

INVESTIGACIÓN DEL DESLIZAMIENTO DE LARI

PRIMER REPORTE



POR:

**PATRICIO VALDERRAMA
GAEL ESTEFANY ARAUJO
LIONEL FIDEL
RAFAEL MIRANDA**

ENERO 2015

 **INGEMMET**

INTRODUCCIÓN

El valle del río colca se encuentra en una de las zonas de actividad geodinámica más altas del Perú. Esto se hace evidente tanto en los fenómenos de geodinámica externa: deslizamientos, avalanchas, erosión, caídas de rocas como en los fenómenos de geodinámica interna: sismos y erupciones volcánicas.

Los movimientos en masa son, año por año, el fenómeno geológico que más pérdidas materiales y humanas ocurre en el Perú. Su investigación y monitoreo forma parte importante de la Gestión de Riesgo de Desastres iniciada por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico en la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo.

El deslizamiento de Lari corresponde a un movimiento en masa antiguo pero en actividad con una deformación observable año a año mediante la destrucción de terrenos de cultivos e infraestructura del poblado de Lari.

Mediante el uso de tecnología láser de punta, el INGEMMET iniciará el monitoreo del deslizamiento de Lari, con el fin de conocer su grado de deformación, tasa de movimiento y características del mismo, para así poner a disposición de autoridades y pobladores datos óptimos para la gestión del territorio y construcción de obras de prevención.

CAPITULO I. ASPECTOS GENERALES

1.1.- Ubicación y Accesibilidad

El deslizamiento Lari se ubica en la provincia de Caylloma, departamento de Arequipa, al sur del poblado Lari a 3296 msnm, en la margen izquierda del río Colca, en las coordenadas UTM 202902.00 E; 8270445.00 S formando parte del Cuadrángulo de Chivay. Presenta una corona de 892 metros de largo y un salto promedio de 45 metros.

La zona de estudio es accesible por carretera que parte de la ciudad de Arequipa con destino a Chivay (capital de la provincia de Caylloma) y luego continua por la margen derecha del valle del río Colca por 18 Km con dirección a Ichupampa. También, se puede llegar al deslizamiento de Lari, por la carretera Chivay-Maca de 24.3 Km, la que va por la margen izquierda del río Colca.

1.2.- Clima

El distrito de Lari, zona en la que se encuentra el deslizamiento tiene una clasificación climática del tipo semi-seco a frío (Fig. 02). La estación seca comprende de los meses de Abril a Noviembre, correspondiente al otoño e invierno Austral con humedad relativa baja y temperaturas máximas comprendidas entre los 16°C (60°F) y temperaturas mínimas de 3°C (37°F) aproximadamente. La temporada de lluvias corresponde a los meses de Diciembre a Marzo (Verano Austral).

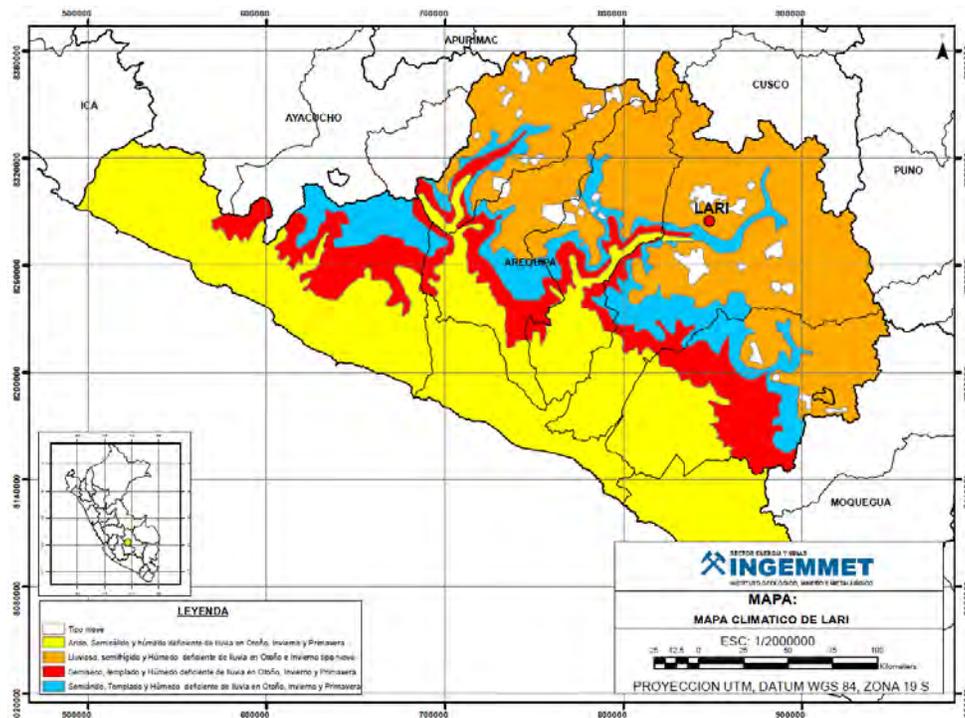


Figura 2. Mapa climático de la región Arequipa mostrando sus diferentes tipos de climas de acuerdo a su ubicación altitudinal. El punto rojo muestra la ubicación del deslizamiento de Lari.

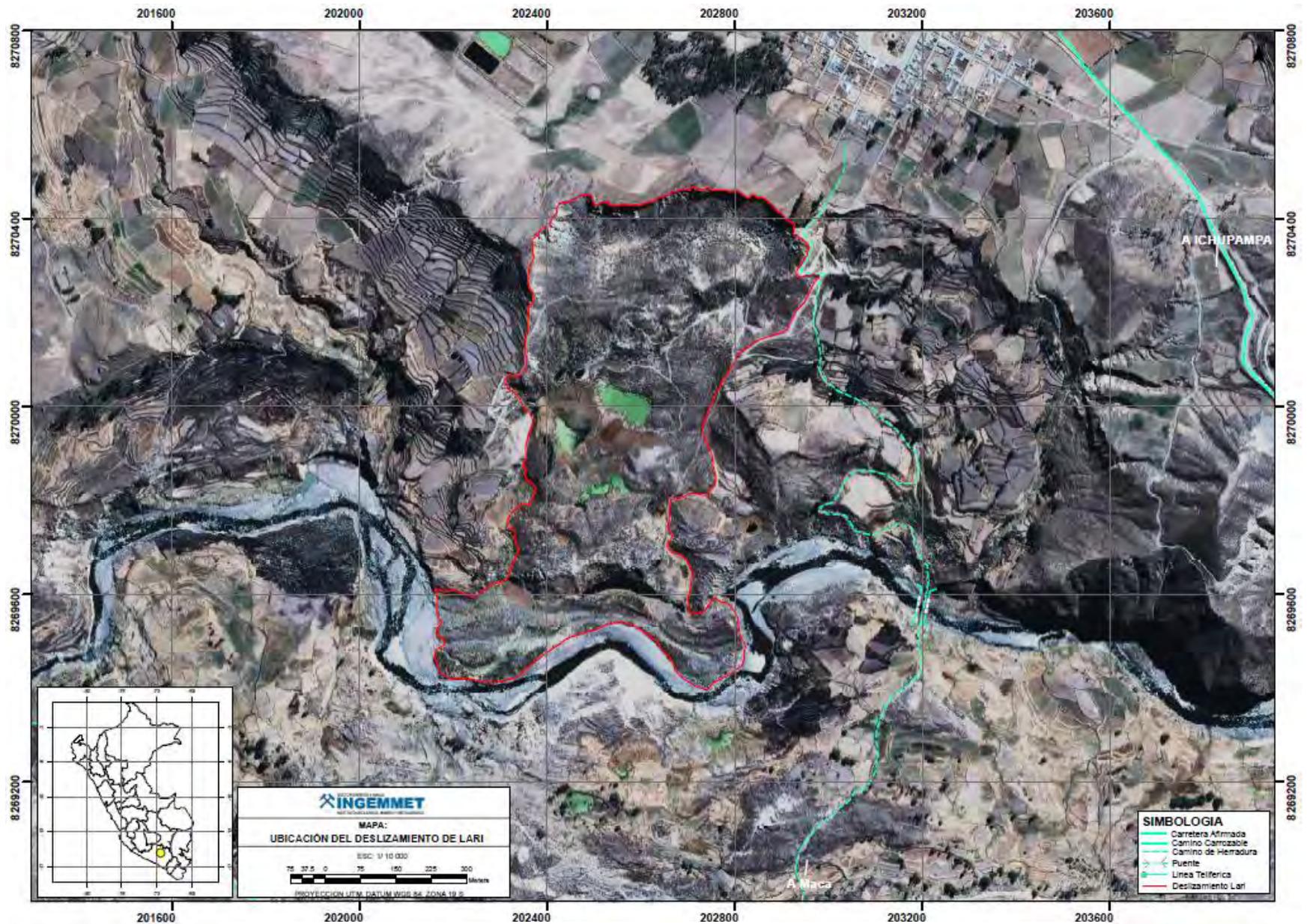


Figura 1: Ubicación del Deslizamiento y poblado de Lari, provincia de Caylloma, departamento de Arequipa

1.3.- Demografía

Según datos del 2014 del INEI, la población demográfica de la provincia de Caylloma está representada por 91 603 habitantes considerando que estadísticamente hay un incremento de 3 000 habitantes por año, es así que el distrito de Lari se caracteriza por estar formado por el 16.6% del total de la población existente en la provincia de Caylloma lo que indica un número de 1 522 habitantes en la localidad

1.4.- Antecedentes del Deslizamiento

En marzo de 1963, ocurrió un deslizamiento en las faldas del cerro Quehuisa, a 10 Km. de Madrigal, la zona deslizada tiene la forma de abanico con una superficie de 4 000 m², dicho deslizamiento produjo un aluvión que causó la destrucción de 3 hectáreas de terrenos de cultivos y pérdidas de ganado estimándose así una pérdida de S/ 30 000 para las comunidades (García, W., 1963). El detonante de este fenómeno se asoció a una excesiva precipitación en la zona, lo cual pudo haber saturado material inestable y provocar un deslizamiento-flujo de detritos que se precipitó hacia el río Colca.

