



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú - IGP

Dirección
Científica

Subdirección de
Ciencias de la Tierra
Sólida - SCTS



INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ

Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida
Unidad de Sismología



ANÁLISIS DE LOS PRINCIPALES PELIGROS NATURALES EN EL VALLE DEL COLCA - AREQUIPA

Hernando Tavera

Lima – Perú
2016



RESÚMEN EJECUTIVO

A fin de evaluar la ocurrencia de peligros naturales en el Valle del Colca (distrito de Chivay), se realiza la revisión bibliográfica disponible y el análisis de la actividad sísmica ocurrida en la zona en los últimos 5 años. Los peligros más recurrentes en el tiempo y que afectan al Valle del Colca y a todas las localidades que se distribuyen en su entorno son los movimientos en masa, erupciones volcánicas y sismos.

Al ser los peligros naturales cíclicos, es de esperarse que ellos se repitan en el futuro con la misma o mayor intensidad y con la posibilidad de que los daños y efectos se incrementen de acuerdo al crecimiento y permanencia de las áreas urbanas en zonas reconocidas, históricamente, como de alto riesgo. Ante esta realidad, el riesgo por exposición es alta y más aún si las acciones de Gestión del Riesgo de Desastres no se articulan correctamente entre la población y la propia naturaleza.

El Valle del Colca es reconocido como una zona geodinámica joven y por lo tanto, muy activa, puesta en evidencia con la ocurrencia frecuente movimientos en masa, erupciones volcánicas y sismos.

ÍNDICE

RESÚMEN EJECUTIVO

1. INTRODUCCIÓN

2. MOVIMIENTOS EN MASA

3. ACTIVIDAD VOLCÁNICA

4. ACTIVIDAD SÍSMICA

4.1.- Sismotectónica local

4.2.- Sismicidad local y regional

5. EXPOSICIÓN Y VULNERABILIDAD

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

1. INTRODUCCIÓN

Todos los procesos geodinámicos que se desarrollan en continente tienen su origen en las fuerzas que movilizan las placas tectónicas y en cierto modo, a la variabilidad del cambio climático, dependiendo de la ubicación de las zonas de interés. En el caso de Perú, son las placas de Nazca (oceánica) y Sudamericana (continental) las que convergen frontalmente a velocidades del orden de 7 a 8 cm/año (DeMets et al, 1980; Norabuena et al, 1999), permitiendo la evolución continua de la Cordillera Andina y la actual morfología presente en el territorio peruano, incluyendo los volcanes.

Como parte de este escenario, el valle del Colca es una zona de geodinámica muy activa y por tal razón, se tiene la ocurrencia de procesos importantes, sean tectónicos, geológicos y geofísicos que afectan a la morfología y se constituyen como peligros que afectan a las poblaciones presentes a lo largo del valle (Figura 1). De estos peligros, los de mayor recurrencia son los sismos con origen en los importantes sistemas de fallas tectónicas que se distribuyen en ambos extremos del valle y que muchas veces alcanzaron magnitudes elevadas causando daños y efectos importantes en las áreas pobladas. Estos eventos sísmicos han resultado ser, en muchas oportunidades, detonadores de deslizamientos de tierra y piedras en zonas de altas pendientes afectando a infraestructuras como carreteras y áreas pobladas.

Recientemente, del sistema volcánico Hualca Hualca - Sabancaya - Ampato, el Sabancaya ha sido causante de procesos eruptivos del tipo freatomagmático y cuyas cenizas afectaron a los recursos agrícolas y población cercana a la estructura volcánica. Esta actividad, muchas veces estuvo acompañada de eventos sísmicos que incrementaron la alerta y preocupación de las poblaciones presentes en el valle. Por otro lado, las fuertes precipitaciones que se producen en los meses

de enero a marzo, causan la inestabilidad en los suelos produciendo, en ese momento, movimientos en masa del tipo huaycos o simplemente, se produce la retroalimentación de las aguas subterráneas que a posteriori pueden causar deslizamientos, derrumbes, huaycos, entre otros.



Figura 1: Vista panorámica del valle del Colca

La historia del valle del Colca y de sus localidades, en cuanto a ser afectados por peligros naturales, es muy extensa y por lo tanto, debe entenderse que su recurrencia no tendrá fin y solo resta que la población aprenda a convivir de la mejor manera con ellos en busca de hacerse lo menos vulnerable posible. Ninguno de estos peligros puede ser detenido por el hombre, es la naturaleza.

En este informe técnico se analiza las características de los peligros más importantes y recurrentes en el Valle del Colca.

2. MOVIMIENTOS EN MASA

El valle del Colca, presenta una morfología típica en forma de "V" y según su mapa geológico (Figura 2), está compuesto en su base por la presencia de depósitos lacustrinos, en su parte media por avalanchas de escombros y en su parte alta por piroclásticos y flujos de lodo. Diversos estudios geológicos en detalle (Delgado, 2012; Mariño, 2008), han mostrado que a lo largo del valle se tiene la presencia de hasta 3 terrazas importantes con origen en el rejuvenecimiento del río Colca como producto de las distintas etapas de incisión del cañón y valle. Las terrazas están conformadas por secuencias de depósitos proluviales y aluviales que han alcanzado alturas de hasta 50 metros (Figura 3). Sobre estas terrazas se encuentran asentadas importantes como Chivay, Llanque, Maca, Lari, Madrigal y Pinchollo, entre otros poblados con menor porcentaje de población que han sabido aprovechar las terrazas para el desarrollo de la agricultura. Sin embargo, AUTOCOLCA señala que solo el 48% de las terrazas se encuentran en buen estado; mientras que, el resto fueron afectados por diversos movimientos en masa.

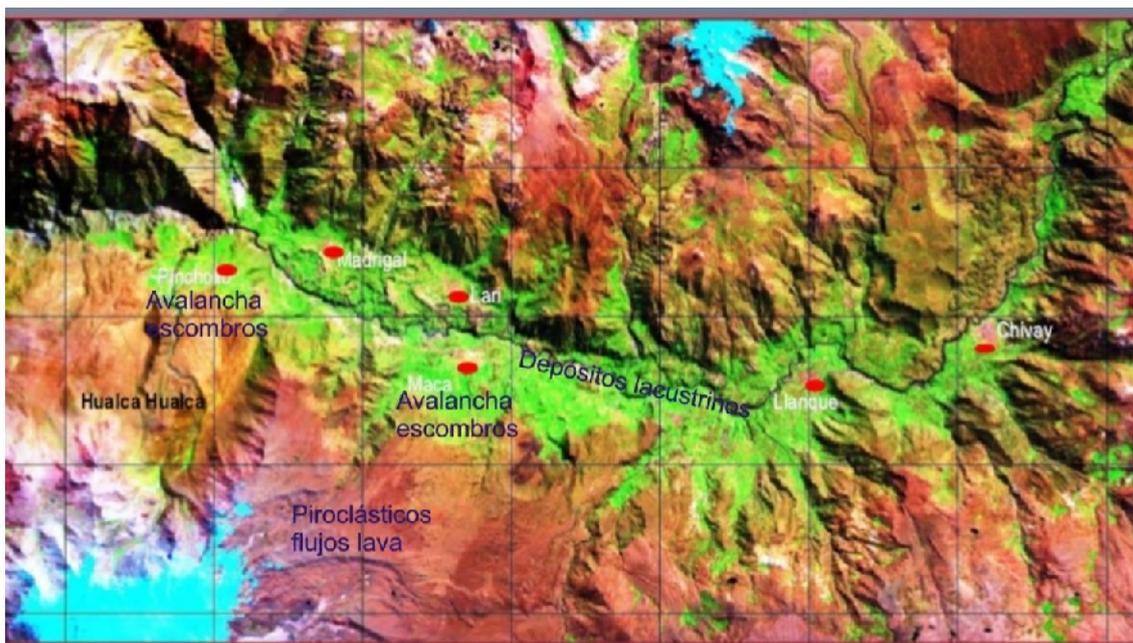


Figura 2. Mapa geológico para el valle del Colca (Mariño et al, 2014).

