

MAPA PRELIMINAR DE AMENAZA VOLCÁNICA DE BOLIVIA

Rodolfo Ayala Sánchez Ph.D.

Facultad de Ciencias Geológicas, Carrera de Ingeniería Geológica, UMSA, Av. 6 de Agosto.
Edif. HOY, Piso 7. La Paz, Bolivia. rasayala@hotmail.com

RESUMEN

A partir de información recopilada de los volcanes de la Zona Volcánica Central (ZVC) de los Andes Centrales y utilizando la tecnología de los sistemas de información geográfica (SIG) se elaboró el primer mapa preliminar de amenaza volcánica de Bolivia que muestra los grados de peligro probabilístico volcánico directo debido a los centros volcánicos activos. Aunque el grado de amenaza en su mayor parte es de bajo a muy bajo, existen zonas de grado de amenaza moderado a muy alto en la cercanía de los focos volcánicos activos que se encuentran en Bolivia y en las regiones limítrofes con Perú y Chile. El mapa elaborado se constituye en un instrumento para la información y sensibilización sobre esta amenaza y para establecer medidas de prevención y mitigación ante la eventualidad de una erupción volcánica futura.

Palabras claves

Amenaza volcánica, peligro, volcanes activos, ZVC.

INTRODUCCIÓN

Las erupciones volcánicas constituyen una de las amenazas de tipo geológico más importantes y potencialmente peligrosas para los asentamientos humanos ubicadas en las cercanías de los volcanes, ocasionando pérdidas humanas, ambientales y económicas; aunque muchos centros volcánicos en apariencia no muestran señales de actividad (presencia de campos fumarólicos y/o actividad sísmica, sin embargo, han tenido actividad eruptiva en el pasado geológico reciente y seguramente en el futuro se reactivarán debido a que sus periodos de retorno pueden ser muy largos.

La región de los Andes Centrales forma parte de la Cordillera de los Andes que es una de las regiones de gran actividad volcánica-tectónica correspondiente al denominado: "Cinturón de Fuego del Pacífico" (que se extiende a lo largo de varias islas del Pacífico Sur, Occidental y Norte, Japón y varias zonas extensas del borde occidental de continente norteamericano, centroamericano y la grandes segmentos de la Cordillera de los Andes). Los volcanes andinos centrales se encuentran distribuidos en la parte occidental del continente sudamericano a unos 200 km de la fosa oceánica, a lo largo de las zonas limítrofes entre los países de Perú, Bolivia, Chile y Argentina, denominada Zona Volcánica Central – ZVC (Figura 1), esta región se ubica en donde la placa oceánica de Nazca se subduce debajo de la placa continental Sudamericana con un ángulo de subducción normal mayor a los 30 grados en dirección ENE (Ayala, 1997, 2000).

Las erupciones volcánicas andinas se caracterizan por ser explosivas y súbitas eyectando lavas y fragmentos de rocas incandescentes arrojando enormes cantidades de ceniza, gas carbónico, vapor de agua y gases sulfurosos a la atmosfera y pueden expulsar a la atmósfera más de 10 kilómetros cúbicos de ceniza y gases hasta alturas superiores a 25 kilómetros (PREDECAN, 2009).

Recopilando información de varias fuentes (Gonzales Ferrán, 1995; Departamento Geográfico, 2000; Romero, 2011; SERNAGEOMIN, 2012; IGP, 2014; Saavedra, 2014; Smithsonian Institute, 2014; OSC, 2014; VOGRIIPA, 2014), se han identificado 126 centros volcánicos en Perú, Chile,

Bolivia y Argentina, de los cuales 63 son activos (porque presentan actividad sísmica o fumarólica) y varios de ellos han presentado erupciones volcánicas en el pasado geológico reciente de edad holocena (Figura 1).

