones de SP en el volcán Ubinas

Entre el 16 al 30 de noviembre de 2014 se realizó un trabajo interinstitucional entre el INGEMMET, IGP, la ONG francesa VEA y el Gobierno Regional de Moquegua. Este trabajo que tuvo como objetivo principal el conocer la ubicación y naturaleza de una anomalía electro-estructural ubicada en el sector norte del volcán Ubinas (Gonzales, 2001), se desarrolló con éxito, superando las expectativas planteadas inicialmente.

Como resultado del trabajo de campo se obtuvo más de 2500 mediciones de SP con una frecuencia de muestreo de 20 m, lo que hace un total de

Figura 63. Mediciones de CO2 en el volcán Ticsani

50 km lineales. Asimismo, se realizaron 719 mediciones de concentración de CO_2 y temperatura del suelo (Figura 64). Por otro lado, en la caldera del volcán Ubinas, se realizaron cerca de 250 mediciones de SP y 30 mediciones de CO_2 y 199 mediciones de temperatura del suelo. Finalmente, con el afán de fortalecer la cooperación interinstitucional, la

ONG francesa VEA donó al INGEMMET un equipo de medición de gases CO_2 .

Figura 64. Mediciones de SP en el sector norte del volcán Ubinas. La zona amarilla corresponde a la zona de bajos valores de potencial espontaneo expresado en milivoltios (mV), que sugiere una zona de mayor circulación de fluidos volcánicos. Los números (2-10) corresponden a nuevos perfiles realizados el 2013.

el cual será empleado en futuros trabajos de investigación de esta naturaleza.

Perspectivas futuras

Sobre la experiencia de las mediciones combinadas de potencial espontáneo y CO₂ y termometría, se está planteando un ambicioso proyecto de tomografía eléctrica en el volcán Sabancaya, que se ampliará hacia el volcán Ampato y al nevado Hualca Hualca. Este proyecto que se desarrollará entre los años 2014–2016 nos permitirá conocer la estructura interna de estos edifícios volcánicos y su relación con la sismicidad de la zona.

ACCIONES DE EDUCACIÓN, DIFUSIÓN Y SENSIBILIZACIÓN PARA REDUCIR EL RIESGO DE DESASTRES EN EL SUR DE PERÚ►

El Observatorio Vulcanológico del INGEMMET (IVI), viene implementando acciones de educación, difusión y sensibilización, en el denominado Proyecto Comunicación con Comunidades (COM COM), con el fin de reducir el riesgo de desastres de origen volcánico en las ciudades y poblados localizados en áreas aledañas a los volcanes activos en el sur del Perú. A continuación se presenta un resumen de las principales actividades.

EN LA CIUDAD DE AREQUIPA

Desde el año 2006 se vienen realizado varios trabajos de educación y difusión. Uno de los insumos importantes para la

región Arequipa, ha sido el mapa de peligros del volcán Misti, confeccionado por el INGEMMET, que sirve como herramienta para el ordenamiento territorial, la elaboración de planes de desarrollo, así como para acciones de prevención y mitigación de desastres de origen volcánico en Arequipa. Se imprimieron más de 3500 ejemplares los cuales fueron distribuidos a muchas instituciones locales. De manera paralela se organizaron charlas y talleres a fin de explicar su utilidad y significado. También se difundió la utilidad el mapa de peligros a través de los medios de comunicación, tales como prensa escrita y televisión, y en actos culturales.

(Figuras 65 al 68).

Figura 65. Entrega del mapa de peligros al Presidente del Gobierno Regional de Arequipa, Dr. Juan Manuel Guillén (2008).

Figura 67. Stand del INGEMMET durante campaña de sensibilización para reducir el riesgo de desastres en Arequipa (2011).

Figura 66. Stand del INGEMMET durante campaña de sensibilización para reducir el riesgo de desastres en Arequipa (2011).

Figura 68. Campaña de sensibilización con carro alegórico e información del mapa de peligros del volcán Misti (agosto 2010).

Acciones de educación y difusión en Instituciones Educativas de Arequipa

Uno de los aspectos más importantes para construir una cultura de prevención en una sociedad, pasa necesariamente por implementar acciones de educación y difusión con los jóvenes y niños. Por esta razón una de las primeras acciones fue entregar más de 1000 mapas de peligros del volcán Misti a los Directores de las Instituciones Educativas (IE) de Arequipa.

Por otro lado se escogieron alrededor de 10 IE para desarrollar charlas y talleres geocientíficos pilotos (Figuras 69, 70 y 71). Luego de las charlas se organizaron concursos de dibujo, con la temática de los riesgos volcánicos. Los mejores trabajos fueron seleccionados para elaborar calendarios los años 2007, 2008, 2009, 2011 y 2012 (Figura 72).

Figura 69. Mapa de peligros del volcán Misti expuesto en la IE María Auxiliadora. 30/11/2012.

Figura 70. Explicación del significado del mapa de peligros del volcán Misti, a estudiantes de la IE Calienes. 24/06/2011.

Figura 71. Escolares de la IE Alfred Binnet elaboran maquetas de volcanes. De esta forma aprende sobre los peligros volcánicos. 15/07/2011.

Figura 72. Calendario 2011, en base al concurso de dibujo en la 1E Wolfgang. Amadeus Mozart del distrito de JL. Bustamante y Rivero.