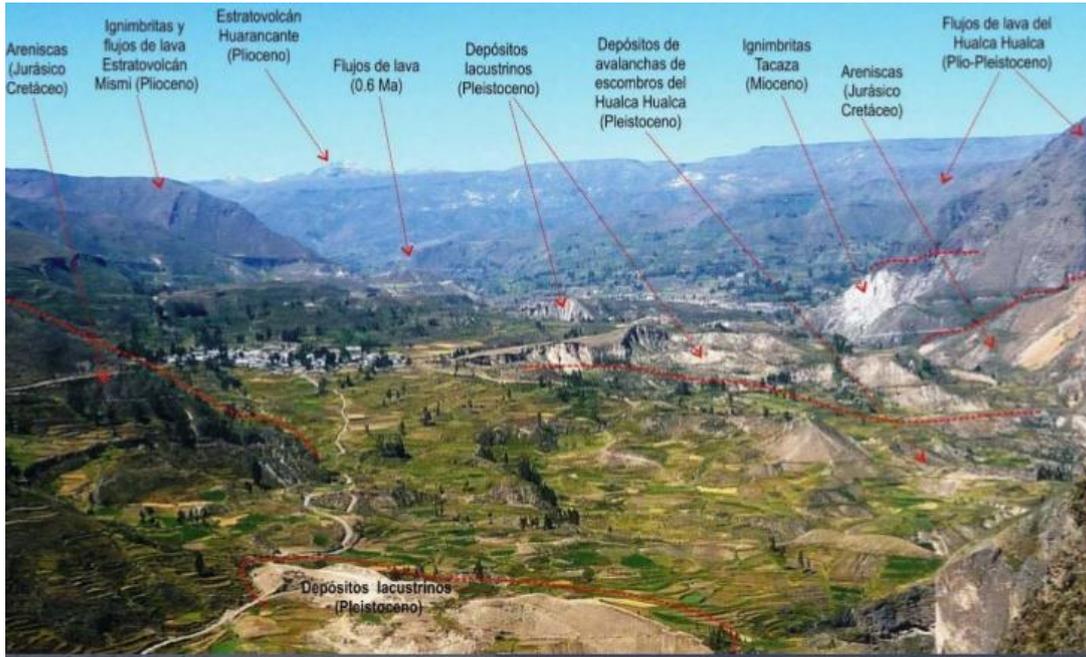


Figura 3. Geomorfología del valle del Colca vista desde el cerro Chipana. Al fondo la localidad de Lari y presencia de unidades geológicas de mayor importancia. Del mismo modo, la presencia de terrazas usadas para la agricultura.

En el valle del Colca, los movimientos en masa más recurrentes en el tiempo han sido los deslizamientos, la caída de roca y huaycos. En general, estos peligros afectan frecuentemente a canales de irrigación, carreteras, andenes para la actividad agrícola, así como a las localidades más importantes presentes a lo largo del valle (Figura 4). Un ejemplo es la localidad de Maca, que después del sismo del 2001, ha sido frecuentemente afectado por deslizamientos y hundimientos del suelo.



Figura 4: Deslizamientos y hundimientos que afectan el pueblo de Maca y la carretera Maca-Cabanaconde (Mariño y Macedo, 2015)

Según Mariño y Macedo (2015), las causas más frecuentes para que se originen movimientos en masa en el valle del Colca son las: inadecuadas prácticas de riego, carencia de drenajes adecuados para el agua, construcción de obras de infraestructura que desestabilizan los taludes, erosión o socavamiento del río Colca y quebradas que drenan hacia los depósitos de avalanchas de escombros y depósitos lacustrinos. Estas unidades, al quedar inestables o poco competentes, pueden ser fácilmente activadas en movimientos en masa con la ocurrencia de sismos o lluvias extremas, tal como ocurre en sectores de las localidades de Lari y Maca (Figuras 5 y 6).



Figura 5: Andenerías en la localidad de Lari afectadas por deslizamientos en la margen derecha del río Colca (Mariño y Macedo, 2015)



Figura 6: Deslizamiento en el cerro Antahuilque ubicado entre las localidades de Lari y Maca (Mariño y Macedo, 2015).. Está afectando tierras de cultivo, así como las carreteras Lari- Maca y Maca-Cabanaconde.

Estudios recientes realizados sobre movimientos en masa por el INGEMMET (2014), señalan lo siguiente:

- .- Se han identificado el desarrollo de movimientos en masa en los sectores de Maca, Madrigal, Lari, Marcapampa, La Calera y Antahuilque, todos consideran depósitos proluviales, lacustres, aluviales y avalanchas de escombros.
- .- Se han identificado la presencia de bofedales y manantiales en los suelos que forman parte de los deslizamientos de Madrigal, Maca y Lari, lo cual incrementan el peligro del movimiento en masa.
- .- Se han identificado el desarrollo de avalanchas de rocas que descendieron y se encauzaron por las quebradas conocidas como Hualca Hualca, Japo, Colpane, Molino, Trapiche y río Sepina, alcanzado algunas de ellas el fondo del valle.
- .- Se han identificado la presencia de flujos de detritos con la formación de grandes depósitos emplazados como abanicos en la desembocadura de las quebradas de los Molinos, Carhuamayo, Tucullune, Chunta Huayco, río Sepina, Picomayo y Callumayi.

En general, estos movimientos en masa están produciendo la pérdida de áreas de cultivo (andenes) y pastizales, además de varios tramos de la carretera entre Chivay - Cabanaconde y Maca - Lari. También se debe tomar en cuenta a los Baños Termales La Calera y a los canales de irrigación.

Se debe reiterar que los peligros derivados de los movimientos en masa son parte de la evolución geodinámica a escala local y en las condiciones discutidas, ellos son recurrentes en el tiempo, estando su frecuencia acondicionada la presencia o no de los elementos detonadores como son los sismos, las capas

freáticas, la saturación de los suelos por presencia de lluvias extremas y por el hombre que frecuentemente altera el ecosistema. A pesar que existen diversos informes técnicos elaborados por INGEMMET, Ocola et al (2002), con recomendaciones precisas sobre las actividades que la población y autoridades deben ejecutar para reducir la vulnerabilidad ante estos peligros (implementar sistemas de monitoreo para conocer la dirección del desplazamiento y velocidad de estos movimientos en masa, adecuados sistemas de riego y medidas de carácter estructural para estabilizar los taludes y evitar la erosión), no son tomados en cuenta por las autoridades y/o población que fácilmente olvida los sucesos del pasado cercano.

3.- ACTIVIDAD VOLCÁNICA

En la Tierra los volcanes no se presentan al azar, ellos se concentran entre los bordes de las placas rígidas y en el caso de Sudamérica, su origen es asociado al proceso de subducción y en donde a cierta profundidad, la placa de Nazca (oceánica) que se introduce por debajo de la Sudamericana (continental) se deshidrata debido al aumento de temperatura que facilita la fusión de las rocas. El fluido que allí se forma, se remonta a través de la placa superior para dar origen a magmas viscosos cuyo volcanismo resultante es mucho más explosivo, tal como ocurre con los volcanes de la región Sur de Perú.



Figura 7: Principales tipos de erupción volcánica. .a) nubes ardiente en volcanes peleanos, .b) columnas de material volcánico en erupciones plinianas, .c) fumarolas y lavas en volcanes hawaianos y .d). Erupción vulcaniana.

Los volcanes pueden ser clasificados de muchas maneras y de acuerdo a sus parámetros, físicos, químicos, geológicos etc, pero la más práctica debido a que engloba a todas las demás, es a partir de su comportamiento eruptivo (Figura 7), pudiendo ser del tipo Peleano, Pliniano, Hawaiano y Vulcaniano (Francis y Silva, 1989). Los volcanes de la región sur del Perú pueden ser considerados como Vulcanianos y ello significa que solo representan peligro sobre una zona restringida alrededor del cono volcánico. Estos volcanes presentarían explosiones repetidas con columnas de cenizas que alcanzan alturas de algunos kilómetros para ser dispersadas por el viento y depositadas en varios kilómetros, además de expulsar bloques de rocas que caen cerca del cráter. En este tipo de erupción, la lava es más viscosa y pastosa; por lo tanto, se solidifica rápidamente en la superficie.