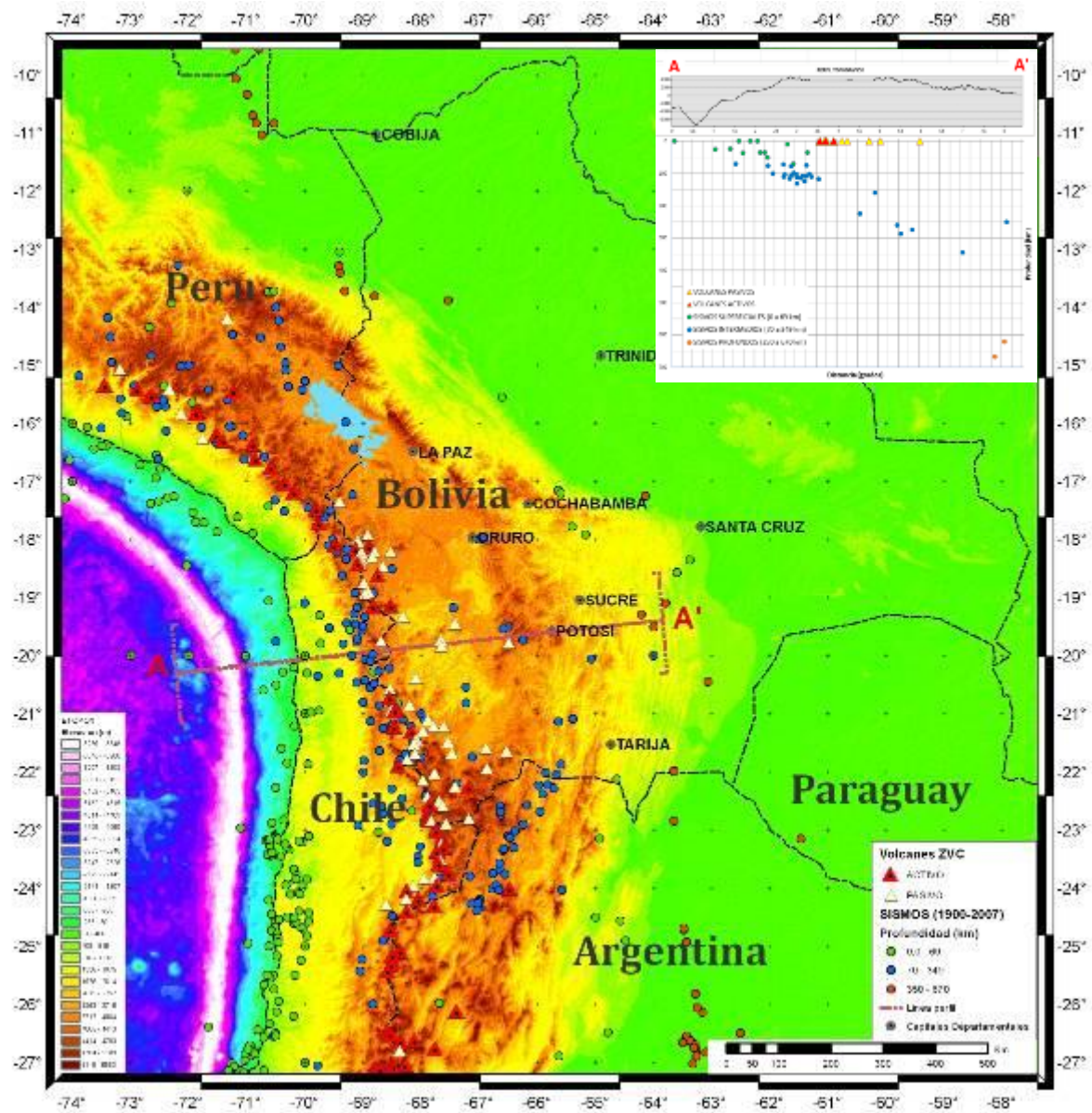


Figura 1: Mapa de los volcanes pasivos (triángulos amarillos) y activos (triángulos rojos) de la denominada Zona Volcánica Central – ZVC y sismicidad representada en círculos (NEIC, 2014). La topografía y batimetría es del modelo ETOPO1 (NGDC, 2014). La línea roja muestra la dirección del perfil topográfico y de sismicidad (A – A') ubicado en la parte superior derecha (Elaboración propia).

En el caso de Bolivia, tanto la información de la actividad volcánica es limitada y del peligro volcánico es inexistente, salvo por algunos mapas preliminares de peligros volcánicos directos e indirectos de volcanes que están cercanos y sobre la frontera Bolivia y Chile (Guallatiri, Isluga, Irruputuncu, Olca, Ollague, Parinacota, San Pedro y Taápaca,) resultados de un análisis cuantitativo integrado que considera múltiples escenarios eruptivos escogidos de acuerdo a los antecedentes geológicos de este centro volcánico y constituye una aproximación de primer orden (SERNAGEOMIN; 2012) tal como se muestra en la Figura 2 y Figura 3 para los volcanes Parinacota y Ollague respectivamente que muestran que el peligro volcánico abarca territorio boliviano.

A su vez, se ha establecido para la zona, el ranking de los volcanes en orden de mayor a menor actividad que son: Guallatiri, San Pedro, Irruputuncu, Parinacota, Taapaca, Ollague, Olca-Paruma, Isluga, Tacora, Escalante-Sairecabur, Putana, Apacheta-Aguilucho, Licancabur y Aucanquilcha (SERNAGEOMIN, 2014). Además, existen 19 volcanes activos en el noroeste Argentina y en su zona limítrofe con Chile (Departamento Geográfico, 2000).

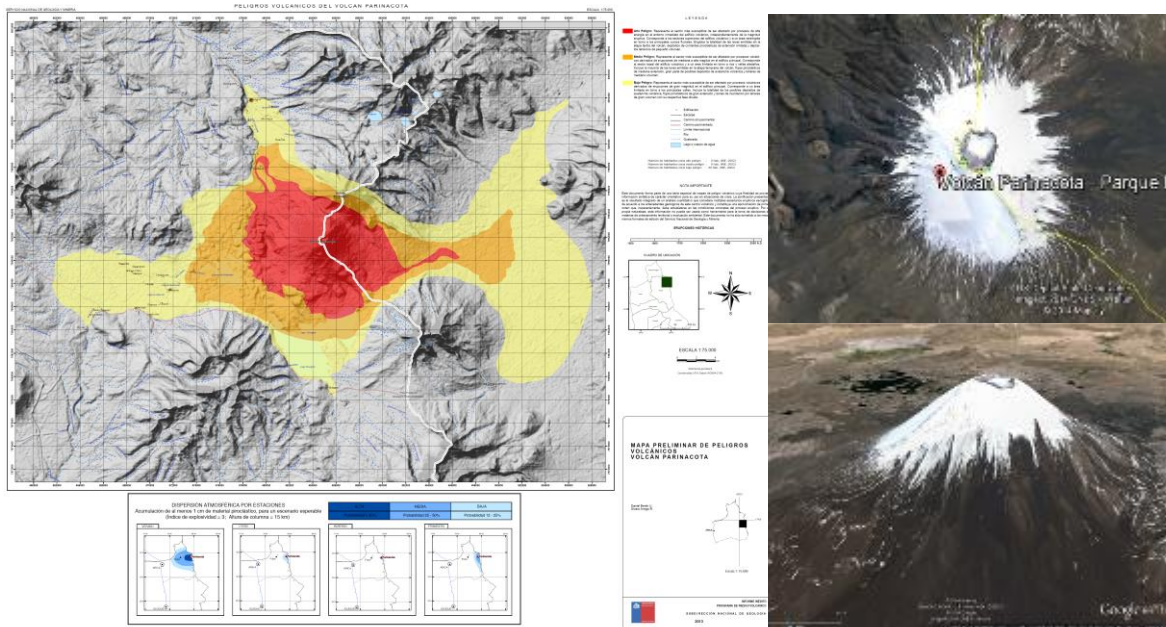


Figura 2: Mapa preliminar de peligros volcánicos del volcán Parinacota (SERNAGEOMIN, 2014) y sus vistas en planta y en perspectiva (Google earth, 2014).

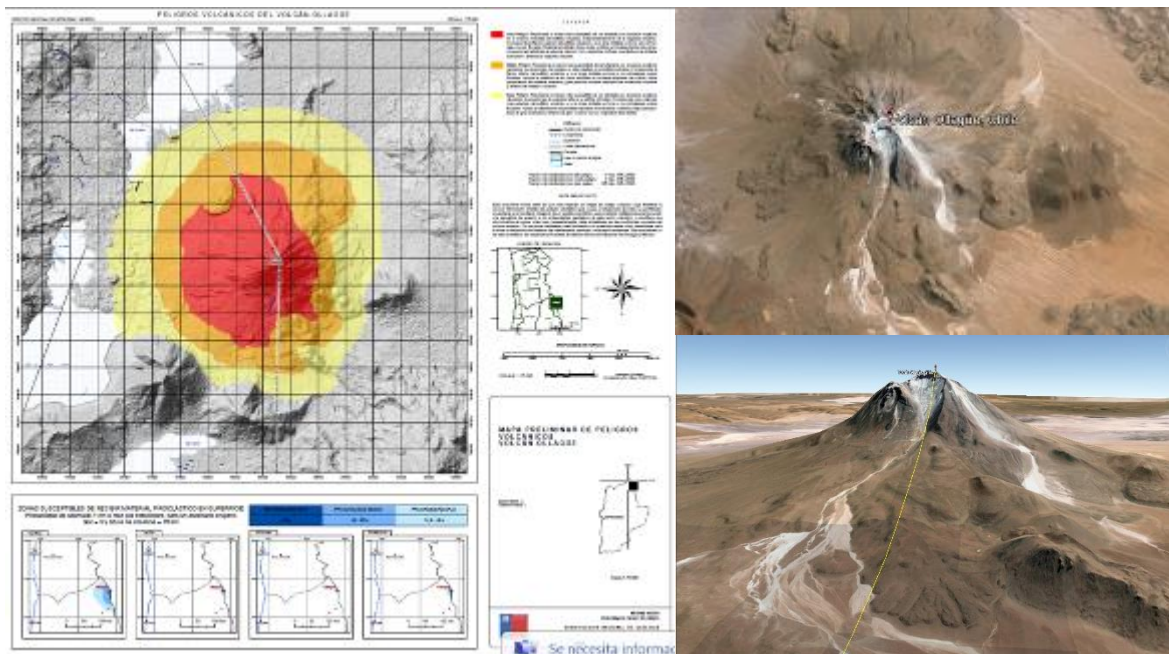


Figura 3. Mapa preliminar de peligros volcánicos del volcán Ollague (SERNAGEOMIN, 2014) y sus vistas en planta y perspectiva (Google earth, 2014).