En 1979, Lari fue afectado por un deslizamiento caracterizado por presentar una escarpa semilunar bastante pronunciada. Yanqui en 1983, describió que al noroeste de esta escarpa se aprecian rajaduras paralelas en el bode y señala que estas podrían ser reactivadas por otro sismo (Fig.03).

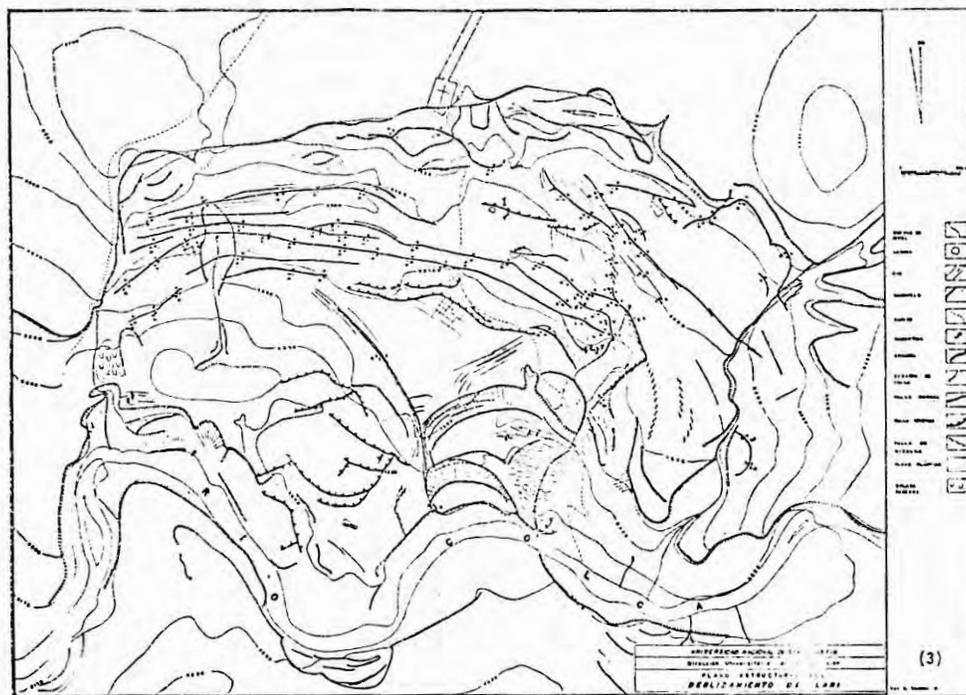


Figura 3: Esquema del deslizamiento de Lari desarrollado por Yanqui, 1983 donde muestra la importante cantidad de escarpas secundarias, grietas y fracturas asociadas al movimiento de la masa.

En Abril de 1983, Una gran masa de suelo deslizada en forma lenta afecto extensas zonas de cultivo inutilizándolas, originando una zona de escarpa de este oeste con desplazamientos verticales de hasta 7 m de altura y horizontales hasta de 2 metros. En la presente área es común encontrar abombamientos en el terreno y depresiones por el basculamiento asociados a un deslizamiento tipo rotacional (Yanqui, 1983).

En Abril de 1987, se hace un reconocimiento sobre la seguridad del poblado Madrigal y alrededores, donde se reconoció en el área un deslizamiento antiguo donde describe en la zona de arranque o corona del deslizamiento, tiene suelos poco coherente y deleznable donde se produce grietas de contorno y derrumbes .es así que se comparan fotografías aéreas de 1955 indicando un aumento en el número de lagunas de 10 en 1955 a 25 en 1987 (Dávila, 1987).

Otros deslizamientos que son importantes y activos en la zona de Maca de un comportamiento retrogresivo y progresivo en la que tiene relación con la incompetencia del material afectado son: El deslizamiento en el cerro Jatun Orjo Deslizamiento en el sector de Punco (Madrigal), Deslizamientos en el sector de Madrigal, derrumbes entre el sector de peña Blanca y las Colca, deslizamiento de Chacaña (Maca) entre otros. (Fidel et.al. 1995)

CAPITULO II. GEOLOGIA REGIONAL

El deslizamiento de Lari geológicamente abarca edades del Jurásico Medio al Cuaternario Holoceno (Fig. 4), partiendo desde la formación Yura con una única unidad como lo es la formación Labra y terminando en depósitos cuaternarios del Holocénico. La información descrita a continuación fue tomada Quispesivana et al. 2003.

Grupo Yura:

El grupo Yura se encuentra en edades Jurásicas- Triásicas, está dividida en cinco subunidades, pero en relación con la zona de estudio básicamente en este grupo la unidad que aflora es la formación Labra.

Formación Labra (Js- la):

Se ubica al noroeste de Lari al sur de Madrigal, al borde derecho de la quebrada Sahuayto en contacto con el Grupo Tacaza y con el complejo volcánico Hualca Hualca. Litológicamente está formada por areniscas cuarzosas gris blanquecinas, cuarcitas y lutitas.

Grupo Tacaza (PN-ta):

Esta formación se encuentra a 3 Km. al oeste de Lari, afloran flujos de lava, secuencias ignimbrítica de composición dacítica o riolítica medianamente fracturada, presenta 200m de espesor producto de un vulcanismo de tipo explosivo, de color gris blanquecino y con las paredes verticales, dentro de este grupo se ha diferenciado las formaciones Orcopampa e Ichocollo cubre aproximadamente el 45% del área total del cuadrángulo de Caylloma.

Formación Orcopampa (PN-or):

Se ubica al este de Chillihua, al sur de Lari, litológicamente es de origen sedimentario con estratificación somera constituido por areniscas, brechas y lavas grises, verdosas y violáceas de composición andesítica.

Formación Hualhuani (Ki-hu):

Esta formación presenta un espesor aproximado de 300m, aflora a 3.6 km al sur oeste del poblado de Lari o al oeste de Maca en la margen izquierda del río Colca, litológicamente está formada por areniscas cuarzosas con intercalaciones de lutitas, presenta una buena estratificación con bancos que alcanzan 1m de espesor se originaron en un ambiente marino hace 150 a 100 Ma (Kinck & Palacios, 1985; Quispesivana & Navarro, 2001).

Depósitos Aluviales (Qh-al):

En esta zona de estudio, los aluviales son los depósitos más abundantes y representativos a lo largo del valle del Colca, litológicamente está formado por gravas y arenas mal seleccionados en una matriz, limoarenosa.

Complejo Volcanico Ananta (NQ-a/an1):

Se encuentra al sur este de Lari, hacia el sur está en contacto con el complejo volcánico Jollo Jello.

Complejo Volcanico Mismi (Np-cvm/a):

Es un estrato - volcán, ubicado al sur de Lari, litológicamente consta de lavas andesítica ,grises, afiricas en la base y porfirítica en el techo microscópicamente con texturas fluidales, pilotaxicas, traquitica.Las primeras emisiones cubren en discordancia al grupo Tacaza y a la formacion Sencca que son cortadas por domos y afectadas por la glaciación pleistocena Principalmente se encuentran: Qpl-cvm/tbk: Están ubicadas a 4 Km. al sur del poblado de lari litológicamente está formada por tobas de cristales ,no soldados yace sobre el Grupo Tacaza y se encuentra en contacto con el complejo volcánico Mismi.

Complejo Volcanico- Hualca Hualca (Qpl-hn/an):

Ubicado al suroeste de Maca, emplazó extensos y voluminosos flujos de lava de composición andesítica, los bloques de roca volcánica que presenta están englobadas por una matriz areno-arcillosa que actúa como un agente condicionante de remoción de masa, los flujos de lava están dispuestos en forma sub - horizontal porque al identificar los afloramientos hay limitados movimientos en masa en excepción de las caídas de rocas por la pendiente pronunciada que la topografía presenta. El complejo volcánico de Hualca-Hualca da lugar también al origen de depósitos de avalanchas de escombros que afloran al oeste de Maca a una distancia de 3 km.