Los volcanes de la región Sur de Perú, forman parte del extremo Norte de la Zona Volcánica de los Andes Centrales y esta conformada por 12 volcanes activos, siendo los más importantes el Misti, Ampato-Sabancaya-Hualca Hualca, Andagua, Coropuna, Huaynaputina Ubinas, Ticsani, Tutupaca, Yucamane y Casiri, todos ubicados en los departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna respectivamente. Sin embargo, el mayor complejo volcánico está formado por los volcanes Nevado Hualca Hualca de 6020 m.s.n.m. (zona Norte), Sabancaya de 5976 m.s.n.m (zona Centro) y Nevado Ampato de 6280 m.s.n.m (zona Sur), todos distribuidos de Sur a Norte (Figura 8), entre las localidades de Huanca y Cabanaconde (provincia de Caylloma, departamento de Arequipa). La actividad volcánica de este complejo no es reciente, ya que existen referencias de manifestaciones de actividad desde inicios de la llegada de los españoles (siglo XVI). Así, a mitad del siglo XVIII, las crónicas de Travada y Córdoba (1752) y Barriga (1951), indican que este complejo, conocido entonces como "*Ambato*", que en el lenguaje quechua significa "Sapo", ha pasado por dos episodios eruptivos, uno en 1752 y el segundo en 1784-1785. Estos autores indican:



Figura 8: Complejo volcánico integrado por el Hualca-Hualca, Sabancaya y Ampato en el valle del Colca

“El volcán de Ambato, como han corrompidos los españoles, está en la provincia de Collagas a veinte y tantas leguas al occidente de la ciudad de Arequipa. Su altura será de tres cuartos de legua, con falda muy dilatada que transitando yo por su faldas hice mansión muy cerca y sentí aquella noche ruido que sería de peñas que escaladas del fuego que arde incesantemente bajan despeñadas de la altura en busca de su centro, allí, el volcán esta perennemente ardiendo de día y de noche y que no hay noticia de haber hecho estragos en tiempos inmemorables”.

Así mismo, un 11 de Julio de 1784, posterior al terremoto del 13 de Mayo de ese año, en un diario elaborado por Zamácola y Jaúregui (1804), se lee:

“Día, 11.- a las 9 y 56 minutos se sintió un temblor de tierra, con bastante remezón pero que no causó ningún daño. Se tuvo noticia de que el pueblo de Lari, jurisdicción de Caylloma, hay un cerro o volcán llamado Ambato, el que a efectos de estos terremotos, el volcán humea y bosteza fuego”.

Ninguna de estas descripciones, permitió entonces discernir a cuál de los tres volcanes se referían, aunque en la actualidad se asume que se trataría del volcán Sabancaya (Rodríguez, 1991). Desde entonces, no se había tenido ninguna

noticia de actividad volcánica hasta el año 1981, donde las primeras señales de reactivación del complejo volcánico fueron dadas por los habitantes de las localidades de Cajamarca y Huacachiguero, situados al pie del complejo. Posteriormente, en 1985 se habría incrementado la emisión de fumarolas y de ruidos que hasta entonces eran poco frecuentes, pero los habitantes de la zona no le dieron mucha importancia hasta un año después (Huamán, 1995). A inicios de Noviembre de 1986, el volcán Sabancaya, ubicado en la parte central del complejo volcánico, inicia una actividad fumarólica intensa con la consecuente emisión de gases que alcanzaron alturas de 500 y 1000 metros siendo más visibles a varios kilómetros, hecho que provocó alarma en los habitantes de los poblados de Chivay y Cabanaconde. Sin embargo, dicha actividad fumarólica fue disminuyendo paulatinamente hasta mediados de 1987, para luego incrementarse afectando a los habitantes de las localidades más cercanas con gases y fumarolas cada vez más violentas. Durante el año 1989, la actividad volcánica del Sabancaya se mostró menos frecuente y en Mayo de 1990, pasa a una fase explosiva caracterizada por emisión de cenizas y caída de rocas acompañadas de ruidos y sismicidad local débil.

Después del año 2012, instituciones como el Instituto Geofísico del Perú y el INGEMMET, iniciaron realizaron actividades de monitoreo y estudios sísmicos y geológicos entorno al volcán Sabancaya, llegándose a identificar la ocurrencia de importante sismicidad (asociada posiblemente al movimiento de fluidos y fracturación interna de los bordes de la cámara magmática) y la presencia de lavas y cenizas recientes, lo cual ponía en evidencia que el volcán se encontraba activo (Figura 9). Luego, desde el año 2013 el volcán Sabancaya ha tenido varios periodos de reactivaciones temporales con la presencia de fumarolas y emanación de cenizas. Queda aún en estudio el comprender si los sismos, con origen en los diversos sistemas de fallas tectónicas, generan la erupción temporal del volcán o si, la reactivación del volcán origina la ocurrencia de sismos (OVS, 2015). Ambos peligros conviven y en conjunto controlan la geodinámica local de todo el valle del Colca.



Figura 9: Volcán Sabancaya y erupción vulcaniana reciente.

Los procesos eruptivos del Volcán Sabancaya o "Sahuancqueya", que significa volcán que escupe, tienen un área de influencia que considera población e infraestructura vulnerable distribuidos a lo largo del valle del Colca. Los centros poblados más importantes, por su cercanía al volcán, son los de Chivay, Yanque, Achoma, Maca, Ichupampa, Lari, Madrigal, Pinchollo y Cabanaconde (Figura 10) y ante las reactivaciones recurrentes del volcán, sus principales actividades económicas como la agricultura, ganadería y turismo, han sido los primeros en ser afectados y después de cada proceso volcánico, se concluye que los escenarios de daños y efectos no cambian, siempre presentan las mismas características. La presencia del proyecto "Majes I", que brinda de agua al complejo agrícola Majes-Siguas, las vías de acceso al valle y cañón del Colca, así como la línea de transmisión Socabaya-Mantaro que forma parte del sistema interconectado nacional para proveer de energía a todo el sur del Perú, corren el riesgo de ser afectados con un escenario eruptivo mayor a los que se vienen presentando en estos últimos años.

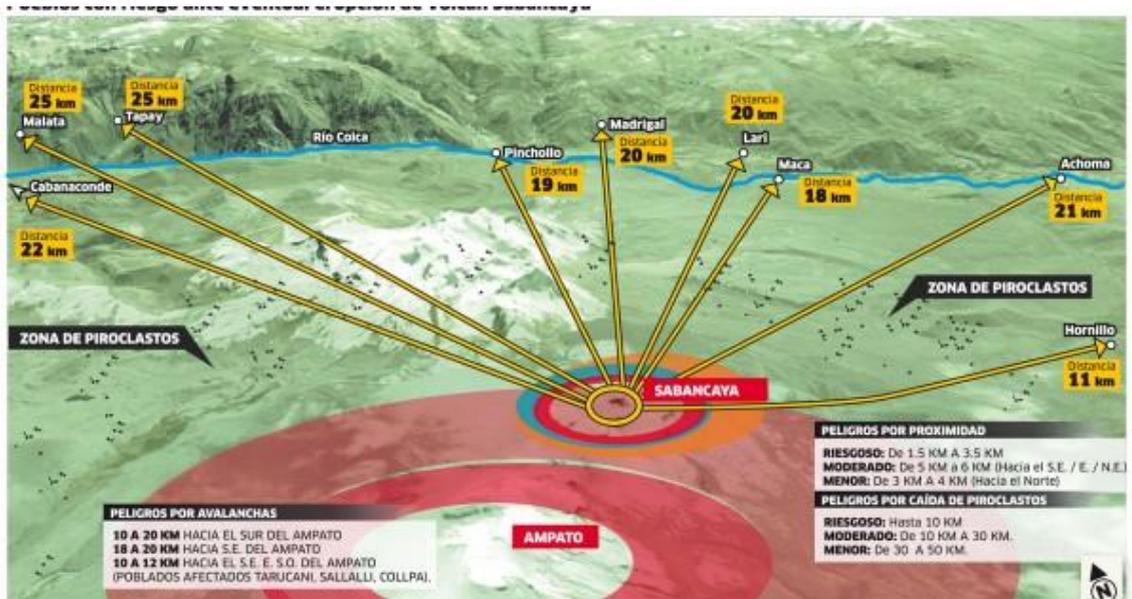


Figura 10: Localidades distribuidas a lo largo del valle del Colca que han sido, son y serán en el futuro afectadas por los recurrentes procesos eruptivos del volcán Sabancaya.