Es importante mencionar que en Bolivia las amenazas que ocasionan el mayor número de emergencias y/o desastres en orden de importancia son: inundación, helada, granizada, sequia; seguidos por incendios, deslizamientos, vientos huracanados, sismos y plagas (Ayala, 2010) y donde no se mencionan actividad volcánica relevante porque los focos volcánicos activos no

presentan registros históricos de erupciones volcánicas que hayan causado destrucción o damnificados debido a estar en zonas despobladas, salvo el caso de la erupción volcánica del Huaynaputina el 19 de febrero del año 1600 (Índice de Explosividad Volcánica – VEI = 5), ubicado al sur de Arequipa en el Perú, arrojó a la atmosfera unos 11 kilómetros cúbicos de materiales, siendo la ciudad de Arequipa parcialmente destruida, varios pueblos sepultados y se estima que hubo unas 1500 víctimas en el Perú; las cenizas llegaron a Chile, Argentina, Bolivia y Nicaragua; también se les atribuye haber contribuido a la muerte, por hambruna, de dos millones de rusos, ya que entre 1600 y 1603 el crudo invierno se acentuó y se perdieron las cosechas y en los países de Japón, China, Escandinavia, Canadá y los Estados Unidos crearon una cortina de gases cenizas y partículas en la atmósfera que limitó el ingreso de los rayos del sol (Vega, 1996; Briffa et al., 1998; Thouret et al., 1999, 2005) lo cual testimonia del gran potencial de amenaza de los volcanes de la región. En base a los niveles de acumulación de ceniza basado en esta erupción (que varían desde 300 a 0,5 cm de espesor) se elaboró un mapa de zonificación del peligro volcánico en el sur del Perú mostrado en la Figura 4 (IPG, 2002).

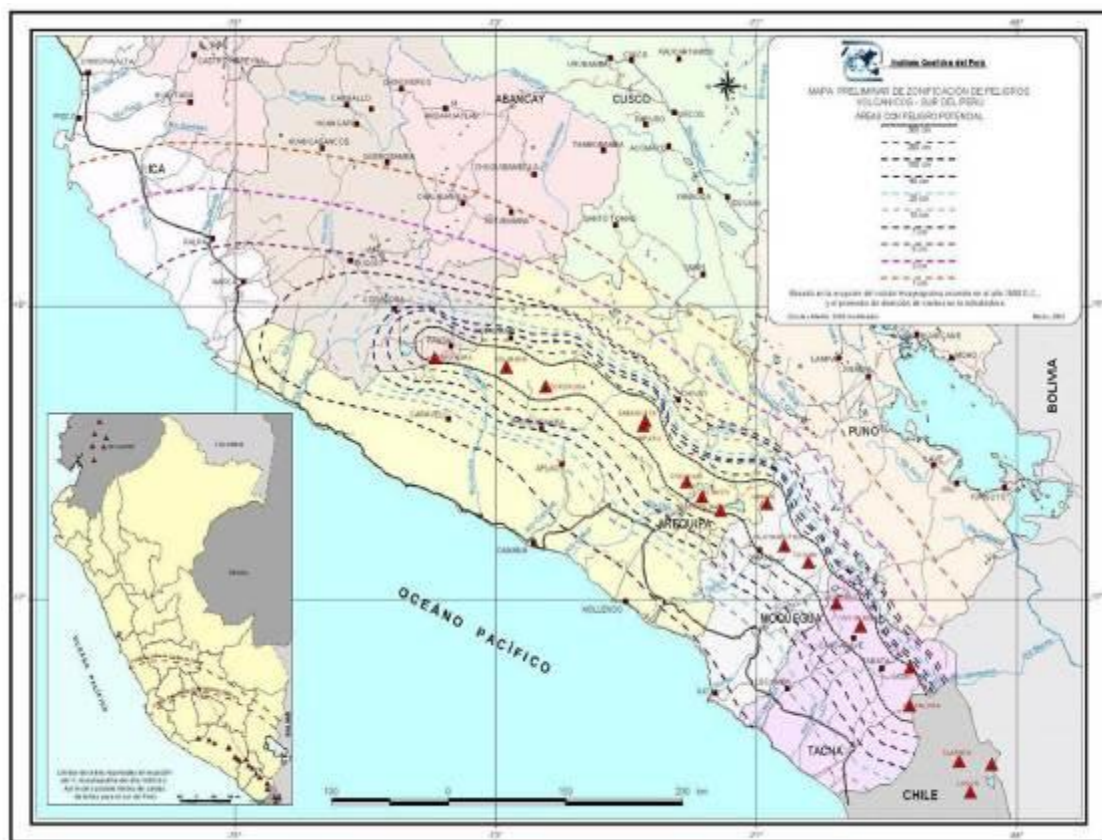


Figura 4. Mapa isopáquico del nivel de cenizas volcánicas depositadas por la erupción del volcán Huaynaputina del 19 de febrero de 1600 (IPG, 2002).

En el caso del sur del Perú se cuenta con mapas de peligro potencial de los volcanes de Ubina (Figura 5), El Misti, Huaynaputina, Ticsani y de volcanes del sur del Perú (IPG, 2014) y otros en curso de preparación que muestran que los mismos no constituyen una amenaza volcánica directa para las poblaciones fronterizas con Perú; sin embargo, es importante citar que el peligro para Bolivia por las erupciones de los volcanes del sur del Perú sería debido fundamentalmente a las nubes de cenizas, tal como ha sido el caso de la erupción del volcán Huaynaputina (Figura 4).