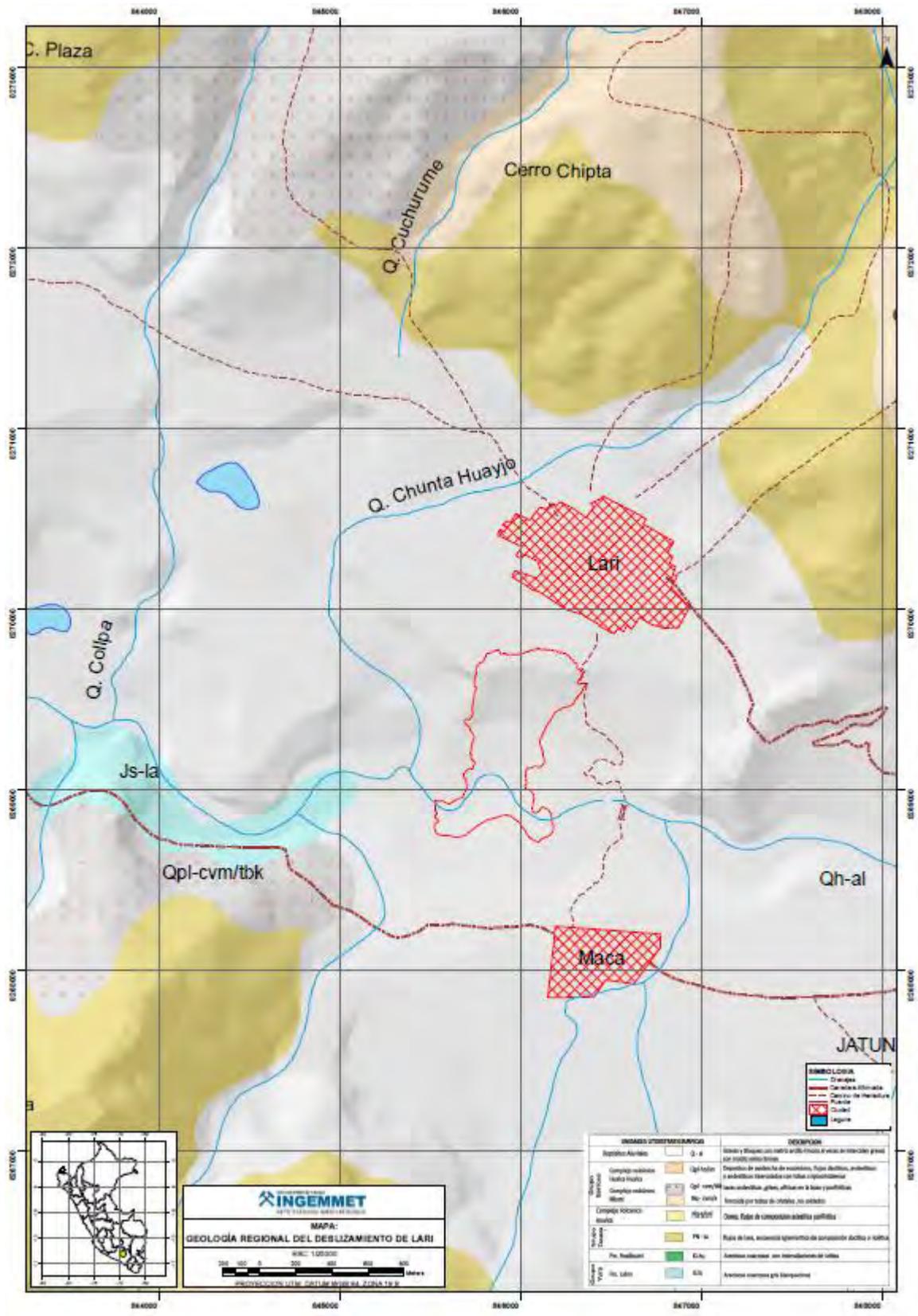


Figura 4: Mapa geológico regional del deslizamiento de Lari.

CAPITULO III. GEOLOGIA DEL DESLIZAMIENTO

Debido a la escala al detalle de los trabajos realizados en el deslizamiento de Lari, se requirió un nuevo mapa que caracterice la geología del deslizamiento a escala detallada (Fig. 5), a continuación se describe los diferentes depósitos identificados:

3.1- Depósitos Lacustres

Corresponde al depósito más predominante en los alrededores cercanos al deslizamiento de Lari, esta se ha subdividido en:

Depósito Lacustre Antiguo (Lc-A): Ubicado al este del deslizamiento y poblado de Lari, se identifica por tener una topografía prominente respecto a sus alrededores (Foto 1). Corresponde a un nivel lacustrino más antiguo que forma colinas ricas en vegetación silvestre. Está formado por niveles decimétricos de arenas finas bien clasificadas con estratificación plana. En algunas zonas se aprecia figuras sedimentarias tipo *slum* producto de factores externos, se aprecia fallamiento y deformación por factores tectónicos regionales y locales.



Foto 1: Depósito Lacustre Antiguo (sobre la línea entrecortada) que forma colinas ricas en vegetación silvestre.

Depósito Lacustre (Lc): Localizado al norte del deslizamiento de Lari, sobre este depósito se ubica el poblado de Lari así como sus terrenos de cultivo (Foto 2), forma una gran planicie lacustre inferior al Depósito Lacustre Antiguo (Lc-A). Compuesto de arenas y

limos finos a medios bien clasificados subhorizontales (Foto 3) con algunas zonas de deformación por fallas y/o sismos. Su uso es básicamente como terreno de cultivo.



Foto 2: Poblado de Lari que se ubica sobre el depósito lacustre (Lc).



Foto 3: Depósitos lacustres expuestos en la escarpa del deslizamiento de Lari.

Depósito Lacustre Estabilizado (Lac-E): Corresponde al Depósito Lacustre (Lc) pero estabilizado mediante andenería y/o otras obras de prevención de deslizamientos (Foto 4). Esta andenería es muy antigua (época Inka o anterior) y la posibilidad de que ocurra un deslizamiento en esta área es menor.



Foto 4: Deposito lacustre Lc estabilizado por andenería.

Depósito de Avalancha Volcánica (V-A): Ubicado sobre el Depósito Lacustre (Lc), corresponde a un depósito de avalancha de origen volcánico proveniente del flanco norte del río Colca. Compuesto por bloques de rocas de origen volcánicas heterogéneas, subangulosas a subredondeadas y con matriz cementada también de material volcánico (Foto 5). Se aprecia estructuras tipo *jigsaw* y de cataclasis en los bloques producto del movimiento de la masa. Este depósito se presenta formando un hummock alargado junto a la ciudad de Lari y varios hummocks menores en la escarpa e interior del deslizamiento de Lari.



Foto 5: Depósito de avalancha de origen volcánico sobreyaciendo al depósito lacustre Lc.
La línea roja muestra el contacto de las dos unidades.

3.2– Depósitos de Deslizamientos

Corresponden todos los depósitos de remoción en la zona:

Depósito de Deslizamiento Antigo- no activo (D-na): Corresponde a los depósitos de deslizamiento antiguos no activos (Foto 6) o que no presentan una fase de movimiento por lo menos durante los últimos 50 años. Está compuesto principalmente por materiales de depósitos lacustres antiguos (Lc-A). En algunos sectores de este depósito se encuentran andenerías que lo estabilizan parcialmente (Foto 7).



Foto 6: Deslizamientos antiguos o inactivos cerca de la zona activa mostrados en línea roja entrecortada.



Foto 7: Andenes que estabilizan parcialmente la zona del deslizamiento antiguo.

Depósito de Deslizamiento activo (D): Corresponde propiamente al deslizamiento de Lari (Fotos 8 y 9). Está compuesto mayormente por material lacustre (Lc) y algunos sectores de material residual del Depósito de la Avalancha Volcánica (V-A). El cuerpo del deslizamiento tiene poco más de 1.03 km de largo y 560 m de ancho mayor (a noviembre 2014) y una pendiente aproximada de 13 grados.



Foto 8: Vista panorámica del deslizamiento de Lari mirando al Noreste.



Foto 9: Vista de la parte central y frontal del deslizamiento de Lari, mirando Norte.

Zonas de erosión fluvial (Fl-e): Corresponde a las zonas afectadas por la crecida del río Colca (Fotos 10 y 11) y que sufren pequeños derrumbes por erosión fluvial, estas áreas son muy limitadas y no representan un riesgo mayor.



Foto 10: Zona de derrumbes ocurridos al Oeste de Lari por erosión lateral del río Colca durante sus crecidas en épocas de lluvia (Diciembre-marzo).



Foto 11: Zonas de erosión fluvial al Este del deslizamiento de Lari.

3.3- Depósito Fluvial

Correspondiente a los depósitos generados por el río Colca en sus épocas de crecidas y temporadas de secas (Foto 12), compuesto mayormente de gravas y arenas. En el cauce del río se aprecia grandes bloques de naturaleza volcánica arrastrada por el río.



Foto 12: Cauce del río Colca lleno de arenas y gravas. Durante las épocas de crecida el río ocupe íntegramente su canal.

3.4- Otros depósitos y estructuras

Lagunas de Infiltración: Dentro del depósito del deslizamiento de Lari (D) se aprecia varios cuerpos de aguas (Foto 13) producto de la descarga del nivel freático de la parte alta: terrenos de cultivo del poblado de Lari. Estas lagunas son permanentes y juegan un papel importante en la inestabilidad del deslizamiento.



Foto 13: Lagunas de infiltración de aguas dentro del cuerpo del deslizamiento de Lari, estas a su vez siguen para regar los cultivos que se encuentran en el cuerpo del deslizamiento.

Terreno Alterado Antrópicamente: Dentro y en las cercanías del cuerpo del deslizamiento de Lari se encuentran varios sectores alterados antrópicamente. Uno de ellos, afirmado y aplanado por maquinaria pesada con el fin de construir una cancha deportiva (Foto 14), y otros sectores también intervenidos que los pobladores no supieron dar razón para su futuro uso.



Foto 14: Terreno alterado por acción humana dentro del deslizamiento de Lari.