◆FOROS INTERNACIONALES DE PELIGROS VOLCÁNICOS Y GEOLÓGICOS►

Figura 73. Ceremonia de inauguración del Foro. Participan en la Mesa de Honor, la Ing. Susana Vilca Achata, Presidente del Consejo Directivo del INGEMMET, el Dr. Abel Tapia Fernández, Rector de la Universidad Católica de Santa María de Arequipa, el Dr. Hugo Delgado Granados, Vice-Presidente de la IAVCB y el Ing. José Vasques Allasi, representante de la Municipalidad Provincial de Arequipa.

El INGEMMET, a través del OVI organizó foros cuyo objetivo fue crear un espacio de discusión y análisis sobre estos fenómenos, con el fin de educar y sensibilizar a las autoridades, dirigentes comunales, maestros, estudiantes y a la población en general, sobre los peligros geológicos que afectan a la región sur de Perú. En dichos foros participaron diversos investigadores internacionales quienes transmitieron sus trabajos y experiencias vividas en otros países, sobre el manejo de crisis volcánicas y sísmicas, ocurrencia de tsunamis, sistemas de vigilancia volcánica y sísmica, además del impacto de erupciones volcánicas y sismos, en el medio ambiente y la sociedad.

Entre los años 2005 y 2013 se han organizado seis foros internacionales, cuatro en la ciudad de Arequipa y dos en la ciudad de Moquegua.

EL último foro realizado denominado: "Foro Internacional de Peligros Geológicos: Volcanes, Sismos y Movimientos en Masa 2013, se llevó acabo en Arequipa, entre los días 14 al 16 de octubre 2013. El foro incluyó tres sesiones: a) investigaciones geocientíficas, b) prevención y reducción del riesgo, c) preparación, respuesta y rehabilitación. En el Foro en total se expusieron 54 trabajos, de los cuales 42 trabajos se presentaron en forma oral y 12 posters. También se tuvieron cuatro Charlas Magistrales, así como una Mesa Redonda, titulada "La Gestión del Riesgo de Desastres". Se contó con expositores, provenientes de EEUU, Francia, España, Alemania, México, Argentina, Chile, Costa Rica, Nicaragua y Perú. Asistieron al evento 552 personas (Figuras 73 y 74).

FORO INTERNACIONAL **PELIGROS GEOLÓGICOS**

Figura 74. Exposiciones de los trabajos en el Foro, se contó con 552 participantes.

ORGANIZACIÓN DE FOROS INTERNACIONALES

FOROS	TITULO DEL FORO	LUGAR	FECHA	EXPOSITORES EXTRANJEROS	EXPOSITORES NACIONALES	ASISTENTES
I FORO	Los peligros volcánicos: evaluación, zonificación, Vigilancia y planes de mitigación	Aula Magna Simón Bolívar de la UNSA, Arequipa	22 y 23 de Julio del 2005	(2) USA (1) México (1) Francia	(10) de Lima y Arequipa	350 asistentes
II FORO	"Los Peligros Volcánicos en el Sur del Perú" ¿Cómo Enfrentarlos?	Aula Magna Simón Bolívar de la UNSA, Arequipa	13 y 14 de julio del 2006	(2) Francia (1) México (1) Colombia (1) USA	(17) de Lima Moquegua y Arequipa	250 asistentes
III FORO	"Peligro Volcánico en el Sur del Perú" ¿cómo evitar un desastre?	Auditorio Simón Bolívar en Moquegua	19 y 20 de julio del 2007	(3) México (2) Francia (3) USA	(17) de Lima Moquegua y Arequipa	450 asistentes
IV FORO	"Peligro Volcánico y Sísmico en el Sur del Perú" Evitemos un desastre	Auditorio Simón Bolívar en Moquegua	09, 10 y 11 de julio del 2008	(2) Francia(3) Chile(1) México(1) Argentina(2) Colombia	(25) de Lima, Callao, Moquegua y Arequipa	500 asistentes
V FORO	"Peligro volcánico y sísmico en el Sur del Perú"	Aula Magna Simón Bolívar de la UNSA, Arequipa	23 y 24 de setiembr e del 2010	 (2) Francia (1) México (4) Chile (1) Costa Rica (1) Argentina (1) Colombia (1) Canadá 	(14) de Lima, Callao, Moquegua y Arequipa	550 asistentes
VI FORO	"Foro Internacional de Peligros Geológicos: Volcanes, Sismos y Movimientos en Masa"	Auditorio Pabellón de la Universidad Católica de Santa María. Arequipa	14, 15 y 16 de octubre del 2013	 (3) Argentina (1) Chile (1) Costa Rica (1) Ecuador (7) España (2) Francia (1) México (1) Nicaragua (1) U.S.A. 	 (5) Arequipa (1) Apurímac (2) Cusco (11) Lima (1) Moquegua (1) Piura (1) Puno (1) Tacna 	550 asistentes
TOTAL	DE ASISTENTES			55	106	2650

Tabla Nº 6. Cuadro resumen de la organización de foros internacionales

51

◆ASESORAMIENTO A LAS AUTORIDADES EN LA REALIZACIÓN DE EVACUACIÓN POR ERUPCIÓN VOLCÁNICA DEL MISTI AREQUIPA 2009 - 2010 ►

Los simulacros de evacuación, son ejercicios de prevención que tienen como objetivo establecer preparativos y atención de situaciones de emergencia a causa de una posible erupción; diseñando para ello mecanismos de organización, coordinación y concertación de acciones que favorezcan la reducción de los efectos adversos, y que a su vez permita un trabajo conjunto de las instituciones científicas, los Comités de Defensa Civil y población expuesta al riesgo.