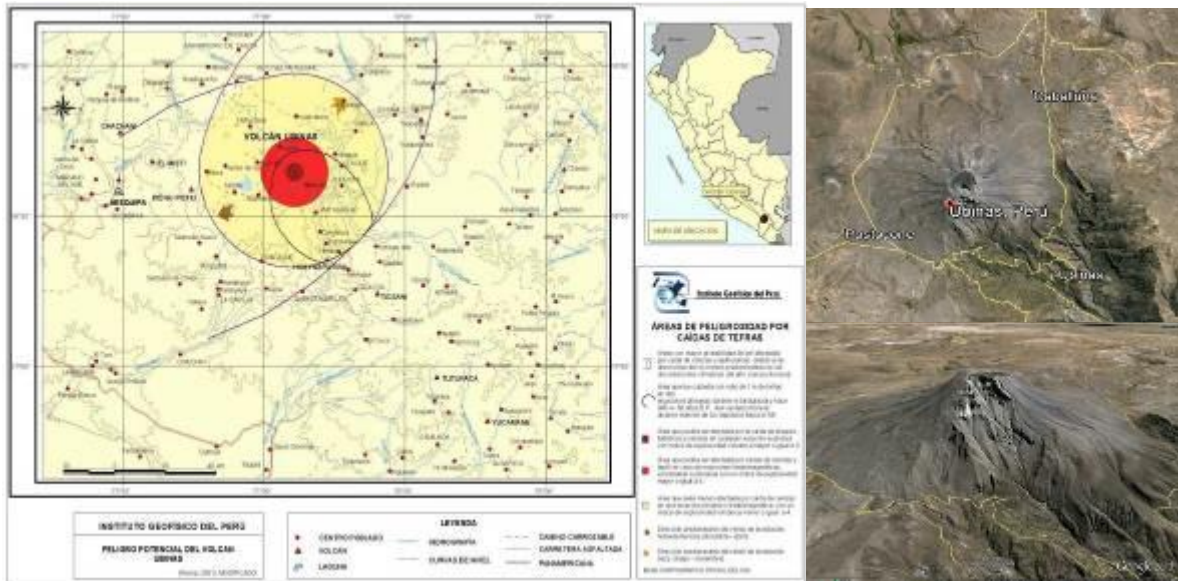


Figura 5. Mapa de peligro volcánico del volcán Ubinas (IGP, 2014) y sus vistas en planta y en perspectiva (Google earth, 2014).

Por otra parte, estudios de sismicidad local a partir de redes sísmicas temporales, anomalías termales e interferometría radar han confirmado que en la zona fronteriza entre Bolivia y Chile los siguientes volcanes son activos: Ollague, Guallatiri, Olca, Parinacota, Isluga, Irruputuncu, Putana y Uturuncu (Pritchard et al., 2012 y 2014). Otros estudios complementarios evidencian que el volcán Uturuncu estaría experimentando procesos de deformación superficial de 1 a 2 cm por año), actividad fumarólica sulfurosa y altas tasas de sísmicas expresa en forma de enjambres sísmicos (Jay et al.; 2011) y según Shanaka de Silva, geólogo de la Universidad Estatal de Oregon, expreso: *“El tamaño y la longevidad del aumento no tiene precedentes. Podríamos estar presenciando el desarrollo de una nueva súper-volcán”*, quien estudia el Uturuncu, desde el 2006 (Los Tiempos, 2012). De acuerdo a la información recopilada y analizada que existen 10 volcanes activos en Bolivia que son mostrados en el Anexo 1.

El objetivo del presente estudio es elaborar el primer mapa de amenaza volcánica de Bolivia mostrando la zonificación del grado de peligro volcánico en el país, con el propósito de sensibilizar a autoridades y público en general e implementar medidas de prevención y mitigación que ayuden al ordenamiento territorial en caso de que en el futuro se produjera una eventual erupción volcánica significativa; para lo cual se va recopilar y analizar la información sobre volcanes de la ZVC, mapas de peligros volcánicos locales existentes e identificar los volcanes activos y sus características enfatizando en Bolivia.

AMENAZAS VOLCÁNICAS

La amenaza volcánica (A_v) se define como: la probabilidad de ocurrencia de un evento volcánico en un tiempo y área determinada, siendo el peligro y la amenaza volcánica términos sinónimos (INETER y COSUDE, 2005). La amenaza también se denomina el factor externo del riesgo.

La A_v está en función de la Intensidad, Magnitud o Duración del evento y puede ser representada como:

$$A_v = f(I, F)$$

En donde:

I: Intensidad que es la magnitud (alcance espacial) o duración del evento.

F: frecuencia de ocurrencia es el número de veces que ocurre una erupción volcánica en un determinado periodo de retorno (Tr). F es la inversa de la probabilidad de ocurrencia.

Las amenazas volcánicas son de carácter múltiple y pueden ser de tipo directo: gases volcánicos, flujos de lava, flujos piroclásticos, caída de tefras y proyectiles balísticos) o indirecto: deslizamientos o derrumbes volcánicos, lahares y tsunamis (INETER y COSUDE, 2005), en el caso del presente estudio se analizó solamente las amenazas volcánicas directas.

METODOLOGÍA UTILIZADA

Para alcanzar el objetivo propuesto se utilizó la combinación de las metodologías estadísticas propuestas por INETER y COSUDE (2005) y Romero (2011) considerando la magnitud y probabilidad de ocurrencia para evaluar el grado de amenaza sísmica de cada volcán activo considerando los eventos extremos, para cuyo fin se realizó las actividades siguientes:

- Recopilación de la información de los volcanes existentes e identificación de los activos.
- Construcción de una base de datos de las últimas erupciones volcánicas ocurridas.
- Identificación de los terrenos volcánicos a partir del Mapa Geológico de Bolivia, en especial de los depósitos piroclásticos.
- Sistematización de la información obtenida en un SIG (Sistema de Información Geográfico) y de los mapas base a ser utilizados.
- Verificación de los volcanes activos utilizando el Geovisor: Google earth.
- Definición de la matriz con los grados de amenaza de acuerdo al proceso eruptivo) y en función a la magnitud del evento (Tabla 1) y una probabilidad de ocurrencia media, al menos un evento en 100 años y periodo de retorno entre 50 y 200 años.

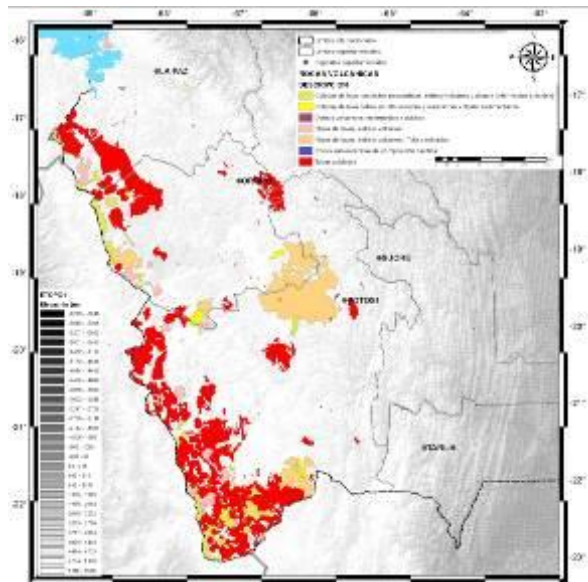


Figura 6. Mapa de distribución de las rocas volcánicas en Bolivia (Elaboración propia a partir de la información de SERGEOMIN, 2000).