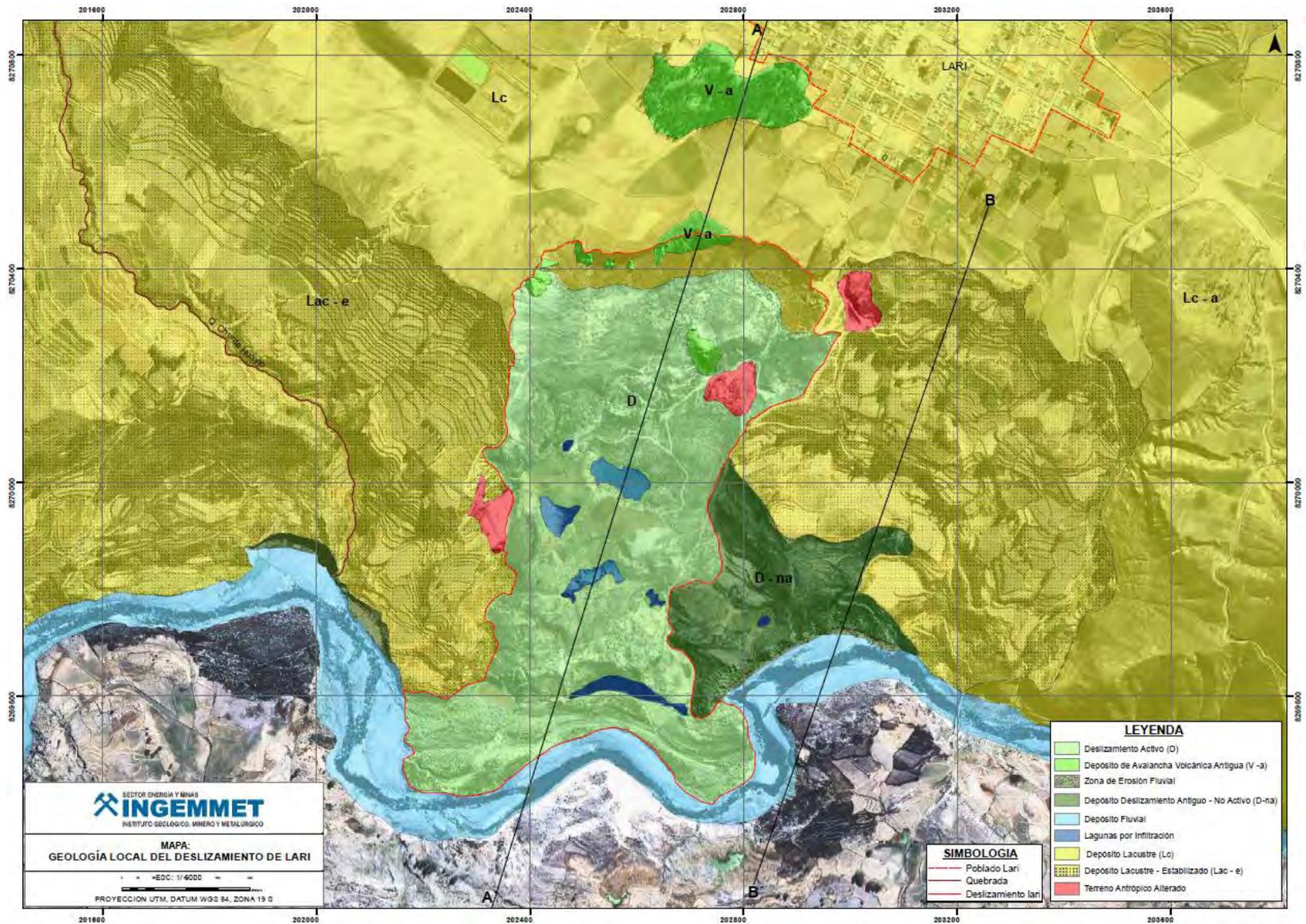


Figura 5: Mapa Geológico Local del deslizamiento de Lari.

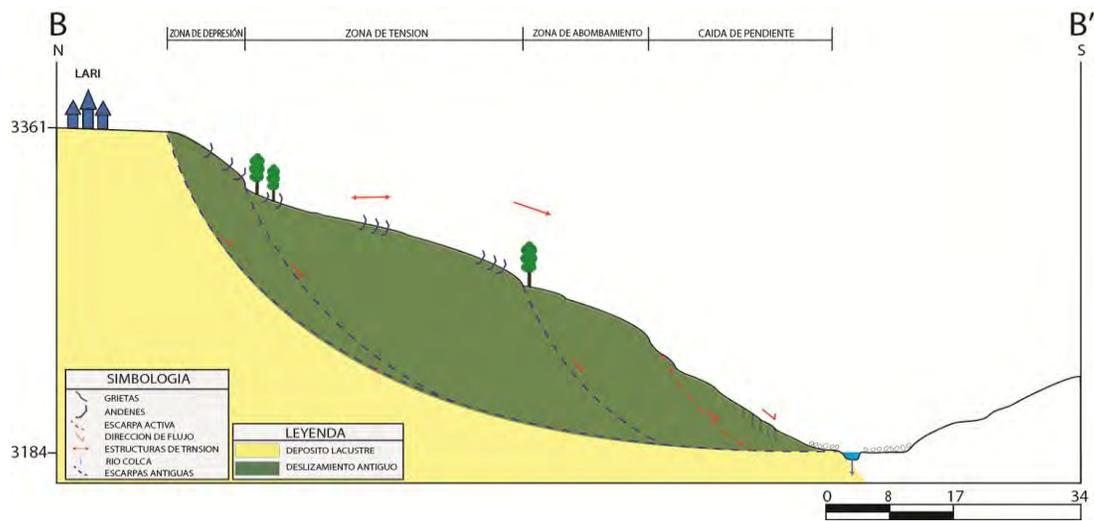
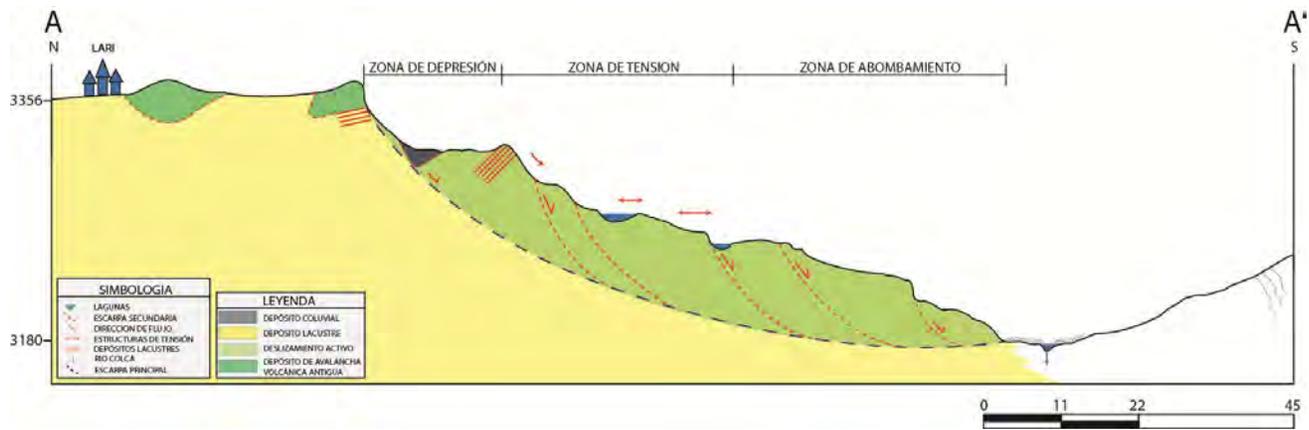


Figura 6: (A-A') Perfil transversal del deslizamiento activo de Lari. (B-B') Perfil transversal del deslizamiento antiguo en Lari.

En la figura 6, el perfil A-A' representa el deslizamiento rotacional de Lari con una longitud representativa de 1.8 Km. una pendiente de 13 grados, y dirección N-S. En la parte norte se observan los depósitos de la avalancha volcánica antigua, la cual sobreyace a los se encuentra sobre los materiales lacustres observados, geomorfológicamente está dividida en tres partes que representan el deslizamiento activo de Lari:

La zona de depresión está caracterizada por la generación de escarpa o inicio del deslizamiento, el cual a su vez está formado por una pequeña depresión que es cubierta por depósitos coluviales posteriores y esta termina con materiales lacustres estratificados que adoptan una inclinación en dirección preferente al basculamiento de la masa.

La zona de tensión se caracteriza por la presencia de lagunas de infiltración producto de fuerzas extensivas y agrietamiento, también esta zona está formada por escarpas de deslizamiento secundarias.

La zona de abombamiento se caracteriza por la acumulación de material removido en la parte baja del deslizamiento. Su principal característica es un abrupto cambio de pendiente en el depósito a la fricción de la masa con el substrato.

El perfil B-B' representa el deslizamiento rotacional antiguo al Este del deslizamiento de Lari con una longitud representativa de 1.37 Km. y una pendiente de 14.4 grados.

La zona de depresión, constituye la parte de arranque del deslizamiento rotacional, en esta se tiene la presencia de andenería antigua, la cual juega un papel importante en la estabilización de la zona.

La zona de tensión está determinada por dos escarpas antiguas y a su vez está constituido por andenes y árboles que favorecen a su estabilización. En algunos sectores, esta zona presenta agrietamientos menores posiblemente asociados a fuerzas extensivas en la zona,

La zona de abombamiento se produce saltos causados por la resistencia al movimiento (fricción) que ejerce la masa deslizada y por el brusco cambio de pendiente.

La zona de caída de pendiente es la parte final del cuerpo del deslizamiento y presenta una inclinación muy pronunciada, no se encuentra completamente estabilizada y sigue está afectada por erosión a causa del río Colca.