El ler Simulacro de evacuación se desarrolló en el Distrito de Alto Selva Alegre el año 2009 (Figura 75) y el 2do simulacro fue organizado por la Municipalidad Distrital de Miraflores el 2010 (Figura 76). El Observatorio Vulcanológico del INGEMMET participó de la siguiente manera:

- Proporción de información acerca de la geología y evaluación de peligros (incluido escenarios eruptivos) del volcán Misti.
- Asesoramiento técnico en la elaboración de los planes de contingencia y planes de evacuación.
- Capacitación sobre los peligros volcánicos y sus efectos en la sociedad y el medio ambiente.
- Asesoramiento en la identificación de rutas de evacuación óptimas y seguras a nivel distrital y provincial, además de los puntos de embarque y el refugio.

Elaboración de materiales de difusión, tales como cuadernillos, afiches y trípticos.

SALA DE RIESGO VOLCÁNICO EN EL CENTRO DE SENSIBILIZACIÓN PARA LA GESTIÓN

El 2011 se inauguró el Centro de Sensibilización Para la Gestión de Riesgos (Figura 77), proyecto ejecutado por el INDECI-Arequipa.

Este centro -el primero en su género en el país, está conformado por salas temáticas de riesgo sísmico, volcánico, tsunamis, cambio climático, incendios, sistemas de comunicaciones en caso de desastre, entre otros. Anualmente viene recibiendo cerca de 4 mil visitantes.

Al interior de este Centro de Sensibilización existe la Sala de Riesgo Volcánico que ha sido implementada por el INGEMMET, la ONG VEA y el INDECI. En esta sala se muestra una maqueta con las estructuras interna de un volcán, incluida su columna eruptiva; una maqueta del volcán Misti con la ciudad de Arequipa y que incluye la zonificación de los peligros volcánicos; cinco posters explicativos sobre el origen de los volcanes, tipos de volcanes, tipos de peligros volcánicos, volcanes activos del Perú y métodos de vigilancia de volcanes (Figuras 77 al 79).

Figura 77. Maqueta donde se representa la estructura interna de un volcán, así como la columna eruptiva. Contiene una leyenda explicativa de las partes del volcán.

Figura 78. Congresistas de la República, miembros de la Comisión de Defensa, acompañados del Jefe Nacional del INDECI, reciben explicación de personal del INGEMMET sobre lo expuesto en la Sala de Riesgo Volcánico.

Figura 79. Escolares observan la maqueta del volcán Misti, la ciudad de Arequipa y el mapa de peligros volcánicos.

53

RESULTADOS INICIALES EN LA REDUCCIÓN DEL RIESGO VOLCÁNICO EN AREQUIPA

Las acciones de Com Com implementadas en Arequipa entre el año 2006 y 2014, han generado importantes y alentadores resultados en la reducción del riesgo volcánico en la ciudad de Arequipa. Los avances más importantes son:

- Cambio en la percepción de la población y autoridades sobre el riesgo volcánico.
- Participación de la población para hacer frente a una posible erupción del volcán Misti.
- Incorporación del mapa de peligros del volcán Misti, por parte de las autoridades, en el ordenamiento territorial y planes de desarrollo de la ciudad.
- Emisión de la Ordenanza Municipal № 658 (2010), por parte de la Municipalidad Provincial de Arequipa la), a

través de la cual dispone que el Mapa de Peligros del volcán Misti, elaborado por el INGEMMET, sea considerado como "Documento Oficial de Gestión" y de "uso obligatorio en la implementación del ordenamiento territorial y planificación del desarrollo de la ciudad de Arequipa".

- Emisiones de las Ordenanza Municipales, en los distritos de Alto Selva Alegre (N° 201–2007/MDASA) y Miraflores (N 070–MDM–2008), para mitigar la expansión urbana hacia zonas de alto peligro volcánico.
- Implementación de un sistema de alerta temprana para el caso de la ocurrencia de lahares en la cuenca media del río Chili, además de simulacro de evacuación por inundación con la población que habita en la cuenca media del río Chili.

TRABAJOS DESARROLLADOS EN EL VALLE DEL COLCA

El valle del Colca posee una singular belleza paisajística, por ello es uno de los principales destinos turísticos del Perú. Sin embargo varios de sus atractivos vienen siendo afectados por peligros geológicos. Para mitigar los riesgos, el INGEMMET viene propiciando un acercamiento con los pobladores del valle.

Por tal razón, desde el año 2009 se inició el proceso de educación y difusión sobre los peligros geológicos, brindando charlas de capacitación y organizando talleres con autoridades, maestros y escolares, en los pueblos de Maca, Achoma, Madrigal, Chivay, Cabanaconde y Lari (Figuras 80 al 83). Este trabajo se vino desarrollando hasta el año 2013, durante este último año se mostró las características y significado del mapa de peligros del complejo volcánico Ampato-Sabancaya, recientemente elaborado por el INGEMMET.

Figura 80. Talleres geocientíficos con escolares del nivel primario de Maca

Figura 82. Talleres geocientíficos con escolares del nivel secundario de Achoma

Figura 81. Calendario 2012 con los mejores trabajos en base al concurso de dibujo en Maca.