- Utilización de un método de buffer múltiples mediante un SIG para generar las zonas de amenaza para cada volcán activo considerando los valores alcance máximo (Tabla 1).
- Digitalización del mapa de espesores de ceniza de la erupción del volcán Huaynaputina del 19 de febrero de 1600 e integración en el SG (Figura 4).
- Integración de ambos mapas para generar un mapa único con zonas de amenazas volcánicas homogéneas.
- Verificación de los resultados con otros mapas de amenazas volcánicas existentes.
- Verificación y validación de los resultados mediante la información geológica disponible, a partir de la distribución de rocas volcánicas del Mapa Geológico de Bolivia mostrado en la Figura 6 (SERGEOMIN, 2000) y de los mapas preliminares de peligros volcánicos de Chile (SERNAGEOMIN, 2014a) y de Perú (IGP, 2002).
- Mapa final de amenaza volcánica obtenido recortado a los límites de Bolivia utilizando las descripciones de la Tabla 2.

Tabla 1. Descripción, factores y grado de amenaza de los procesos eruptivos.

Proceso Eruptivo	Definición	Factores detonantes	Factores condicionantes	Alcance máximo (km desde el centro de emisión)	Características	Grado de amenaza
Proyecciones balísticas	Materiales volcánicos arrojados con gran velocidad y que siguen trayectorias balísticas	Erupciones volcánicas explosivas		~ 5	Abandonan el cráter a velocidades de entre decenas a centenas de metros por segundo y siguen trayectorias que no son afectadas por la dinámica de la columna eruptiva o por el viento. El peligro de impacto por grandes fragmentos es máximo cerca del cráter y decrece al incrementarse la distancia del mismo	Muy alta
Flujos piroclásticos	Corrientes incandescentes de ceniza, gas y aire	Colapso de la columna eruptiva, erupción de bajo ángulo o lateral.	Erupciones explosivas, obstrucción del conducto del volcán, ampliación del cráter y pérdida de sustentación.	~ 20	Velocidades entre 200 y 600 km/h y con temperaturas que sobrepasan los 200°C.	Alta
Flujos de lava	Corrientes de roca fundida o semifundida	Erupciones volcánicas efusivas	Composición química de la lava, fluidez y topografía del volcán	~ 30	Relativamente lentos y descienden por las laderas del volcán quemando y fundiendo todo a su paso.	Moderada a Baja
Gases	Gases emitidos por la erupción	Erupciones volcánicas explosivas	Cantidad y tipos de gases volcánicos que son emitidos	~ 100	Todos los magmas poseen gases ya sea baja o alta su concentración. Generalmente son tóxicos en inhalaciones prolongadas. Su hedor puede sentirse a kilómetros lejos de la erupción.	Baja
Caídas de Tefra	Precipitación de material particulado fino de origen volcánico	Erupciones volcánicas explosivas	Condiciones atmosféricas del viento y granulometría de las cenizas.	~ 200	La precipitación de tefra (piroclastos de cualquier tamaño sin compactación) puede afectar extensos territorios lejos del volcán y cubrir uniformemente el paisaje, pueden contaminar o fertilizar el suelo dependiendo de su espesor.	Moderada a baja

Fuente: modificado de INETER y COSUDE (2005) y Romero (2011).

DESCRIPCIÓN DE LOS GRADOS DE AMENAZA DEL MAPA

Siguiendo la metodología descrita anteriormente se obtuvo del mapa preliminar de amenaza volcánica de Bolivia (Figura 7) que zonifica los grados de amenaza en seis niveles, que son a

descritas en función a las pérdidas y daños previsibles, las implicaciones para el Ordenamiento Territorial (OT), y los principales procesos eruptivos asociados es descrito en la Tabla 2 que ha sido adaptada de las descripciones propuestas por INETER y COSUDE 2005 que deben ser tomados como lineamientos generales para el OT y fundamentalmente como instrumento de información y sensibilización a autoridades y público en general sobre la amenaza volcánica en Bolivia.

El mapa preliminar de amenaza volcánica de Bolivia es mostrado en la Figura 7 donde se observa que la amenaza está concentrada en la parte occidental del país y podría afectar las parte central y sur del departamento de La Paz, todo el departamento de Oruro y Potosí y la parte oeste de del Departamento de Cochabamba, sin embargo, en su mayor parte son amenazas de grado bajo a muy bajo; y la amenaza volcánica de grados moderado, alto y muy alto se circunscribe a las cercanías de los volcanes activos y comprende solo la parte más occidental de los Departamentos de La Paz, Oruro y Potosí.

Tabla 2. Descripción de los grados de amenaza volcánica en función a las pérdidas previstas, implicaciones en el ordenamiento territorial y procesos eruptivos asociados.

Grado de amenaza	Pérdidas y daños previsibles	Implicaciones para el Ordenamiento Territorial	Proceso eruptivo
Muy alta	Las personas están en peligro extremo tanto adentro como afuera de los edificios. Existe un peligro muy alto de destrucción total y repentina de las edificaciones, servicios cultivos y medio ambiente.	Zona de prohibición total: no se debe autorizar ningún tipo de edificación y/o asentamiento humano y si existe deben ser inmediatamente reubicados.	Flujos piroclásticos, y/o flujos de lava y proyecciones balísticas
Alta	Las personas están en peligro extremo tanto adentro como afuera de los edificios. Existe un peligro muy alto de destrucción total y repentina de las edificaciones, servicios cultivos y medio ambiente.	Zona de prohibición: las personas están en peligro afuera de los edificios, pero no o casi no adentro. Se debe contar con daños en los edificios, pero no destrucción repentina de éstos, siempre y cuando su modo de construcción haya sido adaptado a las condiciones del lugar.	Flujos piroclásticos, flujos de lava, gases y caídas de tefra.
Moderada	Las personas están en peligro afuera de los edificios, pero no o casi no adentro. Se debe contar con daños en los edificios, pero no destrucción repentina de éstos, siempre y cuando su modo de construcción haya sido adaptado a las condiciones del lugar.	Zona de reglamentación: no se debe permitir la expansión y densificación de asentamientos humanos, siempre y cuando existan y se respeten reglas de ocupación del suelo y normas de construcción apropiados. Construcciones existentes que no cumplan con las reglas y normas deben ser reforzadas, protegidas o desalojadas y reubicadas.	Flujos de lava; gases y caídas de tefra
Baja	El peligro para las personas es débil o inexistente. Los edificios pueden sufrir daños leves, pero puede haber fuertes daños al interior de los mismos, daños a la agricultura, abrasión, corrosión por gases a maquinarias, equipos y herramientas.	Zona de sensibilización: apta para asentamientos humanos, en la cual los usuarios del suelo deben ser sensibilizados ante las amenazas poco probables de ocurrir y sepan como actuar en caso de presentarse.	Gases y/o, caídas de tefra
Muy baja	Existen amenazas que tienen una probabilidad de ocurrencia muy débil y que se pueden manifestar con una intensidad fuerte.	Zona de sensibilización: apta para asentamientos humanos, en la cual los usuarios del suelo deben ser sensibilizados ante la amenazas muy poco probables de ocurrir y sepan como actuar en caso de ocurrencia	Gases y/o, caídas de tefra
Sin	Ninguna amenaza conocida, o despreciable según el estado actual de conocimientos	Zona de seguridad: sin ninguna restricción para los asentamientos humanos.	Sin

Fuente: modificado de INETER- COSUDE (2011).