CAPITULO IV. DINAMICA DEL DESLIZAMIENTO

La evolución del deslizamiento de Lari ha sido progresiva a lo largo del tiempo, se tiene registro visual desde 1955 donde ya se aprecia una marcada deformación superficial. Como se detalla en la sección 1.4, el movimiento del deslizamiento de Lari es más bien lento y progresivo, por lo que no generó pérdidas humanas más si cuantiosas de terrenos de cultivo y suelo fértil.

4.1 Estado del deslizamiento: 1955

La imagen aérea ortorectificada de 1955 proporcionada por CONIDA muestra una etapa inicial del deslizamiento de Lari. Se ve claramente una escarpa ya bien definida y hasta 3 cuerpos que presentan deformación por movimiento ladera abajo (Fig. 7).

Ya se ve también, la presencia de la laguna de infiltración más grande así como la perturbación de los andenes de la parte baja (cerca al río Colca) ya abandonados para ese momento.

Pese a que para 1955 la actividad agrícola en la parte alta del deslizamiento era más limitada, debido a que el poblado de Lari era más pequeño y tenía menos habitantes, se asocia la activación – continuación del deslizamiento de Lari a una pequeña quebrada y flujo de agua que inundaba la pampa sobre la cabecera del deslizamiento. Para 1955 el área de terreno afectado por el deslizamiento en Lari es de 305 826 m² con un error de +- 25 m.

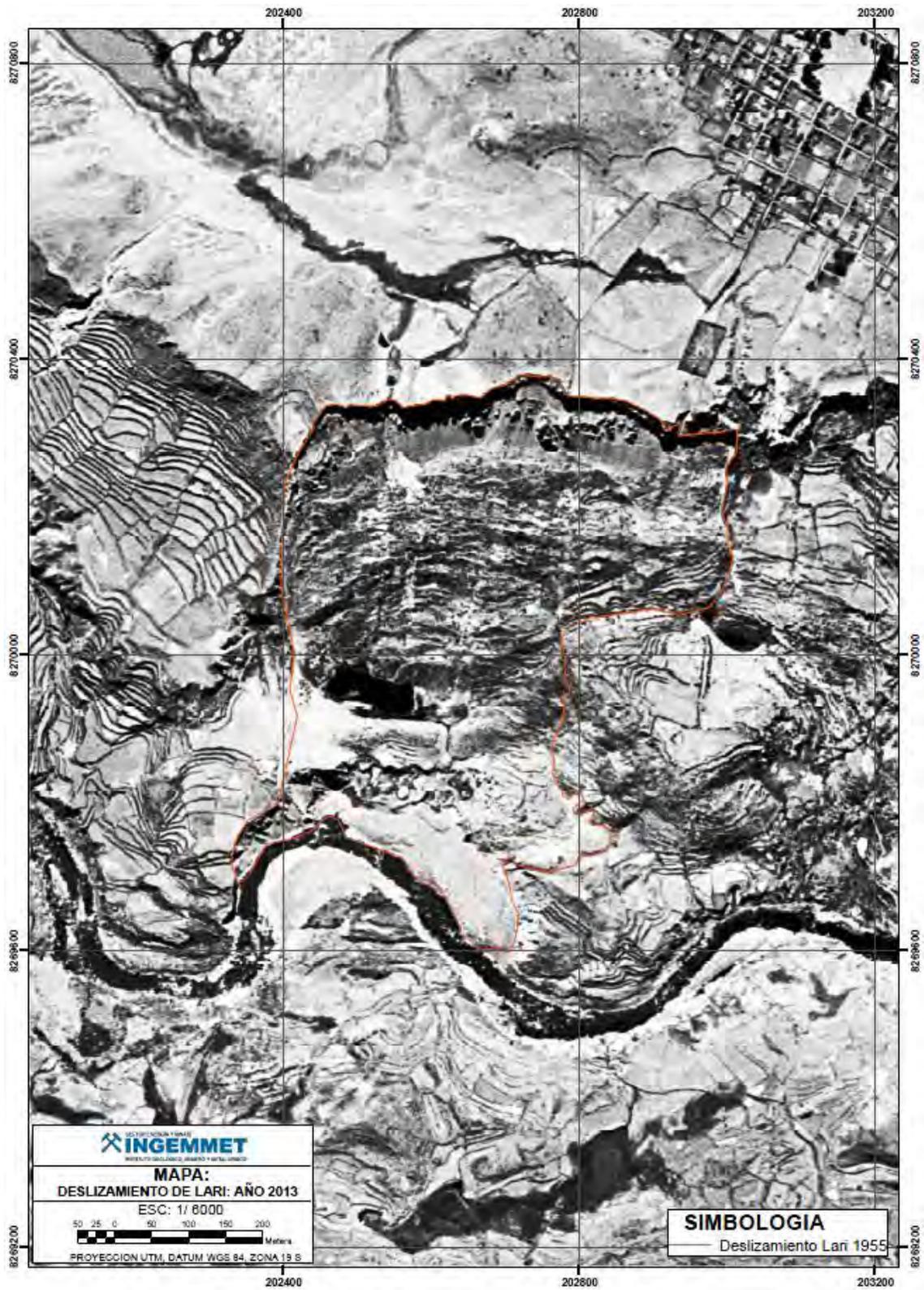


Figura 7: Estado del deslizamiento de Lari en 1955, la línea roja muestra el cuerpo del deslizamiento.

4.2 Estado del deslizamiento: 2013 - 2014

Basados en imágenes de satélite Spot 6, el deslizamiento de Lari muestra una deformación considerable. El aumento de los terrenos de cultivo (y su riego por inundación) y la expansión de la ciudad de Lari es un factor importante para la evolución de deslizamiento.

Para el 2013, el área del deslizamiento de Lari es de 475 602 m² aumentando en un 55% respecto al área de 1955, eso implica un aumento del área promedio de 1% por año durante los últimos 58 años.

Actualmente, el deslizamiento de Lari tiene una escarpa de 937 metros de longitud, un ancho máximo de 521 y un salto promedio de 21 metros y presenta una pendiente promedio de 13 grados en el cuerpo de deslizamiento (Fig. 8).

Se puede ver, que en 58 años, el cauce del río Colca varió considerablemente debido al empuje hacia el sur del deslizamiento de Lari lo cual generó erosión lateral en varias rivereñas.

Para el 2013, se identificó hasta 5 lagunas de infiltración dentro del cuerpo del deslizamiento, esto, además de indicar la mayor tasa de deformación de la superficie del cuerpo del deslizamiento, muestra la mayor cantidad de agua infiltrada al sistema.

Actualmente, se aprecian dos juegos de escarpas activas (marcadas de color rojo) y varios sistemas de escarpas no activas (color verde) que se podrían reactivarse por el aumento de agua en el cuerpo del deslizamiento, un sismo local, etc.

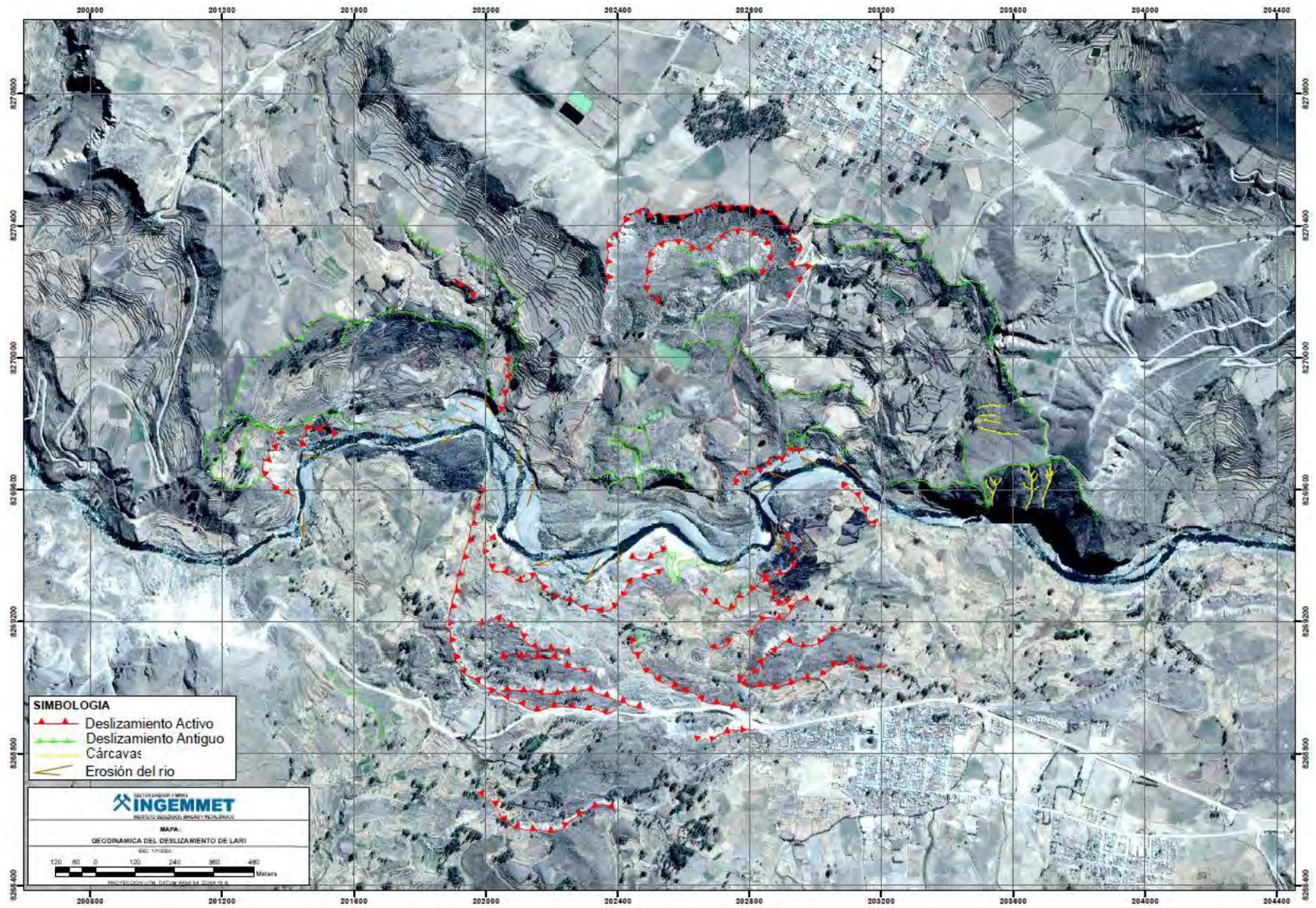


Figura 8: Estado actual del deslizamiento de Lari.