4. - ACTIVIDAD SÍSMICA

En el borde occidental de Perú se desarrolla el proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana a una velocidad del orden de 7-8 cm/año (DeMets et al, 1980; Norabuena et al, 1999), siendo el responsable de la actual geodinámica y geomorfología del territorio peruano. Asimismo, este proceso da origen a sismos de diversas magnitudes y focos a variadas profundidades (Figura 11): sismos debidos a la fricción de placas (oceánica y continental), deformación de la placa oceánica por debajo de la cordillera y deformación de la placa continental a niveles superficiales.

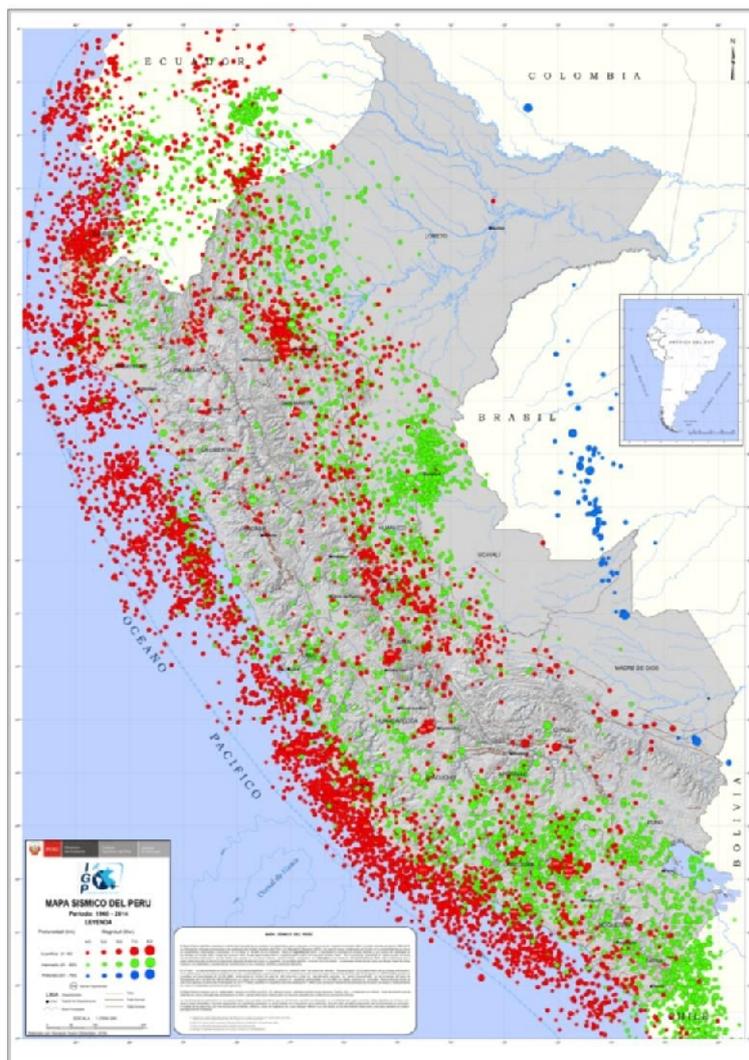


Figura 11: Mapa Sísmico del Perú para el periodo 1964 y 2014 (Tavera, 2014).

A diferencia de los sismos que ocurren en borde occidental del Perú, los que se producen en el interior del continente por la formación o reactivación de fallas tectónicas, son de menor magnitud y frecuencia, pero por presentar su focos cerca de la superficie producen altos niveles de sacudimiento del suelo y por consiguiente, daños en la morfología del terreno, viviendas y personas. Tal es el caso de la actividad sísmica que ocurre en el valle del Colca, todos con origen en las reactivaciones temporales de los sistemas de fallas tectónicas y procesos volcánicos,

4.1. - Sismotectónica local

El valle del Colca se encuentra bordeado de importante actividad tectónica reciente y puesta en evidencia por Huamán et al (1993) y Huaman et al (1995) a partir del análisis e interpretación de imágenes satelitales del tipo Landsat MSS y observaciones de campo (Figura 12). El resumen de estas investigaciones indica el desarrollo de importante deformación tectónica local representada principalmente por las fallas de Ichupampa, Huanca y el sistema Huambo- Cabanaconde, en donde sobresalen las fallas de Solarpampa y El Trigal. Estas trazas de falla de tipo normal, se encuentran ubicadas en los extremos NE, SO y NE del complejo volcánico Ampato-Sabancanya-HualcaHualca (Sébrier, 1985). Asimismo, en la Figura 12 se observa la presencia de un importante número de lineamientos que sustenta el desarrollo de altos índices de deformación con la ocurrencia de importante actividad sísmica.

Los sismos más importantes y recientes se produjeron en los años 1991, 1992 y 1998 (Figura 13). El primer sismo ocurrió el 23 de julio de 1991 a las 14h 45m hora local, con una magnitud de 5.4 Mw (foco a 4 km de profundidad) y epicentro a 6 km al SE de la localidad de Maca. Este sismo produjo en superficie importantes asentamientos y deslizamientos de tierra, además de numerosos desprendimientos de rocas a lo largo de las pendientes del río Colca. Las

localidades más afectadas, fueron las de Lari y Maca, en donde el 20% y 80% de las viviendas fueron destruidas, además de 14 personas fallecidas y numerosos heridos. La evaluación de daños permite considerar que estas localidades soportaron una intensidad máxima de VIII grados en la escala de Mercalli Modificada, MM (Rodríguez y Huamán, 1992). El segundo sismo ocurrió el 01 de Febrero de 1992 a las 12h 22m hora local, con una magnitud de 5.0 Mw y foco a 5 km de profundidad. El epicentro del sismo fue localizado a 3 km al NO de las localidades de Hituhuasi y Visconoja en Pampa Sepina. Este sismo fue seguido por un importante número de réplicas y produjo la caída de rocas y asentamientos de tierras en el valle de Sepina. Las localidades más afectadas fueron Huituhuni, Sahuana y Layuni, donde la intensidad máxima llegó a VI MM (Antayhua y Tavera, 2002).