Las zonas de bajo a muy bajo grado de amenaza son debido fundamentalmente a la emanaciones de cenizas a la atmosfera que podría perturbar la aeronavegación, ocasionar lluvias acidas con los consecuentes impactos ambientales negativos e inducir enfermedades respiratorias cuando las nubes de cenizas se acerque a los principales centros poblados del occidente y del centro del país.

MAPA PRELIMINAR DE AMENAZA VOLCANICA DE BOLIVIA

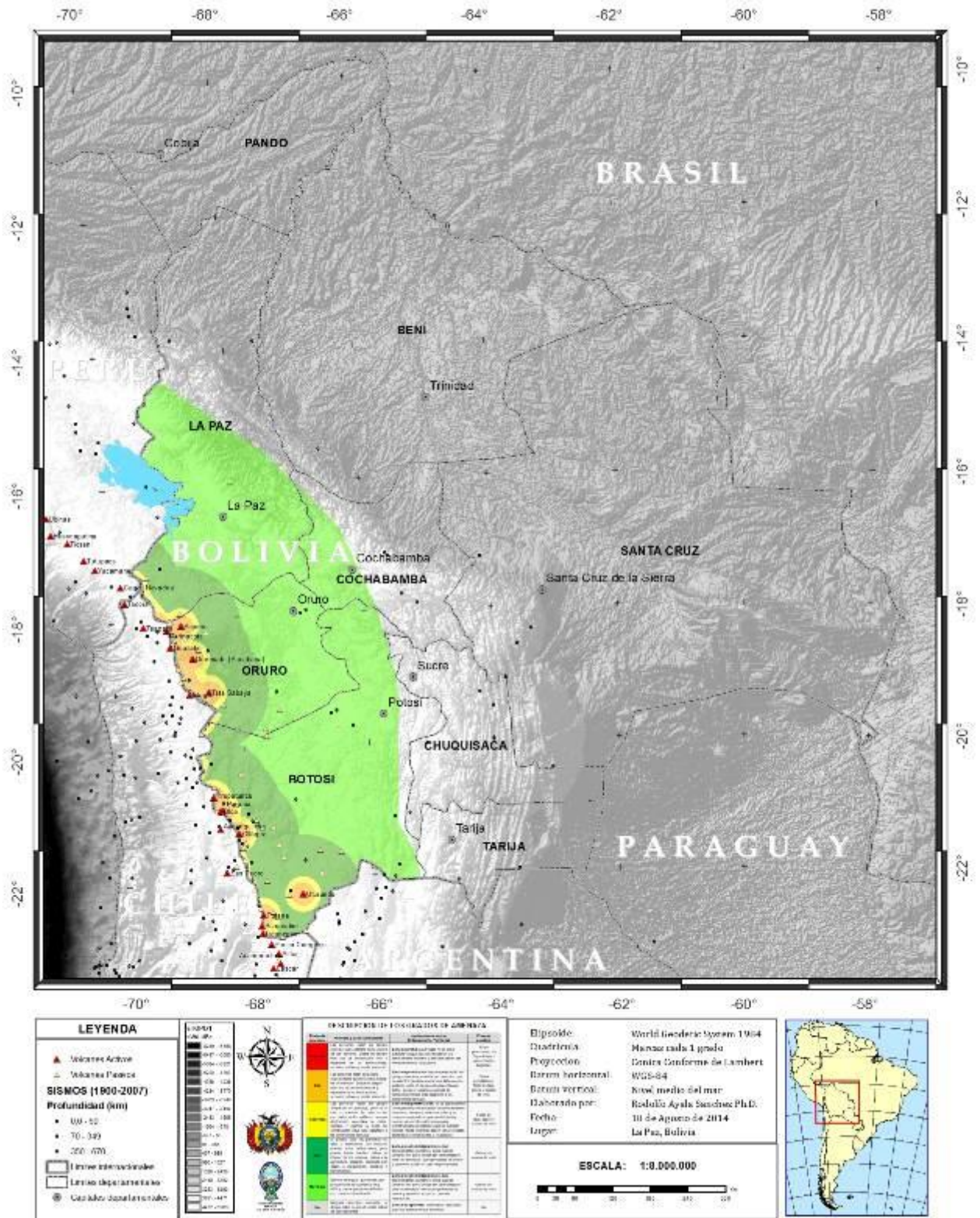


Figura 7. Mapa preliminar de amenaza volcánica de Bolivia (Elaboración propia).

CONCLUSIONES


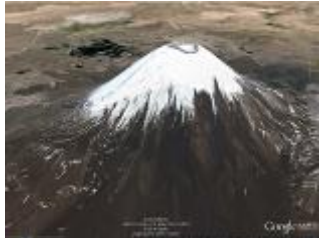


- Se ha elaborado para su validación el primer mapa de amenaza volcánica de Bolivia de probabilidad de ocurrencia media y erupciones de magnitudes altas siendo una primera aproximación al peligro volcánico esperable.
- El mapa es un instrumento de información y sensibilización a autoridades, investigadores y público en general sobre los peligros volcánicos en el país, además de apoyo al Ordenamiento Territorial y para implementar medidas de prevención-mitigación y de contingencia con el objetivo de reducir el riesgo volcánico.
- El presente mapa debe ser validado mediante estudios in-situ, otras técnicas de teledetección, medidas geodésicas, estudios geofísicos y modelos probabilísticos creando diferentes escenarios de amenaza volcánica directa e indirecta para cada volcán activo.
- Establecer redes de vigilancia de los volcanes más peligrosos y coordinar información con otros centros de investigación de los países vecinos.
- Realizar estudios más detallados para confirmar si el volcán Tunupa se está activando.
- Por las evidencias el volcán Uturuncu sería el que muestra evidencias de una reactivación y la probabilidad futura de una fuerte erupción volcánica y sería el de mayor peligrosidad en Bolivia, seguido del Irruputuncu, Parinacota, Ollague, Olca-Paruma y Putana.
- Aunque el grado de riesgo volcánico en Bolivia es relativamente bajo debido al muy bajo nivel de elementos vulnerables, sin embargo, el mismo debe ser considerado.
- Los volcanes activos en la zona fronteriza con Chile son los que representan el mayor grado de amenaza, y los volcanes activos del Perú constituyen de baja a moderado peligrosidad debido a las nubes de cenizas, mientras que los volcanes del norte argentino y los de su frontera con Chile no representan peligro para Bolivia.