Figura 83. Mapa de peligros del volcán Sabancaya en el Banco de la Nación de Chivay.

TRABAJOS DESARROLLADOS EN EL VALLE DEL COLCA

A solicitud de la Directora de la UGEL Caylloma, en el año 2013 se dictaron dos talleres de capacitación a los docentes del valle del Colca. En estos talleres se trataron los siguientes temas: formación de la tierra, geología general, peligros sísmico, volcánico y remoción en masa, gestión de riesgos de desastres, beneficios de los volcanes. En total en los talleres participaron 80 docentes y los talleres tuvieron una duración de 4 horas (Figura 85).

Figura 84. Capacitación a docentes de la UGEL Caylloma con participación de directivos de la Dirección Regional de Educaciór

TRABAJOS DESARROLLADOS EN LA REGIÓN TACNA

Entre el 2012 y 2013 se realizaron acciones de educación y difusión en la provincia de Candarave, especialmente en los poblados aledaños a los volcanes Tutupaca y Yucamane. Estas acciones incluyeron el dictado de charlas al personal del centro de Salud de Candarave; talleres geocientíficos para escolares y maestros en Candarave, Yucamane, Huanuara, Santa Cruz, Patapatani, entre otros (Figura 85 y 86).

COOPERACIÓN TÉCNICA Y CIENTÍFICA DEL OVI

La cooperación técnico-científica tiene una gran importancia desde el punto de vista de recepción científica y tecnológica en la operación del OVI. Uno de los resultados es la capacitación de profesionales en diversas áreas de volcanología, geofísica y geoquímica. Asimismo, los sistemas de monitoreo que viene implementando el OVI sobre los volcanes activos, así como los resultados de las investigaciones vulcanológicas, cuyos productos son los mapas de peligros, son fruto de un trabajo conjunto con diversas instituciones del Perú y del extranjero. Actualmente contarnos con convenios de cooperación con las siguientes instituciones:

- Instituto de Investigación para el Desarrollo de Francia (IRD)
- Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
- Universidad Complutense de Madrid
- Volcan Explor Action (VEA–Francia)
- Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa (UNSA)
- Gobierno Regional de Arequipa
- Gobierno Regional de Moquegua
- Municipalidad Provincial de Arequipa

Los resultados más importantes son:

a) Capacitación y formación profesional

- 01 Doctorado concluido
- 02 Doctorados en curso
- 03 Maestría concluidas (Master PREFALC)
- 02 Maestrías en curso

b) Estudios geológicos y mapas

Estudio geológico y evaluación de peligros de los volcanes Misti, Ubinas, Sabancaya, Ampato, Ticsani, Yucamane y Tutupaca.

Mapas de peligros de los volcanes Misti, Ubinas, Sabancaya-Ampato, Yucamane y Tutupaca.

c) Monitoreo

Préstamo o donación de equipos para el monitoreo volcánico, tales como GPS Diferencial, Estación Total, registradores de temperatura, equipos para medición de flujo de gases volcánicos (Mini DOAS), sismógrafos, entre otros.

d) Laboratorio

Análisis químicos de más de 400 muestras de productos volcánicos Análisis isotópicos de productos volcánicos Más de 20 dataciones radiométricas 40K/40Ar

BIBLIOGRAFÍA

Bellot, N. (2011) – Modelamiento de lahares en los volcanes Sabancaya y Ubinas (Sur Perú), informe inédito. Arequipa: IRD, INGEMMET, 28 p. (disponible en Ingemmet – DGAR Arequipa).

Cobeñas, G., Thouret, J-C., Bonadona, C. & Boivin, P. (2012) - The c.2030 yr BP Plinian eruption of El Misti volcano, Peru: Eruption dynamics and hazard implications. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 241-242: 105-120.

De La Cruz, N. & De la Cruz O. (2002) - Mapa geológico del cuadrángulo de Tarata, a escala 1/50000, INGEMMET.

Fidel, L. & Zavala, B. (2001) – Mapa Preliminar de Amenaza Volcánica Potencial del Volcán Tutupaca. INGEMMET, Boletín N 24, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica, 96 p.

France, L., (1985) – Geochronology, stratigraphy, and petrochemistry of the Upper Tertiary volcanic Arc, Southernmost Peru, central Andes". Diss., Queen's University, Kingston, Ontario, Canada.

Harpel, C.J., de Silva, S. & Salas, G. (2011) - The 2 ka Eruption of Misti Volcano, Southern Peru–The Most Recent Plinian Eruption of Arequipa's Iconic Volcano. Geological Society of America Special Paper 484.

Ingemmet-Electroperu (1994) - Estudio geovolcánico e inventario sistemático de manifestaciones geotermales del lote Tutupaca. INGEMMET, Lima, t. I-3. Informe Interno.

Juvigné, E; Thouret, J.-C; Gilot, E; Leclercq, L. & Gourgaud, A. (1998) - L'activité du volcan Nevado Sabancaya (Pérou) au cours de l'Holocène. Quaternaire, 9(1): 45-51.

Mariño, J., Samaniego, P., Rivera, P., Bellot, N., Manrique, N., Macedo, L., Valderrama, P., Delgado, R. (2012) – Mapa de peligros del complejo volcánico Ampato-Sabancaya. En: Congreso Peruano de Geología, 16, Lima 2012, Resúmenes extendidos. Lima: Sociedad Geológica del Perú, t. 1.