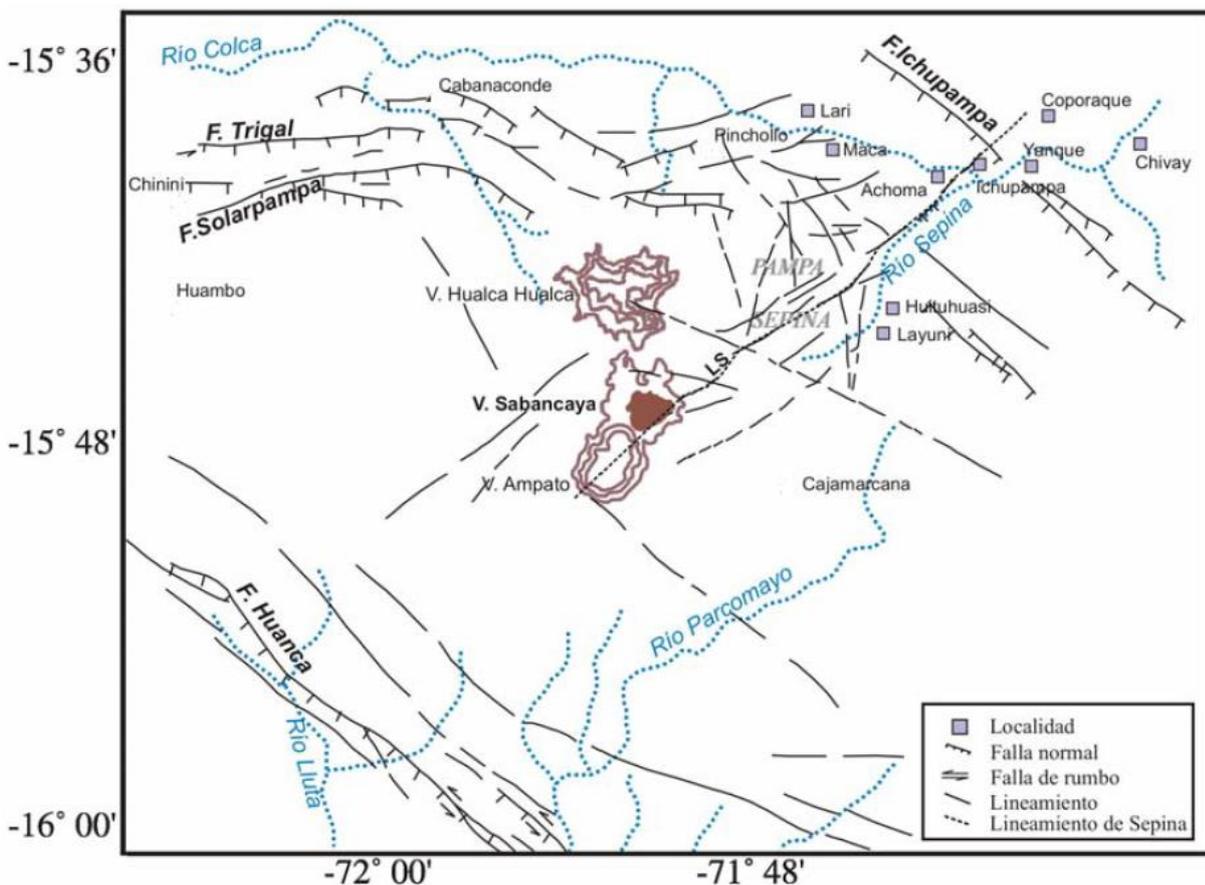


Figura 12: Principales sistemas de fallas y lineamientos en la región del Cañón del Colca - Arequipa

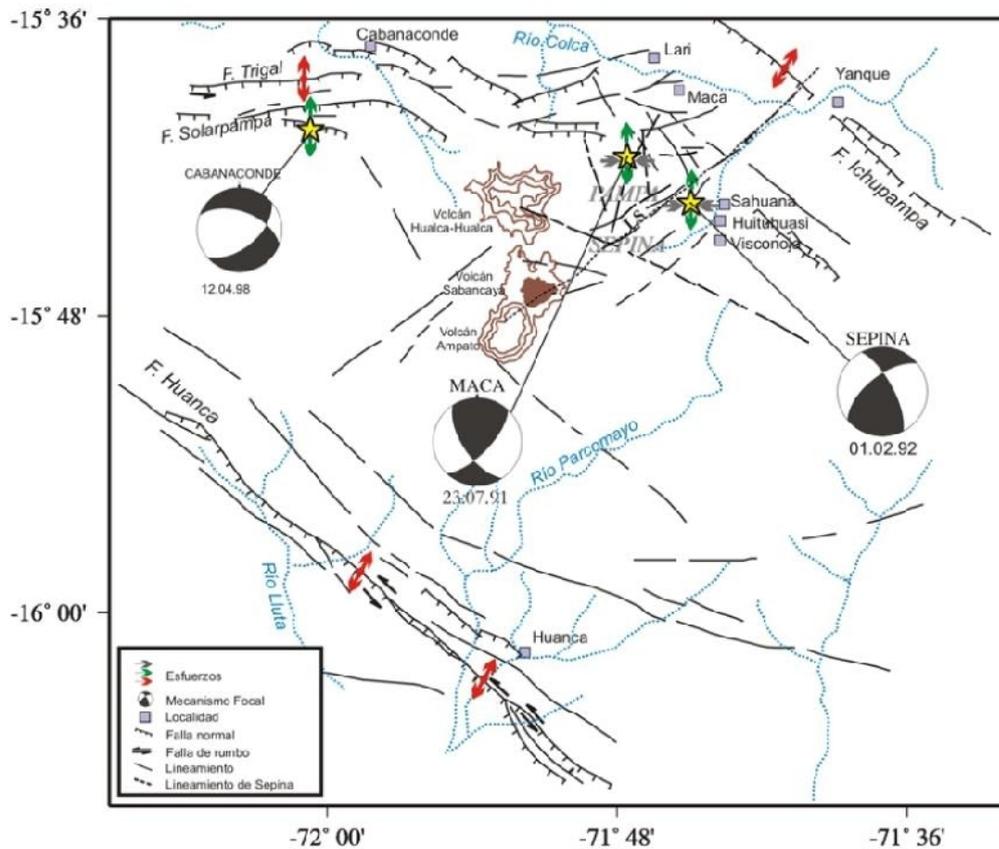


Figura 13: distribución epicentral de los sismos de Maca, Sepina y Cabanacone-Huambo de 1991, 1992 y 1998. Las flechas rojas indican la orientación de los ejes T obtenidos de estudios de microtectónica y las flechas verdes y grises, la orientación de los ejes T y P deducidos de los mecanismos focales (Antayhua y Tavera, 2002)

El tercer sismo ocurrió el 12 de Abril de 1998 (18h 49m, hora local) con una magnitud de 5.2 Mw y epicentro localizado a 9 km al sur de la localidad de Cabanaconde y a 13 km al NE de Huambo. Este sismo no produjo daños personales; sin embargo, casi el 50% de las viviendas de ambas localidades fueron dañadas y destruidas debido a la precariedad de sus construcciones (adobe y piedras). Además, algunas carreteras fueron interrumpidas por la caída de rocas y tierra. Las localidades más afectadas fueron las de Huambo, Cabanaconde, Tapay y Choco, las mismas que soportaron intensidades máximas de V (MM). El sismo de 1998 fue seguido por un importante número de réplicas de magnitudes menores que incrementaron la preocupación y zozobra de la población.

El 17 de julio de 2013, el sistema de fallas, Huambo-Cabanaconde, se reactivó nuevamente con la ocurrencia de un sismo de magnitud 5.7Mw (Tavera et al, 2013), con epicentro a 9 km al NE de la localidad de Huambo y foco a tan solo 7 km de profundidad (Figura 14). El evento produjo en superficie intensidades de VI (MM) y daños importantes en las localidades de Hambo y Cabanaconde con el derrumbe de 35 viviendas de adobe-piedra y alrededor de 80 con rajaduras. Las personas se refugian en la plaza de Armas y colegio Hipólito Sánchez. En la ruta Huambo-Cabanaconde se produjo deslizamientos de piedras y tierra que obstaculizaron el tránsito en las carreteras. En las localidades de Maca, Lari y Madrigal, el sismo fue sentido fuerte por todos, muchos salieron de sus casas, algunos muros de viviendas se dañaron y cayeron objetos. Se indica que el movimiento estuvo acompañado de ruido. Se informó de derrumbes cerca de la localidad de Tapay y otros en lo largo del Cañón del Colca. En estas localidades la intensidad evaluada fue de V (MM). En la localidad de Aplao se sintió relativamente fuerte produciendo que algunas personas abandonen sus viviendas. En esta localidad la intensidad evaluada fue de IV (MM).