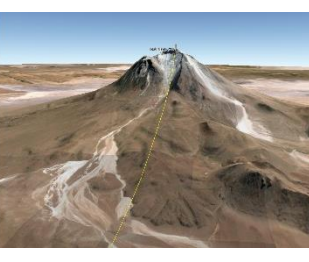
REFERENCIAS


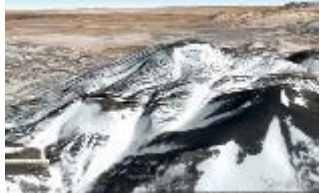
- Ayala, R.R., 1997. Sismotectonique des Andes de Bolivie et Rôle de l'Orocline Bolivien, Ph.D. tesis, Université Louis Pasteur de Strasbourg, Francia, 190 pp.
- Ayala, R.R., 2000. Relación de Esfuerzos y Deformaciones en los Andes Centrales de Bolivia, en Memorias del XIV Congreso Geológico Boliviano, noviembre 2000, La Paz, Bolivia, 200-215 pp.
- Ayala, R.R., 2010. Documento País Bolivia Sexto Plan de Acción DIPECHO. Socios DIPECHO: Acción Contra el Hambre, COOPI, Federación Internacional de la Cruz Roja, OPS/OMS, OXFAM-FUNDEPCO, Save The Children y UNICEF, La Paz, Bolivia.
- Briffa, K., Jones, P. D., Schweingruber F. H. y Osborn, T.J., 1998. Influence of volcanic eruptions on Northern Hemisphere summer temperature over the past 600 year. Nature, Vol. 393, 450-454 pp.
- Departamento Geográfico, 2000, Volcanes Activos. Sobre la base de información proporcionada por: CASELLI, Alberto, Grupo de Estudio y Seguimiento de Volcanes Activos (GESVA), de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires: <http://gesva.gl.fcen.uba.ar>
- González-Ferrán O., 1995. Volcanes de Chile. Centro de Investigaciones Volcanológicas. Santiago, Chile, 640p.
- IGP - Instituto Geofísico del Perú, 2002. Mapa preliminar de zonificación de los peligros volcánicos – Sur del Perú. http://sinpad.indeci.gob.pe/UploadPortalSINPAD/Images/Atlas/IGP/21_peligros_volcanicos.jpg
- IGP, 2014. Mapas de peligro potencial de los Volcanes Ubinas, El Misti, Huaynaputina, Ticis y del sur del Perú. Atlas de Peligros, SINPAD, Peru. <http://sinpad.indeci.gob.pe/PortalSINPAD/Default.aspx?ItemId=272>
- INETER – Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales - y COSUDE – Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, 2005. Mapas de Amenazas por Erupciones Volcánicas.

- Recomendaciones Técnicas para su Elaboración. Proyecto MET-ALARM. Managua, Nicaragua.
- Jay, J.A., Pritchard, M.E., West, M.E., Christensen, D., Haney, M., Minaya, E., Sunagua, M., McNutt, S.R. & M. Zabala, 2011. Shallow seismicity, triggered seismicity, and ambient noise tomography at the long-dormant Uturuncu volcano, Bolivia. *Bull. Seis. Soc. Amer.*, DOI:10.1007/s00445-011-0568-7.
- Los Tiempos, 2012. Científicos dicen que un Súper Volcán "Crece" en Bolivia. Nota de prensa del 20 de agosto de 2012, Cochabamba, Bolivia.
http://www.lostiempos.com/diario/actualidad/nacional/20120820/un-super-volcan-crece-en-el-sur-de-bolivia-segun_161682_338265.html
- NEIC – National Earthquake Information Center, 2014. Centennial Earthquake Catalogue (1900 a 2007). <http://earthquake.usgs.gov/data/centennial/>
- OSC – Observatorio San Calixto (2014). Volcanes Activos de Bolivia. La Paz, Bolivia.
<http://observatoriosancalixto.com/bdvolcan/>
- PREDECAN, 2009. Atlas de las dinámicas del territorio andino: población y bienes expuestos a amenazas naturales. Proyecto de Apoyo a la Prevención de Desastres CEE, CAPRADE y Comunidad Andina, 185p.
- Pritchard, M. E., D. Krzesni, N. Button, M. Welch, J. A. Jay, S. T. Henderson, B. Glass, V. Soler, A. Amigo, M. Sunagua, E. Minaya, J. Clavero y S. Barrientos. 2012. Reconnaissance Seismology at Nine Volcanoes of the central Andes. of the central Andes, Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif.
- Reconnaissance earthquake studies at nine volcanic areas of the central Andes with coincident satellite thermal and InSAR observations. Pritchard, M.E., Henderson, T., Jaya, J.A., Soler, V., Krzesnic, D.A., Button, N.E., Welch, M.D., A.G. Semple, Glass, B., Sunagua M., Minaya E., Amigo A. & J. Clavero, 2014. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol 280, 1, 90-103 pp.
- Romero, J.E., 2011. Terremotos, Tsunamis y Erupciones Volcánicas: Los principales peligros geológicos de Chile. *Pyroclastic Flow, Journal of Geology*, Vol. I, No.2, Edición Especial.
- Saavedra, A.M., 2014. El Vulcanismo en Bolivia. Su importancia económica. Primera edición. La Paz, Bolivia.
- SERGEOMIN, 2000. Mapa Geológico de Bolivia, La Paz, Bolivia.
- SERNAGEOMIN - Servicio Nacional de Geología y Minería, 2012. Peligros Volcánicos de la Zona Norte de Chile. Mapa 2: Peligro de Caída de Piroclastos. Regiones de Arica y Parinacota, Tarapaca, Antofagasta y Atacama, Subdirección Nacional de Geología, Programa de Riesgo Volcánico, Chile.
- SERNAGEOMIN, 2014. Ranking de los 91 volcanes más activos de Chile.
<http://www.sernageomin.cl/archivos/Ranking-de-Volcanes.pdf>
- SERNAGEOMIN, 2014a. Mapa preliminares de volcanes activos en Chile.
<http://www.sernageomin.cl/archivos/>
- Smithsonian Institute, 2014. Database Holocene Spreadsheet. National Museum of Natural History. Global Vulcanism Program. <http://www.volcano.si.edu/>
- Thouret J-C., Davila, J., Eiseen J.P. 1999. Largest explosive eruption in historical times in the Andes at Huaynaputina volcano. A.D. 1600. Southern Peru. *Geology*, v 27, 435-438 pp.
- Thouret J-C., Rivera M., Worner G., Gerbe M., Finizola A., Fornari M., Gonzales K., 2005 Ubinas: the Evolution of the Historically Most Active Volcano in Southern Peru. *Bulletin of Volcanology*. N° 67; 557-589 pp.
- Vega B.A., 1996. Complementos a la Historia Sísmica de Bolivia, IPGH, No. 45, pp. 73-124.
- VOGRIPA - Volcano Global Risk Identification and Analysis Project, 2014. Database for volcanoes and eruption events.
<http://www.bgs.ac.uk/vogripa/searchVOGRIPA.cfc?method=searchForm>.
- Volcano Live, 2014. Volcanoes of the World – John Seach.
<http://www.volcanolive.com/world.html>