Manrique N. (2013). Evolución vulcanológica del edificio Tutupaca reciente del complejo volcánico Tutupaca. Tesis Ing. Geólogo, Universidad Nacional de San Agustin, Arequipa. 128 p.

Rivera, M., Mariño, J., Samaniego, P. Delgado, R., Manrique, N. (2014) – Geología y evaluación de peligros del complejo volcánico Ampato-Sabancaya. INGEMMET, en prensa, Serie C Geodinámica e Ingeniería Geológica, 188 p.

Thouret, J.C.; Dávila, J. & Eissen, J.P. (1999) - Largest explosive eruption in historical times in the Andes at Huaynaputina volcano, A.D. 1600, southern Peru. Geology, 27(5): 435-438.

VALDIVIA, Juan Gualberto. 1847 Fragmentos para la Historia de Arequipa extractados de varios autores y manuscritos antiguos y modernos y de las narraciones de los contemporáneos. Imprenta Mariano H. Moreno, Arequipa.

BREVE GLOSARIO VULCANOLÓGICO

BLOQUES O BOMBAS. Fragmentos de lava de tamaño superior a 64 mm, arrojados por una erupción volcánica.

CALDERA. Gran depresión de origen volcánico, generalmente de forma circular o elíptica, cuyo diámetro puede tener decenas de kilómetros, formada por grandes erupciones volcánicas.

CÁMARA MAGMÁTICA. Es la zona donde se produce y almacena el magma y que posteriormente es expulsado a la superficie. La cámara magmática se comunica con el cráter del volcán a través de un conducto conocido como chimenea.

CENIZA VOLCÁNICA. Fragmentos de roca de origen volcánico de tamaño menor a 2 mm expulsados a la atmósfera durante erupciones explosivas.

COLUMNA ERUPTIVA. Se forma durante las erupciones explosivas. Está constituida por grandes cantidades de gases calientes, ceniza, fragmentos líticos, pómez (o escoria), de distintos tamaños.

CRÁTER. Abertura situada en la superficie terrestre, por donde el volcán expulsa los materiales volcánicos durante una erupción. Normalmente posee forma circular, con un diámetro de menos de 2 km.

ERUPCIÓN EXPLOSIVA. Se produce cuando el magma que asciende a la superficie acumula más presión de la que puede liberar. Las burbujas en su interior crecen, el magma se fragmenta y los productos volcánicos son expulsados violentamente. Estas erupciones son frecuentes en volcanes con alto contenido de gases, o cuando se produce una interacción del magma con agua meteórica.

ERUPCIÓN VOLCÁNICA. Es el producto del ascenso del magma y su posterior expulsión sobre la superficie de la Tierra. Los materiales pueden ser arrojados con distintos grados de violencia, dependiendo de la composición química del magma, la cantidad de gases y en algunos casos por la interacción del magma con el agua.

FUMAROLA. Emanación de gases y vapor de agua, generalmente a altas temperaturas, que sale de fracturas o grietas de la superficie de un volcán. La mayor parte de los gases emitidos son vapor de agua; sin embargo, se encuentran otros gases como CO₂, CO, SO₂, H₂S, CH₄, HCl, etc.

ÍNDICE DE EXPLOSIVIDAD VOLCÁNICA (IEV). Es una escala para describir el tamaño de las erupciones volcánicas y se basa, entre otros factores, en el volumen de material emitido y la altura de la columna eruptiva. La escala IEV varía entre 0 y 8. Una erupción con un IEV de 0 denota una erupción no explosiva, sin importar el volumen de productos emitidos. Las erupciones con un IEV de 5 o más son consideradas «muy grandes» y ocurren raramente alrededor del planeta (alrededor de una erupción cada década). La erupción del volcán Ubinas entre los años 2006 y 2009 tuvo un IEV 2.

LAPILLI. Fragmento de roca volcánica de tamaño comprendido entre 2 y 64 mm, emitido durante una erupción explosiva.

LLUVIA ÁCIDA. Mezcla del agua atmosférica con gases magmáticos emitidos durante una erupción volcánica. Estos gases forman ácidos fuertemente corrosivos que caen a la superficie en forma de lluvia.

MAGMA. Roca fundida, en estado líquido o parcialmente líquido en el interior de la Tierra. Los magmas generalmente se forman a profundidades mayores a los 60 km, tienen temperaturas entre 500 y 1200 °C y tienen componentes en estado sólido, líquido y gaseoso. Cuando el magma llega a la superficie y se solidifica, da origen a las rocas volcánicas. Los magmas pueden también enfriarse y solidificarse en el interior de la Tierra, dando origen a las rocas plutónicas.

MONITOREO GEODÉSICO. Consiste en registrar y conocer los procesos de deformación del edificio volcánico. En un volcán, cuando el magma asciende, ejerce una presión desde el interior sobre el edificio volcánico causando su deformación. Para poder cuantificar dicha deformación se utilizan instrumentos de medición adecuados (GPS, EDM, Estación Total, etc.) que miden variaciones en parámetros, tales como longitud, ángulos, elevaciones y coordenadas alrededor del volcán.

MONITORED GEOQUÍMICO. Consiste en registrar y conocer las variaciones de la composición química y de los parámetros físicos-químicos (temperatura, pH, conductividad eléctrica) de las fuentes de agua y fumarolas asociadas a un determinado volcán. Dichas variaciones podrían indicar un incremento de la actividad volcánica y pueden ser precursores de una erupción volcánica.