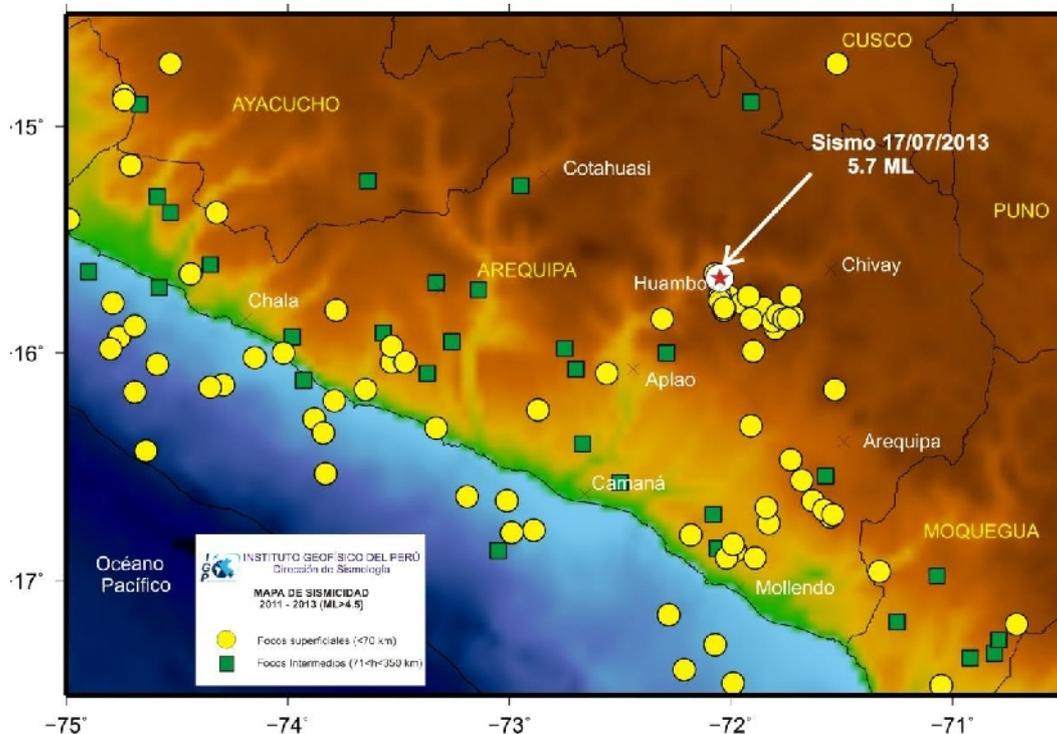


Figura 14: Ubicación epicentral del sismo del 2013 y distribución espacial de los sismos reportado por el IGP como sentidos en las localidades de la región sur del Perú entre los años 2011 y 2013.

Por otro lado, según Antayhua y Tavera (2002), los daños y efectos producidos por el sismo del año 1998 en las localidades de Cabanaconde, Huambo, Tapay y Choco fue de V (MM) presentaron las siguientes características:

"Sentido fuerte por todas las personas sin causar daños importantes, solo algunas personas con heridas leves. Las viviendas construidas enteramente de rocas, adobe y barro sufrieron desplomes de algunas partes de sus paredes y otros presentaban rajaduras. Así mismo, se produjeron pequeñas fisuras en el suelo y en algunos caminos de herradura, además los canales de regadío fueron interrumpidos por efecto de los derrumbes. La carretera Huambo-Cabanaconde estuvo interrumpida por la caída de pequeños bloques de roca. Los terrenos de cultivo sufrieron caída de cercos".

En términos generales, la descripción de los efectos y daños producidos por el sismo del 17 de julio del 2013 en las localidades de Huambo, Cabanaconde y Maca, son similares a los evaluados para el sismo de 1998 y crisis sísmica del año 2015; es decir, el peligro es recurrente en el tiempo, así como los tipos de daños y efectos en las localidades distribuidas a lo largo del valle del Colca,

4.2. - Sismicidad local y regional

Cuando se analiza el mapa de sismicidad de la región sur del Perú (Figura 15), se observa que los sismos de foco superficial (círculos rojos), están presentes mayormente frente a la zona costera y tienen su origen en el proceso de fricción de placas. Estos sismos llegan a presentar grandes magnitudes y daños en áreas extensas, por ejemplo el sismo del 2001 (8.2 Mw). Es posible que este sismo, por su tamaño, haya producido algunos efectos secundarios en el valle del Colca como deslizamientos de piedras y tierra en áreas de pendiente alta. Del mismo modo, en la Figura 15 se observa la presencia de un área con ausencia de sismos frente a los departamentos de Moquegua y Tacna, siendo reconocida por los sismólogos como una zona de silencio sísmico y que debe dar origen, en el futuro, a un nuevo sismo de elevada magnitud (Chlieh et al 2010; Pulido et al 2013; Tavera 2014), el mismo

que volvería afectar a toda la región sur del Perú. Los grandes sismos son cíclicos o recurrentes en el tiempo.

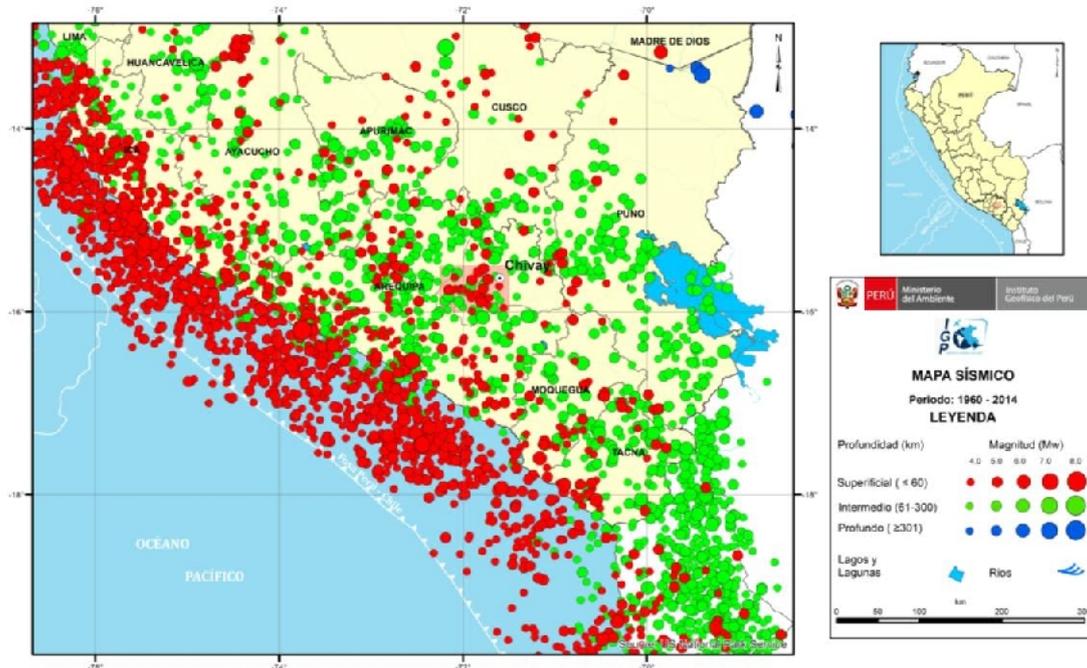


Figura 15: Mapa de sismicidad para la región sur del Perú. Para identificación de los epicentros, ver la leyenda.

Del mismo modo, en la Figura 16 se observa que en el interior del continente, en la zona que considera el valle del Colca, se tiene acumulación de epicentros sísmicos confirmando que la misma, es altamente sísmica. Los sismos corresponden al periodo 2005 y 2015, y sus epicentros se encuentran cubriendo a las principales trazas de fallas locales que controlan la deformación superficial a lo largo del valle, así como en el entorno del complejo volcánico de Hualca Hualca-Sabancaya-Ampato. Esta sismicidad confirma que la zona ha sido, es y será por siempre afectada por sismos de manera frecuente; por lo tanto, la población y principalmente sus autoridades, deben considerar que el peligros sísmico es parte de la evolución geodinámica local y regional.