Anexo 1. Volcanes activos de Bolivia

NOMBRE	UBICACIÓN	LATITUD	LONGITUD	ELEVACIÓN	TIPO DE VOLCÁN	ULTIMA ERUPCIÓN	TIPO DE ERUPCIÓN	ACTIVIDAD ACTUAL	DESCRIPCIÓN	VISTA 3D
Sajama	Bolivia	-18,11	-68,90	6542	Estratovolcán	679000 años AC aprox.	Explosivo	Presencia de fumarolas	Volcán con relieve irregular, presentando en la base lavas intermedias a ácidas, cubiertas por un estratovolcán de lavas y piroclastos intermedios.	
Parinacota	Bolivia-Chile	-18,16	-69,13	6301	Estratovolcán	290 AD ± 50 1100 BC ± 500 4320 BC ± 1000 5840 BC ± 50	Efusivo: Pliniana	Presencia de fumarolas	Volcán simétrico con cráter en la cumbre, presenta cinco ciclos eruptivos en su evolución: 1er. Se originan lavas de composición intermedia. 2do. Efusión. 3er. Erupciones que generan domos ácidos y flujos de lavas intermedias. 4to. Explosión <i>pliniana</i> , colapso lateral del estrato-cono y finalmente una fase efusiva básica. 5to. Pequeñas erupciones de composición intermedia a básica, al sur del volcán.	
Quemado (Sacabaya)	Bolivia	-18,61	-68,75	4242	Escudo piroclástico	10000 años AC aprox.	Efusivo: Estrombolina	Presencia de fumarolas	Compuesta por piroclastos, por tres cráteres superpuestos, - <i>estromboliana</i> , presencia de rocas ígneas. El viento ha redistribuido los depósitos de ceniza formando dunas de arena.	
Tata Sabaya	Bolivia	-19,13	-68,52	5430	Estratovolcán	10000 años AC aprox.	Explosivo	Se observaron fumarolas sobre la cumbre en 1995	Volcán simétrico, al sur se encuentra un escarpe semejante a un anfiteatro que se halla parcialmente cubierto por flujos de composición intermedia y ácida.	

Irruputuncu	Bolivia-Chile	-20,73	-68,55	5163	Cono compuesto	1995	Explosivo	Actividad sísmica	El cono se habría formado en el sector suroeste colapsado. Los depósitos de avalancha claramente post-glacial, forman un abanico plano en la falda suroeste del volcán.	
Paruma	Bolivia-Chile	-20,93	-68,41	5420	Estratovolcán	1865	Explosivo	Presencia de fumarolas	Corresponde a una fuente de emisión de varios flujos de lavas intermedias, que han escurrido por casi 7 km, tanto hacia el Norte como Sur. En el sector Este del cráter se produjo una erupción de lava acida.	
Olca	Bolivia-Chile	-20,94	-68,45	5407	Estratovolcán	1867	Explosivo	Presencia de fumarolas y actividad sísmica	Volcán asimétrico de forma irregular, presentando flujos de lavas intermedias a acidas, alcanzando una longitud de 5 km desde el cráter central, son recubiertos por flujos más pequeños.	
Ollague	Bolivia-Chile	-21,30	-68,17	5863	Estratovolcán compuesto	Posible 1903 BC 300000 AC aprox.	Explosivo	Presencia de fumarolas y actividad sísmica	Volcán de forma irregular, de composición intermedia; fue afectado por erupciones que causaron el colapso de su estructura con una avalancha de residuos en el sector Oeste y Noroeste alcanzando una extensión de 15 km desde el cráter.	

Uturuncu	Bolivia	-22,26	-67,18	6008	Estratovolcán	270000 años atrás 890000 años atrás aprox.	Explosivo	Emanaciones de gases sulfúricos y deformación de 1 a 2 cm anuales (aplicando interferometría diferencial), actividad sísmica	Volcán de forma irregular, se presentan mayormente flujos piroclásticos y flujos de lava. La composición mineralógica que presenta el volcán es de rocas intermedias a ácidas.	
Putana	Bolivia-Chile	-22,55	-67,85	5769	Estratovolcán	1960 1972 1810	Efusivo	Presencia de fumarolas y actividad sísmica	Tiene una apariencia simétrica, su forma se debe a la alternancia de los flujos de lava endurecida de composición ácida. La cumbre tiene un cráter bien conservado con fumarolas muy activas.	

Fuente: Elaboración propia en base a: Gonzales Ferrán (1995), Romero (2011), SERNAGEOMIN (2012, 2014), Jay et al. (2012), Pritchard (2012, 2014), IGP (2014), Saavedra (2014), Smithsonian Institute (2014), OSC (2014) y VOGRIPA (2014)

Estratovolcanes: Son estructuras volcánicas más complejas, constituidas por la alternancia de materiales volcánicos (flujos de lava, cenizas, flujos de piroclastos, bloques, etc.). Su forma suele ser simétrica y poseen grandes dimensiones.

Tipos básicos de erupciones volcánicas (Romero 2011):

- Efusivas (salida de material fluido de forma suave y tranquila, emisión de gran cantidad de gases y formación de campos de lava)
- Explosivas (suele ser violenta, acompañada de fracturamiento de rocas y gran cantidad de cenizas).

Tipos de erupciones (Romero, 2011):

- **Hawaianas:** Son erupciones de baja explosividad, que fragmentan escasamente el magma y lo emiten de forma relativamente fluida, en forma de piroclastos generalmente de composición fluida y que alcanzan bajos valores de dispersión y columnas eruptivas que no superan los 300 m.
- **Estrombolianas:** Tipo de erupción algo mayor a la hawaiana, con mayor dispersión, explosividad y fragmentación del magma. También predominan los magmas de fluidos como el basalto o basalto-andesita.
- **Vulcanianas:** Son comunes en volcanes de composiciones intermedias, mientras que su explosividad tiende a ser baja a moderada, generando caída de cenizas. Generalmente expelen material reciclado del interior del volcán. Tienen duraciones cortas y las columnas pueden alcanzar entre 5 a 10 km.
- **Surtseyanas / Freatoplínicas:** También son llamadas como hidrovulcánicas o freatomagmáticas, y la característica más evidente es que se dan por el contacto entre el agua-magma, alcanzando valores extremos de concentración y siendo bastante explosivas. Pueden darse en el mar, en volcanes con lagos ácidos o los cuales posean reservorios freáticos en su interior.
- **Sub-plinianas:** Se dan en centros eruptivos derivados de magmas más viscosos, generando grandes columnas eruptivas y amplios depósitos de caída de cenizas que pueden alcanzar los 500 km².
- **Plinianas:** Son erupciones que tienen valores máximos de energía liberada, que emiten mayoritariamente material juvenil y con bajas tasas de fragmentación, alcanzando elevados valores de dispersión de las pómez (o piedras pómez) y formando columnas eruptivas muy altas (>3 0km). Se suelen dar en volcanes de magmas de viscosidad intermedia.
- **Ultraplínicas:** Corresponde a una erupción enorme con incidencia global.