MONITORED SÍSMICO. Consiste en registrar y conocer la dinámica del volcán, a partir de los diferentes tipos de sismos asociados al fracturamiento de rocas (volcano tectónicos), ascenso, acumulación y traslado de magma, gases y agua (largo periodo, tremor, explosión) que ocurren en el interior del edificio volcánico. El monitoreo sísmico se realiza mediante la instalación de sismómetros sobre y alrededores del edificio volcánico. El incremento y/o disminución de los sismos volcánicos, la forma de su registro y su frecuencia, podrían ser premonitores de una probable actividad eruptiva.

MONITOREO VISUAL. Este tipo de monitoreo es directo y se realiza utilizando videocámaras, binoculares y cámaras fotográficas. Permiten registrar la hora y magnitud cualitativa de las explosiones volcánicas, inicio y duración de las emisiones, altura y dirección de dispersión de la columna eruptiva, entre otros parámetros.

MONITORED VOLCÁNICO. Implementación de técnicas geofísicas, geoquímicas y geodésicas, de forma continua y permanente, que tienen como objetivo detectar oportunamente condiciones anómalas precursoras de un proceso eruptivo, a partir del cual se pueden emitir las alertas tempranas correspondientes, lo que permitirá a la sociedad implementar con antelación planes de evacuación y reducir el impacto negativo de una erupción.

PELIGRO O AMENAZA VOLCÁNICA. Se define como la probabilidad de que alguna manifestación volcánica específica pueda presentarse en un área o región particular del entorno del volcán, en un intervalo de tiempo dado y que puede causar destrucción o daño.

PELIGRO POR AVALANCHAS DE ESCOMBROS. Las avalanchas de escombros son deslizamientos súbitos de una parte voluminosa de los edificios volcánicos. Se

originan debido a factores de inestabilidad, tales como la elevada pendiente del volcán, presencia de fallas, movimientos sísmicos fuertes y explosiones volcánicas. Las avalanchas de escombros ocurren con poca frecuencia y pueden alcanzar decenas de kilómetros de distancia. Bajan a gran velocidad y destruyen todo lo que encuentran a su paso.

PELIGRO POR FLUJOS DE BARRO O LAHARES. Los flujos de barro son mezclas de partículas volcánicas de tamaños diversos movilizados por el agua, que fluyen rápidamente (20–60 km/h). Se generan en periodos de erupción o de tranquilidad volcánica. 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 salir 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 alcanzar grandes distancias, incluso mayores a 200 km.

PELIGRO POR FLUJOS DE LAVA. Los 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, pero en los volcanes peruanos normalmente se enfrían en la zona del cráter (domos) o recorren escasos kilómetros. Los flujos de lava destruyen todo a su paso, sin embargo, no representan un peligro alto para las personas debido a su baja velocidad.

PELIGRO POR FLUJOS PIROCLÁSTICOS. Los flujos piroclásticos son masas calientes (300°C a 800°C), conformadas por una mezcla de ceniza, fragmentos de roca y gases. Estos flujos descienden por los flancos del volcán a ras de la superficie y a grandes velocidades, entre 200 y 300 m/s. Poseen normalmente una parte inferior densa, que se encauza y desplaza por el fondo de las quebradas o valles y otra superior, menos densa, denominada oleada piroclástica, compuesta por una nube turbulenta de gases y ceniza que con facilidad salen del valle, sobrepasan relieves importantes y afectan una mayor área. Estos flujos y oleadas destruyen y calcinan todo lo que encuentran a su paso.

PELIGRO POR GASES VOLCÁNICOS. Durante las erupciones volcánicas se produce una importante liberación de gases, principalmente vapor de agua; pero también 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 las zonas bajas o depresiones muy cercanas al volcán, donde pueden generar intoxicación y muerte de personas y animales. Los gases también pueden condensarse y adherirse a partículas de ceniza, así como reaccionar con las gotas de agua y provocar lluvias ácidas que generan corrosión, daños en los cultivos, así como contaminación de aguas y suelos.

PELIGRO POR LLUVIAS DE CENIZA Y PIEDRA PÓMEZ. Las lluvias de ceniza y piedra pómez 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, mientras que las partículas de menor tamaño son llevadas por el viento a grandes distancias, luego caen y forman una capa de varios milímetros y centímetros de espesor. Estas partículas pueden causar problemas de salud en las personas, contaminar fuentes de agua, causar el colapso de los techos por el peso acumulado, afectar cultivos, interrumpir el tráfico aéreo, entre otros.

PIEDRA PÓMEZ. Roca volcánica de color claro, llena de cavidades que la hacen muy poco densa. Generalmente tiene una composición dacítica a riolítica. Las cavidades se forman por la expansión de los gases volcánicos durante la salida hacia la superficie.

PIROCLASTOS. Fragmentos de roca volcánica fracturada emitidos durante una erupción explosiva. Incluyen piedra pómez, ceniza, escoria y otros fragmentos de roca.

SISMÓGRAFO. Instrumento que sirve para registrar el movimiento del suelo producido por un sismo. El registro obtenido se denomina sismograma. SISMOS ASOCIADOS A EXPLOSIONES. En ellos se distingue una entrada de la onda primaria y una amplitud máxima asociada a la onda sonora. SISMOS HÍBRIDOS. Son una combinación entre un LP u un VT.