4.3.- Interacción de los deslizamientos de Maca y Lari

Uno de los principales movimientos en masa que se encuentra en el Valle del Colca es el Deslizamiento de Maca, un deslizamiento tipo rotacional con avance retrogresivo cuya inestabilidad tiene relación con la incompetencia del material de la zona (al igual que Lari): Depósitos lacustres y depósitos de avalanchas volcánicas. El movimiento del deslizamiento de Maca va desde extremadamente lento a moderado y está afectando al poblado de Maca (Foto 15) y la carretera turística principal que circula por el Valle del Colca.



Foto 15: Vista del cauce del río Colca hacia el Oeste. Se aprecia en el flanco derecho el material desplazado por el deslizamiento de Lari y en el flanco izquierdo el material desplazado por el deslizamiento de Maca. Nótese como el deslizamiento de Lari produce un cambio brusco en la dirección del canal.

En 1955 el ancho del cauce del río Colca era de 28 metros, mientras que para el 2013 es de 19 metros, esto indica un estrangulamiento del canal de 9 metros aproximadamente, lo cual sumado al desplazamiento total por el empuje de la masa, genera importantes fuerzas erosivas en la zona de Maca (Fig. 9).

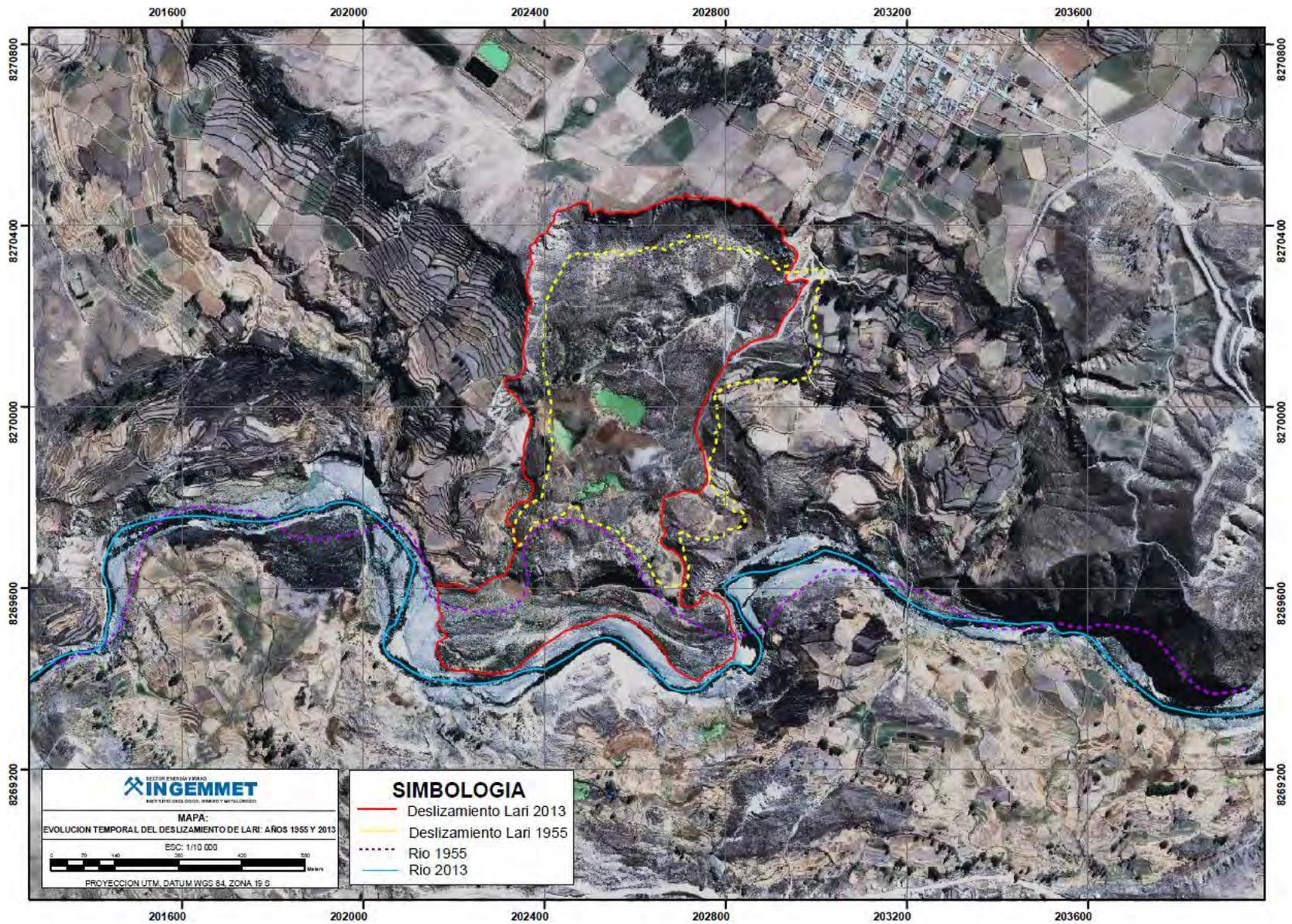


Figura 9: Comparación de las ubicaciones de los deslizamientos y los causas del río en 1955 y 2013

La comparación de las escarpas del deslizamiento de Lari en 1955 y 2013 (Fig. 8) la línea roja continua muestra la escarpa y estado actual del deslizamiento de Lari, La línea celeste continua muestra el estado y ubicación actual (2013) del cauce del río Colca. La línea amarilla entrecortada muestra la escarpa y forma del deslizamiento en 1955, mientras que línea violeta entrecortada muestra la ubicación del cauce del río Colca en 1955. Se aprecia como el deslizamiento de Lari ha movido hasta 300 metros el cauce del río Colca con dirección hacia Maca. Este movimiento se traduce directamente en la desestabilización del flanco izquierdo donde se ubica el poblado y deslizamiento de Maca.

4.4.- Infraestructura afectada por el deslizamiento

El deslizamiento de Lari afecta directamente a estructuras que se ubican en una zona de peligro alto al sur del pueblo de Lari, como terrenos de cultivos y carreteras que actualmente son utilizadas por los pobladores. Algunas zonas dentro del cuerpo del deslizamiento están siendo usadas para ampliar la carretera, botaderos, etc.

Mediante el cartografiado en la imagen de 1995 y la comparación con la imagen en la actualidad, se puede determinar que el poblado de Lari ha perdido $62\,300\text{ m}^2$ de terrenos de cultivo en los últimos 58 años, a una tasa promedio de 1.074 m^2 por año. Los terrenos que se encuentran al borde la escarpa están siendo afectados por agrietamientos y asentamientos previos a un colapso (Foto 16).

Adicionalmente, el Cementerio Municipal de Lari, que en 1955 se encontraba a 77 metros de la escarpa hoy en día se encuentra al borde de la misma y está siendo afectada por derrumbes constantes (Foto 17).



Foto 16: Agrietamientos y asentamientos en los terrenos al borde de las escarpa del deslizamiento de Lari.



Foto 17: Vista del borde del deslizamiento en la zona del Cementerio Municipal, nótese las grandes grietas y aberturas que tiene el terreno.

CAPÍTULO V: MONITOREO GEODÉSICO Y DE DEFORMACIÓN

A partir del 2014, INGEMMET inició el monitoreo geodésico y de deformación del deslizamiento de Lari utilizando equipos de última generación que consisten en equipos GPS diferenciales y un escáner 3D láser de alta precisión.

El monitoreo geodésico consistirá en la instalación (Foto 18) y monumentación (Foto 19) de 6 estaciones geodésicas de GPS diferencial en distintas zonas del deslizamiento, para tomar medidas de precisión hasta 4 veces por año y así obtener los vectores de deformación.



Foto 18: Instalación de una estación de GPS diferencial en el cuerpo del deslizamiento de Lari.



Foto 19: Monumentación de la primera estación (SL01) para el monitoreo del deslizamiento de Lari.

El monitoreo de deformación se realizará con un Scanner 3D de última generación denominado LiDAR (Foto 20). Las ventajas del LiDAR sobre otras técnicas es que se podrá observar zonas que presenten un movimiento menores de 4 cm a escala global, quiere decir, que con esta técnica podremos identificar zonas de deformación que no son aparentes para el ojo humano u otros instrumentos.



Foto 20: LiDAR instalado frente al deslizamiento de Lari, tomando las primeras de prueba y calibración del equipo.