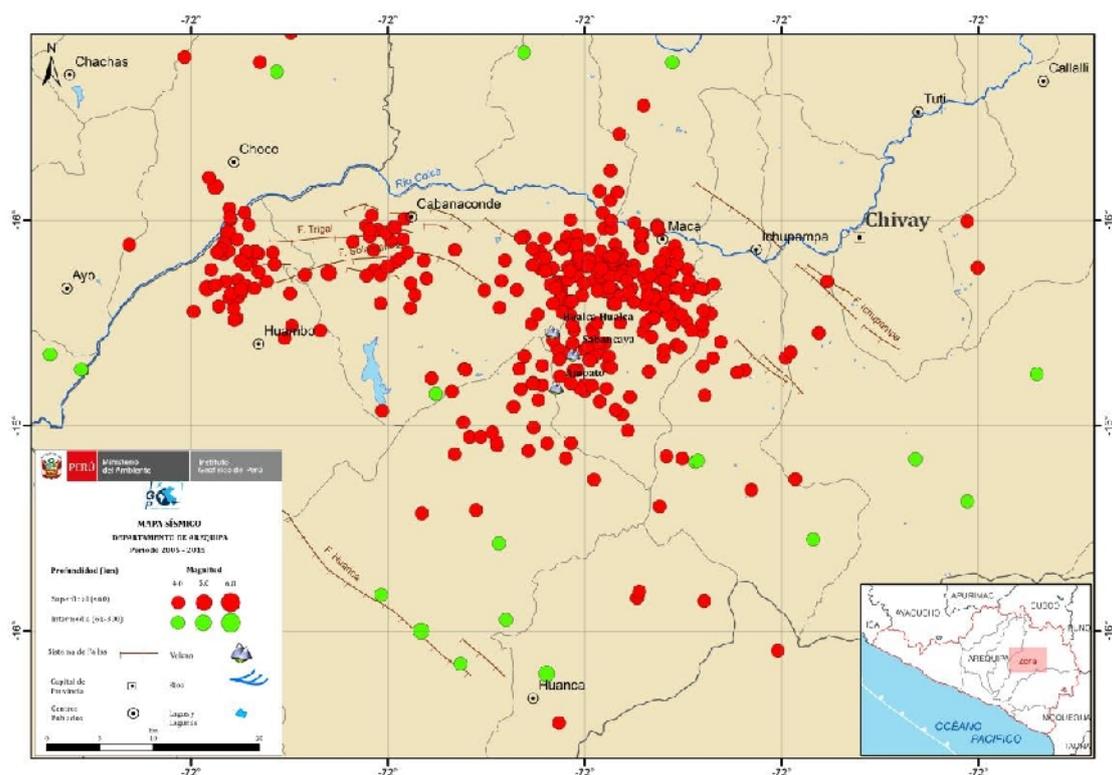


Figura 16: Mapa de sismicidad local en el valle del Colca. Para identificación de los epicentros, ver la leyenda.

5. - EXPOSICION Y VULNERABILIDAD

De acuerdo a todo lo expuesto sobre los principales peligros naturales que controlan la geodinámica local en el valle del Colca, se llega a conclusión que ellos son reiterativos en el tiempo y siempre lo hacen con mayor o menor intensidad, afectando siempre las mismas unidades expuestas, sean viviendas, carreteras y la misma población. Los movimientos en masa tienen como elementos detonantes, a los sismos, las lluvias o el incremento de las capas freáticas locales, sea por lluvias o por acción de las actividades de regadío bajo la responsabilidad de la población local. En todos los casos, queda en evidencia que debido a la alta actividad geodinámica de la zona, los suelos son muy jóvenes, sin tiempo para lograr compactarse lo suficiente para ser estables, en tal sentido, todos los peligros derivados de los diversos movimientos en masa, van a continuar afectando a las mismas áreas y localidades dañadas en el pasado (Figuras 17, 18 y 19).



Figura 17: Huayco en la carreta a Chivay producido por lluvias



Figura 18: Carretera Maca-Cabanaconde con deslizamiento de tierra producto de inestabilidad de suelos



Figura 19: Daños en superficie producido por sismos en las cercanías de la localidad de Maca

La región sur del Perú, se diferencia de otras, por tener importantes volcanes y de ellos, el complejo Hualca Hualca - Sabancaya - Ampato, es de los más activos junto al volcán Ubinas en Moquegua. Los productos volcánicos emitidos durante antiguas explosiones, son los que han favorecidos para que los suelos en el

calle del Colca sean fructíferos y aptos para la agricultura. Del mismo modo, los grandes relaves han formado superficies adecuadas, aparentemente, para el desarrollo de centros urbanos. Pero al igual que otros peligros presentes en el valle, las erupciones volcánicas continuaran y sus productos seguirán contribuyendo a la riqueza de sus suelos. A la fecha, el INGEMMET ha publicado mapas en detalle de los peligros volcánicos y ellos deben ser usados por las autoridades y población para comprender sus riesgos y las acciones a considerar para reducir la vulnerabilidad de las localidades ubicadas a lo largo del valle del Colca (Figura 20).

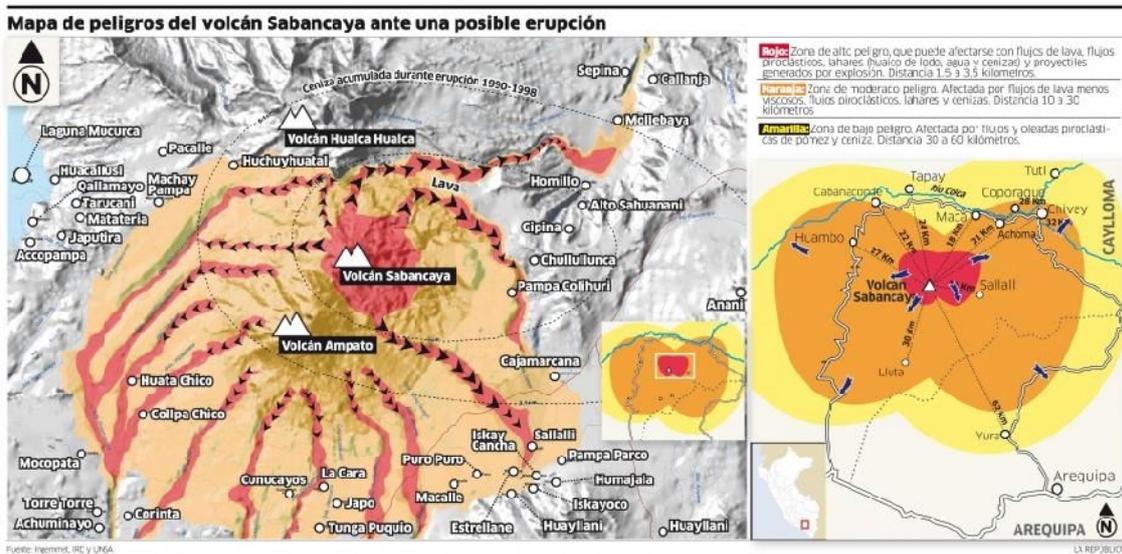


Figura 20: Mapa de peligros del volcán Sabancaya por erupción (INGEMMET)

Por otro lado, la actividad sísmica muestra que las fallas tectónicas presentes a lo largo del valle del Colca, han venido generando sismos y lo seguirán haciendo mientras nuestro planeta Tierra exista. Pero el problema principal no son los sismos, sino la manera como la población local está preparada para enfrentarlos. Se debe mejorar los tipos de construcción que aún persisten en la zona, así como cambiar los materiales que se utilizan y sobretodo la falta de cultura de prevención. La población no comprende que los sismos solamente sacuden el suelo, con mayor o menor intensidad, los desastres se producen porque los suelos al ser jóvenes amplifican las ondas sísmicas y las casas, al estar construidas con material

inadecuado o por ser muy antiguas, fácilmente colapsan produciendo daños a la población (Figuras 21 y 22).