SISMOS LARGO PERIODO (LP). Llamados también de baja frecuencia, originados a poca profundidad, mayormente menores a 1 km. Se encuentran asociados a procesos de desgasificación del magma.

SISMOS VOLCANOTECTÓNICOS (VT). Poseen características similares a los de origen tectónico. Tienen frecuencias altas, se pueden diferenciar las fases de la onda primaria (P) y la secundaria (S). Son sismos asociados a rompimiento de rocas o apertura de grietas.

SISMOS VOLCÁNICOS. Sacudidas de la superficie terrestre originadas por el paso de los fluidos dentro del edificio volcánico.

SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA. Conjunto de capacidades necesarias para generar y difundir información de alerta que sea oportuna y significativa, con el fin de permitir que las personas, las comunidades y las organizaciones amenazadas por un peligro se preparen y respondan de forma apropiada y con suficiente tiempo de anticipación para reducir la posibilidad de que se produzcan pérdidas o daños.

TEFRA. Término general que comprende cualquier material sólido emitido durante una erupción volcánica explosiva. Puede ser ceniza, lapilli, bloques y bombas volcánicas, piedra pómez, escoria, entre otros.

TREMOR VOLCÁNICO. Señal sísmica continua y rítmica que generalmente precede o acompaña a las erupciones volcánicas. El tremor volcánico está asociado al movimiento de magma o de otros fluidos magmáticos.

VISCOSIDAD. Medida de la resistencia de un material a fluir en respuesta a un esfuerzo. Mientras más alto sea el contenido de sílice en las lavas, más alta es su viscosidad.

VOLCÁN. Lugar situado sobre la superficie terrestre por donde se produce una expulsión de material magmático, total o parcialmente fundido, formando una acumulación que por lo general toma una forma aproximadamente cónica alrededor del punto de salida. Con el tiempo y a causa de repetidas erupciones, dichas acumulaciones rocosas pueden volverse muy grandes y formar diversos tipos de montañas, también conocidas como volcanes o edificios volcánicos. Por ejemplo, el Misti, el Ubinas y el Chachani.

VOLCÁN ACTIVO. Un volcán se considera activo si ha tenido por lo menos una erupción durante el tiempo histórico (últimos 500 o 600 años), o incluso durante el Holoceno (últimos 10 mil años). Debido a que los procesos volcánicos se dan en la escala del tiempo geológico, el potencial de producir nuevas erupciones es alto.

SEMÁFORO DE ALERTA VOLCÁNICA

El OVI elaboró dos semáforos volcánicos, uno para el volcán Misti y otro para el volcán Ubinas. Este último semáforo (Tabla 6) considera un escenario para erupciones explosivas leves a moderadas (VEI 1-3), similar a Las erupciones históricas presentados por los volcanes Sabancaya y Misti. Este documento es útil para la gestión del riesgo volcánico.

ROJO	Más de 5 km	Caídas considerables de ceniza y lapilli en áreas mayores a 10 km de distancia) Caídas de bloques en áreas aledañas al volcán	Varios centímetros	Más de 3 km del cráter	Lahares de alcance regional	Explosiones grandes y casi continuas	Probable derrumbe o colapso del flanco sur	Desgasificación de SO2 mayores a 5,000 Toneladas por día	Intensas	Frecuentes, de moderado a gran volumen
NARANJA	Hasta 5 km	Caídas moderadas a considerables de ceniza y lapilli fina, en poblaciones cercanas (< 10 km de distancia)	Algunos centímetros	Hasta 3 km del cráter	Lahares de alcance local a regional	Explosiones moderadas y frecuentes (10 a 20 por día)	Eventuales caídas de roca y derrumbes de poco a moderado volumen	Desgasificación de SO2 entre 1000 y 5000 Toneladas por día	Moderadas	Eventualmente de poco volumen y alcance
AMARILLO	Hasta 3 km	Caídas leves a moderadas de cenizas en poblaciones cercanas (< 10 km de distancia)	Milimétrico	Cercanos al cráter, < 2 km	Presencia de pequeños lahares de alcance local	Emisiones permanentes de gases con o sin ceniza, explosiones escasas y/o explosiones leves a moderadas (1 a 10 por día)	Eventuales caídas de roca y derrumbes de poco volumen	Desgasificación de SO2 entre 500 y 1000 Toneladas por día	Leves	No se registran
VERDE	Columna de gases de pocos cientos de metros	No se registra	No se registra	No se registra	Secundarios	No se registra	Eventualmente debido a importante actividad sísmica regional	Desgasificación de SO ₂ menores a 100 Tn por día	No se registra	No se registra
CARACTERÍSTICAS	Altura de columna eruptiva	Alcance de tefras	Espesor de tefras	Alcance de proyectiles balísticos	Lahares	Frecuencia de explosiones, exhalaciones y/o emisiones importantes	Derrumbes y/o avalanchas de escombros	Desgasificación	Lluvias ácidas	Flujos piroclásticos