Durante el 2014 se realizó las primeras medidas de deformación sobre el deslizamiento de Lari, estas medidas servirán como línea base para el monitoreo de la deformación. Se capturó más de 4 millones de puntos que muestran con 3 cm de resolución el estado actual del deslizamiento, de ocurrir alguna variación en el área, por ejemplo, un derrumbe, un movimiento del deslizamiento, durante la siguiente captura de datos será detectado. Ejemplos de este trabajo se ven en las Figuras 10 a la Figura 14.

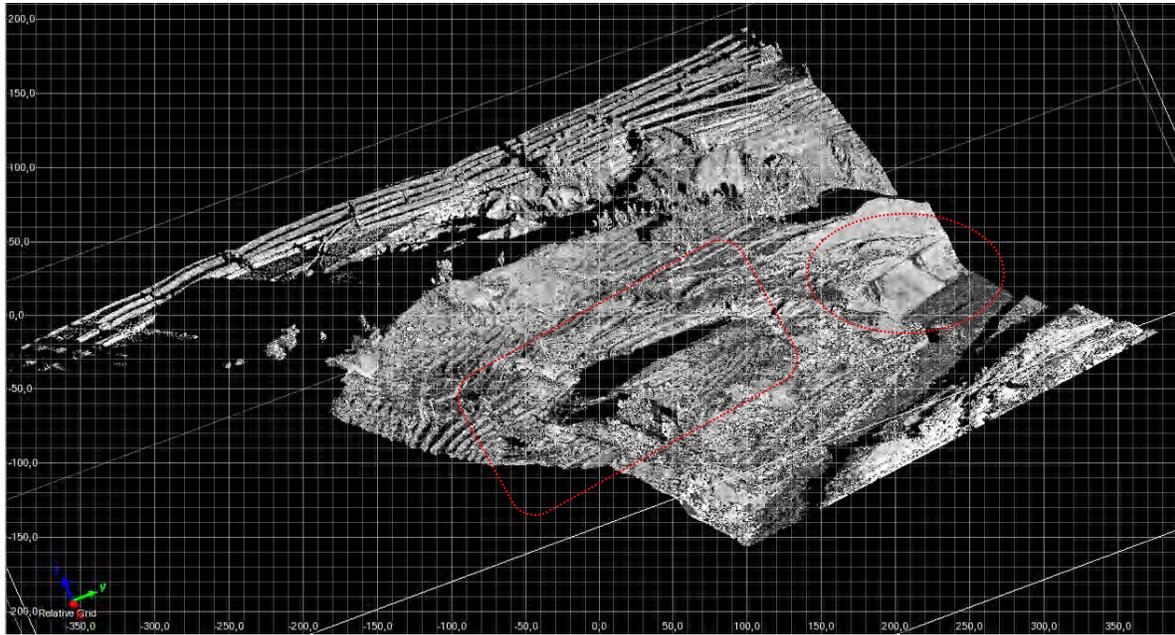


Figura 10: Vista superior: Escaneo LiDAR de parte del deslizamiento de Lari. Vista inferior: Fotografía de campo de la misma zona. El círculo rojo entrecortado muestra un derrumbe producto de la erosión fluvial del río Colca. El rectángulo rojo entrecortado muestra los andenes de la zona.

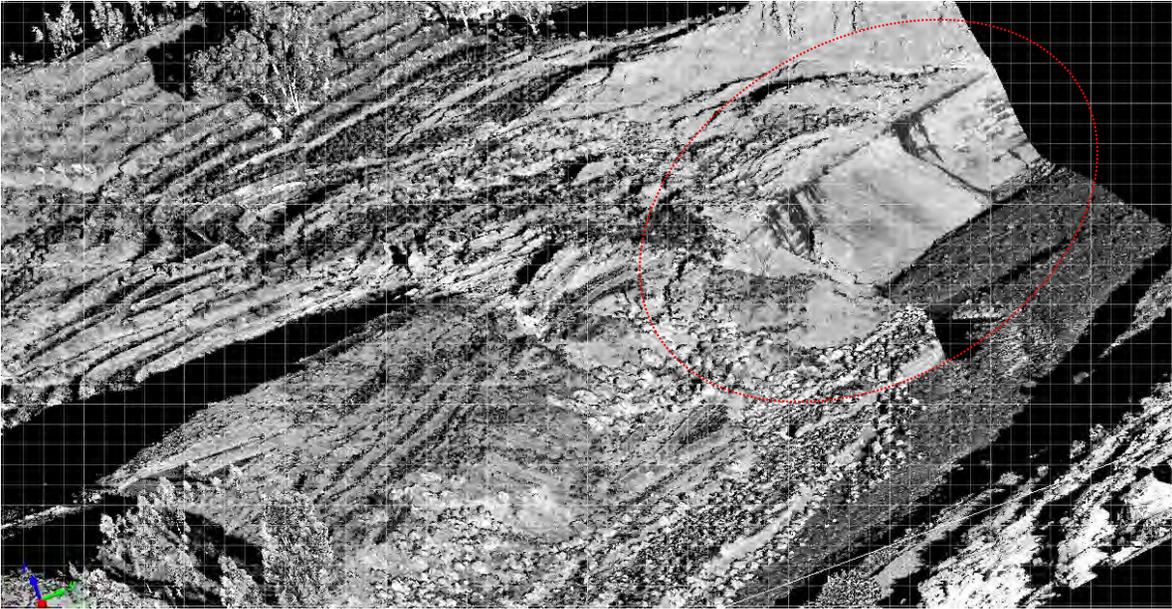


Figura 11: Detalle del derrumbe de la Figura 9. Nótese las zonas de infiltración de agua en la cara libre y la acumulación de los depósitos coluviales.

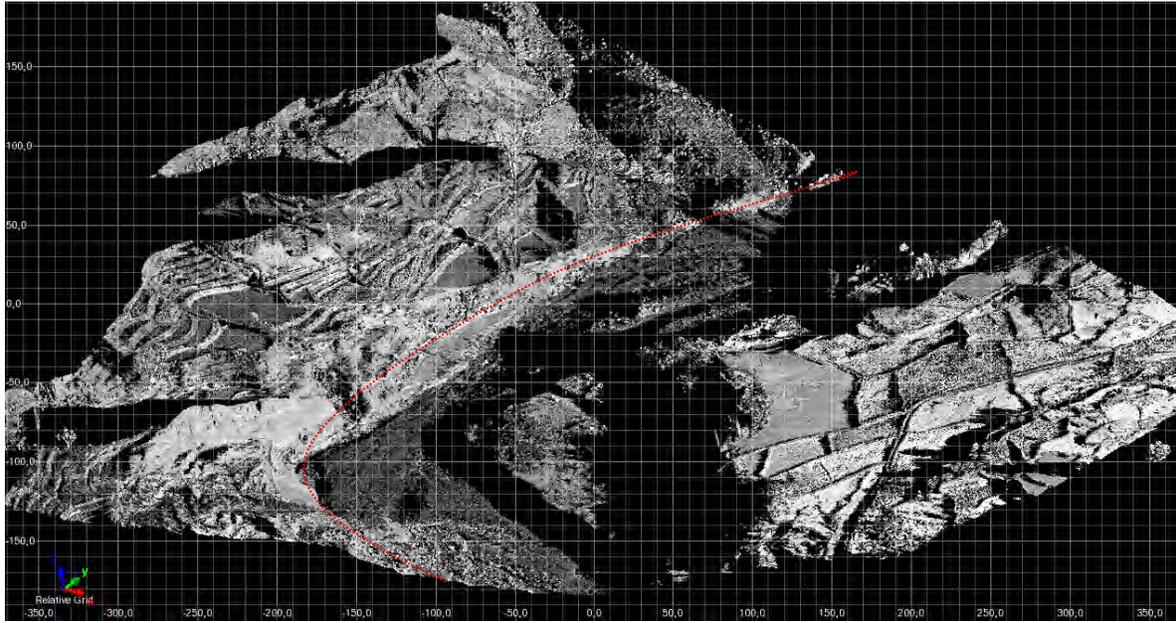


Figura 12: Cauce del río Colca y andenería superior de la zona de Lari. Los terrenos de cultivo en la parte derecha corresponden al poblado de Maca.

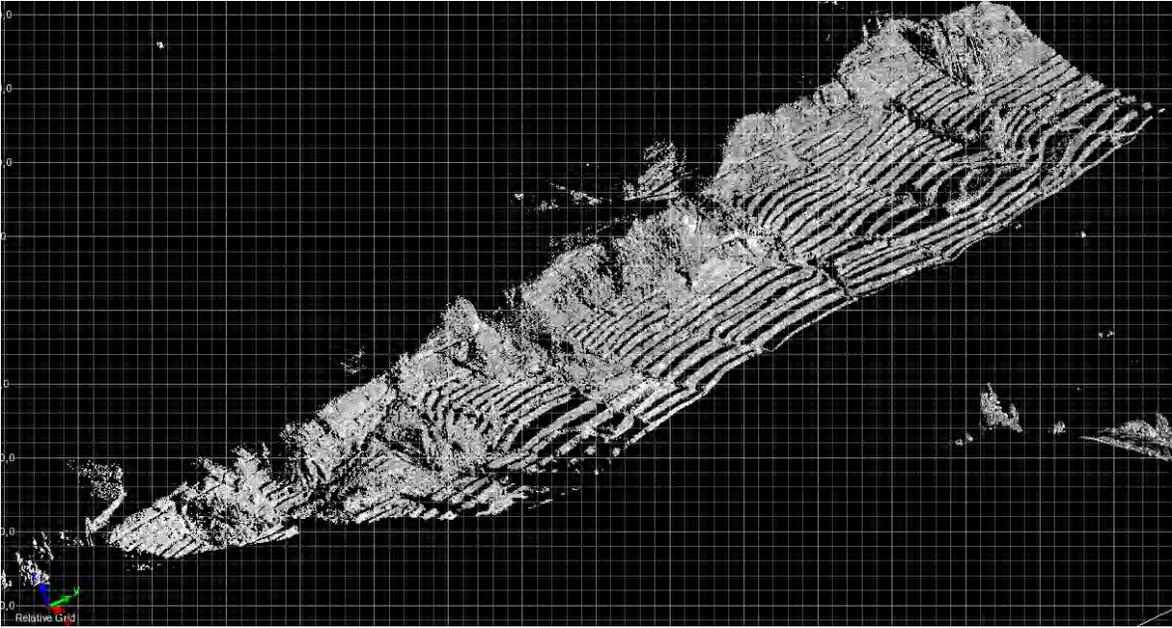


Figura 13: Escaneo LiDAR de los andenes la Oeste de Lari y su comparación con una imagen satelital inclinada actual.