Figura 21: Daños en viviendas de adobe y piedras como efectos por la ocurrencia de sismos en el valle del Colca



Figura 22: Daños en viviendas de adobe y piedras como efectos por la ocurrencia de sismos en el valle del Colca en el año 2013-

CONCLUSIONES

En el valle del Colca, los procesos dinámicos que se desarrollan a través del tiempo son por demás complejos y al ser una región de continua evolución, los peligros como movimientos en masa, erupciones volcánicas y sismos son recurrentes en el tiempo. Este escenario sugiere que los peligros antes indicados siempre se harán presentes, en menor o mayor periodo de tiempo pero ellos seguirán afectando a las mismas áreas y su intensidad dependerá, de que tan cerca se encuentren las localidades o pueblos en el valle del Colca.

En el caso de los movimientos en masa, la ciencia ha permitido utilizar metodologías que al ser aplicadas permiten prever la ocurrencia de los deslizamientos, licuaciones de suelos y huaycos, pero es la población quien no responde de manera acertada ante estos aportes. Del mismo modo, la actividad volcánica, previos a posibles erupciones, da origen a sismos de menor magnitud y fumarolas de poca altura, y ambos representan ser avisos directos de que se puede desarrollar escenarios mayores, pero igual, la población no responde de manera acertada.

Quizás, los sismos, al ser menos predecibles, sorprenden a la población con los daños y efectos que se repiten. Ahora se conoce que a lo largo del valle del Colca, existe un gran número de fallas tectónicas que están y seguirán produciendo sismos, es una realidad que no va a cambiar. Los sismos solo sacuden del suelo con mayor o menor intensidad y si las viviendas al ser construidas, carecieron de apoyo técnico o utilizaron materiales inadecuados, ellas colapsaran, tal como ocurrió en el pasado. El problema actual radica en el hecho que la población se está incrementando y proceden a invadir áreas de riesgo, aun sabiendo que el peligro existe. Estamos acostumbrados a jugar con la suerte.

Queda demostrado que los peligros naturales como movimientos en masa, erupciones volcánicas y sismos, siempre ocurrirán en el valle del Colca y está en manos de la población comprender esta realidad y para ellos deben tomar en cuenta los escenarios del pasado cercano y luego preparar su entorno y viviendas para ser menos vulnerables. El Perú tiene infinidad de peligros naturales y todos son recurrentes en el tiempo y por lo tanto, solo resta prepararse para simplemente, reducir nuestra vulnerabilidad. La naturaleza evoluciona y cambia continuamente, el hombre no puede hacer nada para evitarlo, solo debe aprender a convivir en el mismo espacio.

BIBLIOGRAFIA

- Antayhua et al (2002): Localización hipocentral y características de la fuente de los sismos de Maca (1991), Sepina (1992) y Cabanaconde (1998). Región del volcán Sabancaya. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, V93, 63-72.
- Antayhua, Y. y Tavera, H. (2001): Análisis de la actividad sísmica en la región del volcán Sabancaya. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, V92, 79-88.
- Barriga, V. (1951). Los terremotos en Arequipa: 1582-1868. La Colmena. Arequipa. 332 p.
- Chlieh, M., Perfettini, H., Tavera, H., Avoac, J-P. (2011). Interseismic coupling and seismic potential along Central Andes subduction zone. *J. G. R.* Vol 116, B12405, doi:10.1029/2010JB008166
- Delgado, R. (2012). Estudio geológico, petrográfico y geoquímico del complejo volcánico Sabancaya-Ampato. Tesis Ingeniería, Universidad san Agustín de Arequipa.
- DeMets, C., Gordon, R., Argus, D., y Stem S. (1990). Current Plate Motions. *Jour. Geophys. Res. Into.* **101**, 425-478.
- Dorbath, L., A. Cisternas, y Dorbath C. (1990). Assesment of the size of large and great historical earthquakes in Peru, *Bull.Seims.Soc.Am.*, Vol. 80, N° 3, pp. 551-576.
- Francis, P y Silva, S. (1989). Aplication of the Landsat Thematic Mapper to the identification of potentially active volcanoes: a new satellite technique, *Nature*, **338**: 144-146.
- Gonzáles, E., Kosaka, M y Minaya, A., (1996). Sismicidad del volcán Sabancaya y el Hualca-Hualca. Segundo Seminario Latinoamericano: Volcanes, Sismos y Prevención.
- Huamán, D. (1990). Vigilancia del volcán Sabancaya: Observaciones realizadas a la fecha 03-08-90, por el grupo IGP-Arequipa. *Inf. Int. IGP.*, 6p.
- Huamán, D., Guillande, R., Rodríguez, A., Rivera, R. y Antallaca, A. (1991). Teleanálisis geológico y sismicidad del sector comprendido entre el volcán Sabancaya y el poblado de Ichupampa: El Sistema de fallas Sepina. *Inf. Int. IGP.*, 8p.
- Huaman et al (1993): Cadre structural et risques géologiques étudiés á l'aide de l'imagerie spatiale: la région du Colca (Andes du Sud Perú): *Bull. Soc. Géol. France*, t.164, no 6, 807-818

- Huaman, D. (1995). Métodos y aplicaciones de las imágenes de satélite en la cartografía geológica: El caso del seguimiento y evolución de la amenaza volcánica del Sabancaya (región del Colca, Arequipa). Tesis de Ingeniero, Univ. Nac. San Agustín, Arequipa. 138p.
- INGEMMET (2015). http://ovi.ingemmet.gob.pe/?page_id=60
- Mariño, J. (2008). Escenarios eruptivos y mapa de peligros del Complejo volcánico Ampato-Sabancaya. Tesis de Maestría Universidad de NICE, Francia.
- Mariño, J. y L. Macedo (2015). Los peligros geológicos en el valle del Colca, Arequipa. Informe INGEMMET.
- Mariño et al. (2014). Evaluación geológica del valle y cañon del Colca, Arequipa. Informe, INGEMMET.
- Norabuena, E., Leffler-Griffin, L., Mao, A. Dixon, T. (1998). Space geodetic observations of Nazca-South America Convergence. *Science*, 279, 358-362.
- Ocola et al (2002). Paleoeventos geológicos en el sector medio del valle del Colca - Arequipa y peligros geológicos asociados. IGP, Proyecto 075-CONCYTEC-IGP.
- OVS (2015)**. Reporte técnico N° 2015-03, Observatorio Vulcanológico del Sur (**OVS**). Instituto Geofísico del Perú.
- Pulido, N., Tavera, H., Aguilar, Z., Calderón, D. (2012). Mega-earthquakes ruptures scenarios and strong motion simulations for Lima, Perú. International Symposium CISMID, TS-6-2. Lima, Perú.
- Rodríguez, A., Chirinos, L., Cuenca, J. y Rivera, M. (1989). Actividad de los volcanes Ubinas y Sabancaya: *Inf. Int. IGP*. 12p.
- Sébrier, M., Mercier, J., Megard, F., Laubacher, G., Carey-Gailhardis, E. (1985). Quaternary normal and reverse faulting and the state of stress in the central Andes of Perú. *Tectonics*. 7, 895-928. 135
- Silgado, E. "Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513-1974)", Bol. 3, Serie C, Instituto de Geología y Minería, Lima-Perú, 133 pp., 1978
- Tavera et al (2013). Sismo de Cabanaconde (Arequipa) del 28 de febrero, 2015 (4.5ML) ASPECTOS SISMOLOGICOS. Informe Técnico, Dirección de Ciencias de la Tierra, IGP,

Tavera, H. (2014). Evaluación del peligro asociado a sismos y efectos secundarios en Perú. Informe Técnico, Dirección de Ciencias de la Tierra, IGP, 43 pag.

Zavala et al (2012). Evaluación de la seguridad física del Distrito de Maca. Informe Técnico, INGEMMET, IRD.