TIPOS DE PELIGROS VOLCÁNICOS

Carátulas de los últimos boletines **Del ovi**

El semáforo volcánico, es un siste medidas de seguridad pertinentes diferentes niveles de peligro que	ema de alerta oportuno para que l s, es el mecanismo que nos manti presenta la actividad del volcán N	la población t iene informac /listi.	ome las los sobre los	Dirección de Geología Ambiental Grupo de Vulcanología
¿PARA QUE SIRVI Para proteger tu integridad, la de comunidad, el color te indica el n existe en el momento y te ayuda a hacer.	?? tu familia y la de tu ivel de peligro que a recordar lo que debes	El INGEMME las autoridad debe mostra	COMO FUI T vigila perma les de Defens r el semáforo	NCIONA? anentemente el volcán Misti, conjuntamente a Civil determinan el color de alerta volcánic en tu localidad.
SITUACIÓN DEL VOLCÁN	COLOR DE ALERTA	NIVEL	IEV	RECOMENDACIONES A LA POBLACIÓN
El Comité Científico de Ciencia y cnología comunica periódicamente a las utoridades sobre el estado del volcán	Las autoridades de Defensa Civil, comunican a la población el color de alerta volcánica		Índice de Explosividad Volcánica	La población debe mantenerse informada y acata las recomendaciones e indicaciones de las autoridades
El volcán se encuentra en estado de reposo Condiciones estables Emanaciones de gases mayoritariamente vapor de agua. Actividad sísmica de baja intensidad Fumarolas de hasta 500 m de altura	VERDE		0	 Mantenerse informado sobre la actividad de volcán Misti Desarrollar y practicar planes de emergencia Participar en los simulacros de evacuación. Promover la reubicación de infraestructuras en átreas en ato peligro volcánico. Identificar rutas de evacuación, lugares de embarque y albergues
La actividad sísmica local se incrementa Incremento de emanación de fumarolas acompañadas de ruidos. Explosiones leves a moderadas, fragmentos rocosos lanzados alrededor del cráter Caídas de cenizas notorias sobre poblaciones La deformación del volcán en la superficie es casi imperceptible	AMARILLO		1-2	 Mantenerse alerta y obedecer las indicaciones que emitan las autoridades de Defensa Civil Tener reserva de agua potable y cubrir los depósitos Prepara un botiquín con medicinas de uso común y por prescripción médica Tener a la mano DNI, partidas de nacimiento radio de pilas, linterna, llaves de casa y automóviles. Ejecutar simulacros de evacuación Estar preparado para una probable evacuación.
Aumento significativo de la actividad volcánica Incremento de la actividad sismica Aumento de fumarola, incremento de la columna eruptiva mayor a 500m Caidas constantes de ceniza y proyectites balísticos Lluvias ácidas, contaminación de aguas Ocurrencia de flujos de lodos (lahares) Interrupción del tráfico aéreo	NARANJA	UNO	3-4	 Seguir indicaciones de las autoridades y brigadistas de Defensa Civil. Conservar la calma, coloque credenciales de identificación a la familia. La población que pueda evacuar por sus propios medios Hágalo! Si la indicación es evacuar no dude en hacer Si no localiza el albergue, camine hasta un lugar seguro Ejecución del Plan de Contingencia ante erupciones volcánicas
Explosiones grandes que pueden lanzar fragmentos de pómez hasta las poblacio mas cercanas Formación de flujos piroclasticos hasta 1 Km de distancia Formación de grietas en el volcán, olore fuertes Caídas de ceniza, provocando colapsos techos Riesgos graves a la aviación	nes 14 s de	DOS		 Seguir indicaciones de las autoridades y brigadistas de Defensa Civil Si la indicación es evacuar no dude en hacerlo. Diríjase al centro de reunión correspondiente para ser evacuado. Lleve solo lo indispensable Mantenerse informado Ejecución del Plan de Contingencia ante erupciones volcánicas
Actividad volcánica crítica con presencia intensos y prolongados sismos. Peligro inminente de erupción explosiva piroclástos de un diámetro mayor de 20cm. Flujos Piroclásticosque pueden alcanzar distancias mayores a 15 Km de distancia flujos de lavas. Fuertes emisiones de ceniza de gran volcumen, con afectación regional, Iluvia ácidas a gran distancia.	de de ROJO		5 a más	Seguir indicaciones de las autoridades y brigadistas de Defensa Civil Evacuar total de la población a un radio de 30Km del volcán Al llegar al refugio temporal registrate y ubicate en el lugar que se le indique. Mantenga la calma Mantengase continuamente informado sobre la evolución del fenómeno Manteneres informado Manteneres informado

Después de la erupción

Solo las autoridades pueden decirte cuándo será seguro regresar a tu vivienda
Antes de entrar a tu casa verifica las condiciones en que se encuentra, en caso de que tengas dudas consulta con los Cuerpos de Emergencia, si el techo tiene ceniza, quitala de immediato cuidando que no se vaya al drenaje.
No uses la electricidad ni el gas hasta estar seguro de que las instalaciones estén limpias de ceniza y en buen estado.
No comas o bebas nada que sospeches que está contaminado, si tienes dudas consulta a las autoridades correspondientes.

65

CARÁTULAS DE LOS PRINCIPALES MATERIALES DE DIFUSIÓN DEL OVI

OTROS PRODUCTOS

66 REVISTA OVI/INGEMMET

SEDE CENTRAL Av. Canadá 1470, San Borja Telf.: 051-1-618-9800 Fax: 225-4540 comunicacion@ingemmet.gob.pe

> SEDE MINEM Av. Las Artes Sur 220, San Borja

www.ingemmet.gob.pe