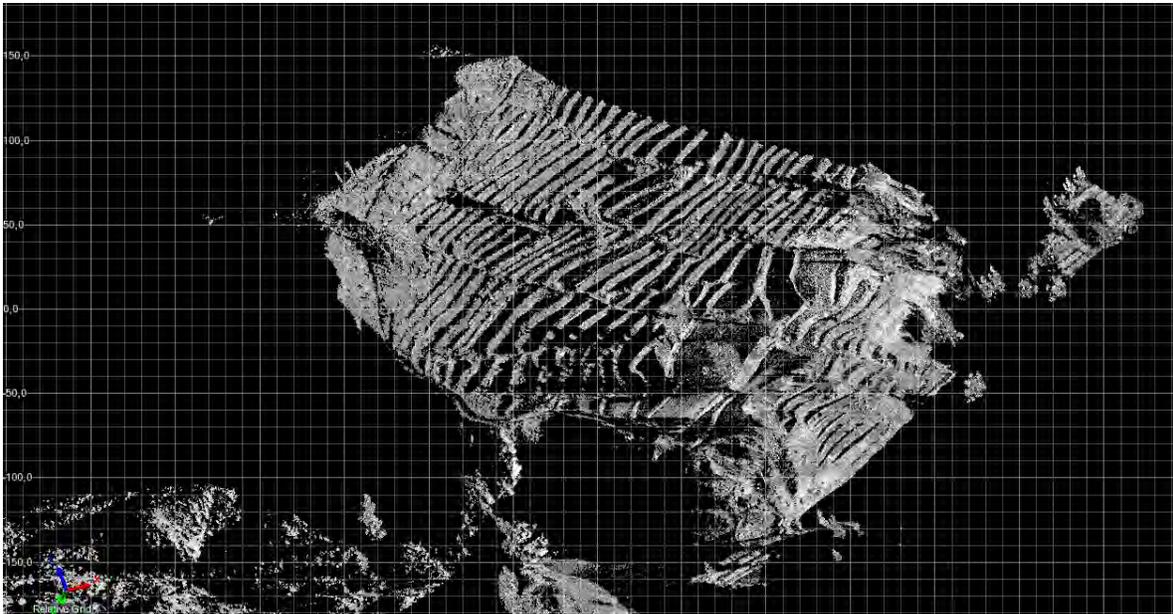


Figura 14: Escaneo LiDAR de los andenes al borde del cuerpo del deslizamiento de Lari y su comparación con una imagen satelital inclinada actual.

De los resultados preliminares del escaneo, se nota la presencia de algunos movimientos en masas antiguos posteriormente estabilizados por andenes (Figura 12) y algunas zonas con andenería que están sufriendo extensión. Estos resultados se confirmarán con escaneos laser periódicos durante los próximos años.

Capítulo VI: CONCLUSIONES

- El poblado de Lari, ubicado en la provincia de Caylloma, departamento de Arequipa está siendo afectado por un deslizamiento del tipo rotacional desde mediados del siglo XIX.
- El clima en el distrito de Lari es semi-seco a seco, con una marcada diferencia estacional, una fuerte época de lluvias entre los meses de diciembre a marzo y una temporada de estiaje el resto de año.
- De los 91 603 habitantes de la población de Caylloma, el 16.6% habita en el poblado de Lari con una tasa de crecimiento sostenida a lo largo de los años.
- Se tiene reportes de la ocurrencia de deslizamientos en el sector de Lari desde principios de los años 1960 con informes detallados de ocurrencias de asentamientos y derrumbes en 1879, 1983, 1987 y 2009.
- Regionalmente, la geología del deslizamiento de Lari se desarrolla en depósitos lacustres holocénicos, rodeado por varias secuencias de rocas volcánicas provenientes de los complejos volcánicos del Hualca-Hualca, Bomboya y Ampato Sabancaya.
- Localmente, el deslizamiento de Lari está en un depósito lacustre que forma una gran planicie con la presencias de relictos de avalanchas volcánicas de origen aún desconocidos. Deslizamientos antiguos en la misma zona fueron estabilizados mediante la construcción de andenerías de cultivo. Existen zonas alteradas por los pobladores dentro del cuerpo del deslizamiento que serán utilizadas para la ampliación de una carretera local y la construcción de un área deportiva.
- El río Colca juega un papel muy importante en la evolución del deslizamiento de Lari, provocando erosión lateral en su base y la subsecuente desestabilización de la parte superior. Además, el empuje del deslizamiento de Lari al río Colca influye en la actividad del deslizamiento de Maca.
- En 1955 ya se observaba deformación superficial en la zona de Lari, con varias zonas de infiltración de agua. Para 1955 la actividad agrícola en la parte alta del deslizamiento era más limitada, debido a que el poblado de Lari era más pequeño y tenía menos habitantes, se asocia la activación – continuación del deslizamiento de Lari a una pequeña quebrada y flujo de agua que inundaba la pampa sobre la cabecera del deslizamiento. En 1955 el área de terreno afectado por el deslizamiento en Lari es de 305 826 m² con un error de ± 25 m.
- En la actualidad el deslizamiento de Lari muestra una deformación considerable. El aumento de los terrenos de cultivo (y su riego por inundación) y la expansión de la ciudad de Lari es un factor importante para la evolución de deslizamiento.
- Para el 2013, el área del deslizamiento de Lari es de 475 602 m² aumentando en un 55% respecto al área de 1955, eso implica un aumento del área promedio de 1% por año durante los últimos 58 años. Actualmente, el deslizamiento de Lari tiene una

escarpa de 937 metros de longitud, un ancho máximo de 521 y un salto promedio de 21 metros y presenta una pendiente promedio de 13 grados en el cuerpo de deslizamiento.

- Dentro del cuerpo del deslizamiento se identificó hasta 5 lagunas de infiltración dentro del cuerpo del deslizamiento, esto, además de indicar la mayor tasa de deformación de la superficie del cuerpo del deslizamiento, muestra la mayor cantidad de agua infiltrada al sistema.
- Mediante la comparación de imágenes de 1955 y 2013 se determina que el poblado de Lari ha perdido 62 300 m² de terrenos de cultivo en los últimos 58 años, a una tasa promedio de 1.074 m² por año. Los terrenos que se encuentran al borde la escarpa están siendo afectados por agrietamientos y asentamientos previos a un colapso.
- El monitoreo geodésico que realizará INGEMMET consistirá en la instalación y monumentación de 6 estaciones geodésicas de GPS diferencial en distintas zonas del deslizamiento, para tomar medidas de precisión hasta 4 veces por año y así obtener los vectores de deformación
- El monitoreo de deformación se realizará con un Scanner 3D de última generación denominado LiDAR y se podrá observar zonas que presenten un movimiento menores de 4 cm a escala macro, quiere decir, que con esta técnica podremos identificar zonas de deformación que no son aparentes para el ojo humano u otros instrumentos.
- De los resultados preliminares del escaneo, se nota la presencia de algunos movimientos en masas antiguos posteriormente estabilizados por andenes y algunas zonas con andenería que están sufriendo extensión.

Bibliografía

García, W. (1966). Deslizamiento en el cerro Quehuisa en los distritos de Lari y Madrigal. . Boletín 13, Comisión Carta Geológica Nacional, Compilación de Estudios Geológicos. p. 88-93.

Yanqui, C. (1983). Geotecnia del deslizamiento de Lari. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, 72, p. 287-299.

Dávila, S. (1987). Inspección de la seguridad Física de Madrigal, Informe Técnico, INGEMMET, Dirección de Geotecnia, 16p

Fidel, L.& Zavala, B. (1995). Estudio geodinámico de la cuenca del río Camaná–Majes (Colca). Boletín Serie C: Gedinámica e Ingeniería Geológica,14, 206 p.

Quispesivana, Q. (2013). Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Caravelí (32-p), Chuquibamba (32-q), Chivay (33-s), Cailloma (31-s), Velille (30-s), Livitaca (29-s) y Pacapausa (30-p). 42 p, INGEMMET

Cuba,F. y Ita, N. (2004). Arequipa. Guía Turística, Senamhi., p. 33-41

Zavala, B. & Vilchez, M. & Rosado, M. Aspectos Geodinámicos en los distritos de Lari, Madrigal y Maca (Provincia Cailloma, Región Arequipa), Informe Técnico, INGEMMET, Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico.