



COMISIÓN NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO AEROESPACIAL

DIRECCIÓN TÉCNICA DE CIENCIAS Y APLICACIONES ESPACIALES

DIRECCIÓN DE GEOMÁTICA



INFORME FINAL

TÍTULO PRODUCTO:

**ZONAS GEOGRÁFICAS CON MONITOREO PERMANENTE PARA LA
EVALUACIÓN DE EVENTOS NATURALES GEOLÓGICOS UTILIZANDO
TELEDETECCIÓN**

2013

CONTENIDO

RESUMEN.....	3
1. GENERALIDADES.....	4
2. ANTECEDENTES.....	4
3. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	5
4. ACCESIBILIDAD.....	6
5. CLIMA.....	6
6. METODOLOGÍA.....	6
7. ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	8
7.1. Geología general de la zona de estudio.....	8
7.2. Peligros Geológicos a los que está expuesta el área de estudio.....	9
7.3. Principales Fenómenos geodinámicos recurrentes en la cuenca del río Colca.	10
7.4. Tipos de deslizamientos que afectan la zona de estudio.....	10
• Deslizamiento Rotacional.....	10
• Deslizamiento Traslacional	10
7.5. Hidrología.....	11
7. EVALUACION GEOLOGICA DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	12
8. RESULTADOS.....	15
9. CONCLUSIONES.....	18
10. BIBLIOGRAFIA.....	19

RESUMEN

La Cuenca del río Colca, se encuentra situada en el Sur del Perú en el departamento de Arequipa, tiene una extensión de aproximadamente 17,000 Km² de superficie es una de la más extensas de la Vertiente Pacífica Peruana. La importancia de esta cuenca radica en la actividad minera, turística, agrícola y ganadera que se desarrolla en ella.

Se participó en el Programa Presupuestal 068 - Gestión del Riesgo de Desastres con la finalidad de iniciar y desarrollar la técnica de la interferometría radar aplicado al monitoreo de deslizamientos en el valle del Colca, evaluado y teniendo en cuenta los aspectos litológicos-estructurales, geomorfología, análisis hidrometeorológicos, procesos geodinámicos, riesgos naturales o geológicos se determinó para tal fin el deslizamiento de Maca, que viene afectando al poblado de Maca y un tramo de la carretera Maca-Cabanaconde-Huambo-Arequipa.

Otro factor importante de resaltar en el valle del Colca son los represamientos que se originan en esta parte de la cuenca por lo general el sector de Maca y Ayo los cuales han tenido repercusiones en el sector de Majes.

La calidad de los suelos encontrados en el valle es muy diversa, dependiendo fundamentalmente de su origen, los suelos aluviales compuestos de gravas y arenas son los más estables, mientras que los suelos coluviales-proluviales y cenizas volcánicas son los menos estables y los predominantes en el área de estudio.

1. GENERALIDADES.

El estudio fue presentado a finales del año 2012 y principios de año 2013 para integrar la lista de productos para la Gestión del Riesgo de Desastres y el Programa Presupuestal 068 – Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres en donde CONIDA está participando con el producto denominado “Zonas geográficas con monitoreo permanente para la evaluación de eventos naturales geológicos utilizando teledetección”, dicho producto se planificó para trabajar con imágenes de radar de alta resolución espacial en este caso las imágenes terrasar-X de 3 metros y las imágenes ópticas spot6 de 1.5 metros, estos dos tipos de imágenes serían utilizados para aplicar el método interferométrico para poder determinar zonas vulnerables a movimientos en masa, así como calcular el desplazamiento de estos, entonces se determinó la zona de estudio con el INGEMMET debido a que esta institución es el ente rector en temas relacionados a peligros geológicos, razón por la cual ellos deseaban la colaboración de CONIDA para realizar un trabajo en conjunto generando información espacial del deslizamiento de Maca en Arequipa, entonces se planificaron las actividades para desarrollar el producto, cada actividad contaba con un tiempo y presupuesto definido para ser realizado.

Es así que se vio la opción de trabajar con estas imágenes de alta resolución, las cuales fueron requeridas en el mes de Junio del 2013, así mismo otras actividades como la adquisición e implementación del sistema de red, seguridad y backup de la información, Instalación y operación del sistema de monitoreo, Implementación del equipo de campo y algunas otras no se llevaron a cabo debido a que no se asignó presupuesto, y a raíz de esto es que el producto que se pretendía entregar no podrá ser y en el tiempo de espera de la adquisición de las imágenes satelitales se estuvo trabajando con escaneos fotográficos e imágenes de baja resolución, también se realizaron otras actividades como la generación de la cartografía pero a una escala mayor a la que se pretendía, por que nuevamente era necesaria la imagen satelital para poder realizar esta actividad, así que se realizó con datos que ya se tenían, es así que ya casi finalizando el año 2013 para el mes de diciembre se adquirieron las imágenes de radar pero aún se está a la espera de las imágenes ópticas ya que su toma está siendo demorada por el mal tiempo en la zona de estudio, estas imágenes son necesarias para la generación del modelo digital de elevación así mismo para realizar esta actividad era necesario la adquisición de los equipos para el trabajo de campo que no se llegó a dar, ya que todas las actividades estaban ligadas unas con otras y estas eran la consecuencia uno del otro, perjudico mucho la no realización de muchas de estas por falta de presupuesto asignado impidiendo por completo entregar el producto planificado a principio de año, es por esta razón que se está entregando el informe de un estudio que se realizó con imágenes de baja resolución así mismo los mapas que serán entregados serán producto del estudio con estas imágenes los cuales no reemplazan en lo más mínimo a los mapas que se pretendía entregar con las imágenes de alta resolución, en este caso el mapa entregado será una comparación temporal que se hizo en la zona de estudio, así mismo un mapa con las curvas de nivel cada 15 metros.

Debido también a la falta de presupuesto asignado no se realizó el estudio en la cuenca alta del río Rímac, ya que para esta zona también se tenía que comprar imágenes satelitales de alta resolución espacial tanto de radar como ópticas.

Cabe mencionar que el trabajo que se realizó este año fue debido a que no se contaba con los insumos necesarios para llevar a cabo las actividades planteadas para entregar el producto, y el entregable para este año no corresponde al resultado esperado y ofrecido.

2. ANTECEDENTES.

A través de la historia el territorio peruano ha sufrido desastres a consecuencia de los fenómenos naturales, tal como lo ocurrido con el sismo del 23 de junio del presente año, donde se registraron 39 pérdidas de vidas humanas y considerables pérdidas materiales.

Este evento sísmico comprometió todo el Sur del Perú, ocasionando daños importantes en las viviendas en el valle del Colca. Los severos efectos del sismo han tenido como factor importante la precariedad de las edificaciones y la inestabilidad de los suelos.

En los meses de verano de 1994, muchos pueblos del territorio nacional sufrieron fuertes daños por efecto del fenómeno de El Niño. Estadísticamente representó 41,180 damnificados, medio centenar de muertos. Los daños superaron los US\$ 25'000,000 en pérdidas. Se calcula que el 60% de las carreteras fueron interrumpidas por los huaycos, deslizamientos y derrumbes que dejaron aislados a centenares de pueblos.

La cuenca del río Colca es importante tanto por las actividades mineras, agrícolas, ganaderas y turísticas que en ella se desarrollan, el proyecto de irrigación más importante del Sur del Perú, como es el Proyecto Majes, utiliza las aguas de dicha cuenca.

La actividad reciente del volcán Sabancaya, los fenómenos de remoción en masa de Lari, Madrigal, Maca y Ayo (deslizamientos), se toman en cuenta en la evaluación de los peligros en este sector y el de Majes por su incidencia en el desarrollo agrícola y económico, el estudio muestra los principales peligros geodinámicos que pueden ocurrir en la Cuenca.

En el Departamento de Arequipa han ocurrido una serie de desastres naturales, provocando una fuerte incidencia en el desarrollo socio-económico, por ello resulta una necesidad impostergable la identificación de los peligros así como la propuesta de la vulnerabilidad y de riesgo que permitan plantear políticas de desarrollo.

3. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

El área de estudio está ubicada en el departamento de Arequipa, en la provincia de Caylloma en el distrito de Maca; en la sierra arequipeña a 3300 msnm, en la cuenca del río Colca. El deslizamiento de Maca se encuentra en la margen izquierda aguas abajo del río Colca.

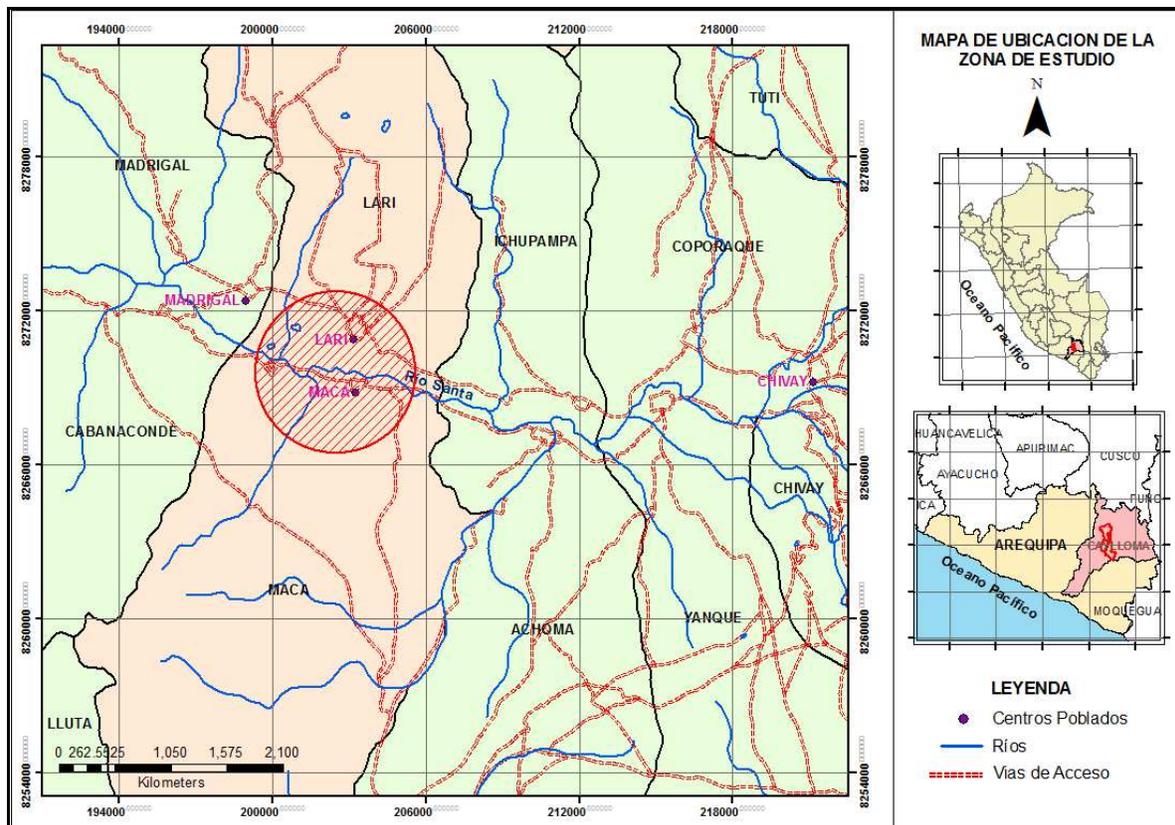


Figura 01. Mapa de Ubicación del distrito de Maca.

4. ACCESIBILIDAD.

Para llegar al deslizamiento de Maca fue necesario hacer un viaje de aproximadamente 4 horas por la carretera interoceánica desde la ciudad de Arequipa al distrito de Chivay la cual se encuentra a 165 km a una altura de 3633 msnm, para luego seguir por la carretera no asfaltada que conduce a todo el Cañón del Colca a más o menos 2 horas del distrito de Chivay.

5. CLIMA.

El Clima del Valle del Colca es característico de las zonas alto andinas. Desde mediados del mes de abril a mediados de noviembre las temperaturas bajan usualmente a bajo cero por la noche y alcanzan de 15 a 20°C durante el día. La temporada de lluvia comienza desde fines de Noviembre hasta fines de Marzo, los cambios de temperatura no son tan radicales debido a que el cielo nublado impide que los rayos de sol penetren durante el día. Las temperaturas máximas en la época de lluvias varían entre los 5° y 10°C.

6. METODOLOGÍA

El desarrollo del presente trabajo, se ha llevado a cabo en dos etapas; dos de ellas comprenden la etapa de gabinete y la otra corresponde a la etapa de campo.

Durante la Primera Etapa de Gabinete, se recopiló y sistematizó información geográfica acerca del área de estudio. Además, se realizó la adquisición de fotografías aéreas del año 1965, las cuales se georeferenciaron para hacer la identificación de las áreas afectadas por movimientos en masa (deslizamientos, derrumbes, reptaciones, etc.) y la comparación temporal entre estas fotos y la imagen proporcionada por el Dr. Lacroix, también se realizó la digitalización de las áreas urbanas, carreteras, etc. Esta etapa ha sido fundamental, para poder verificar exactamente la zona que ha variado y ha sufrido mayor cambio.

Así mismo se descargó un DEM de la página ASTER GDEM estos modelos de elevación están disponibles para su descarga libre, entonces a este DEM se le hizo un resampléo (cambio la resolución espacial) para obtener información cartográfica más al detalle a una escala concordante con las fotografías aéreas y la imagen pléyades.

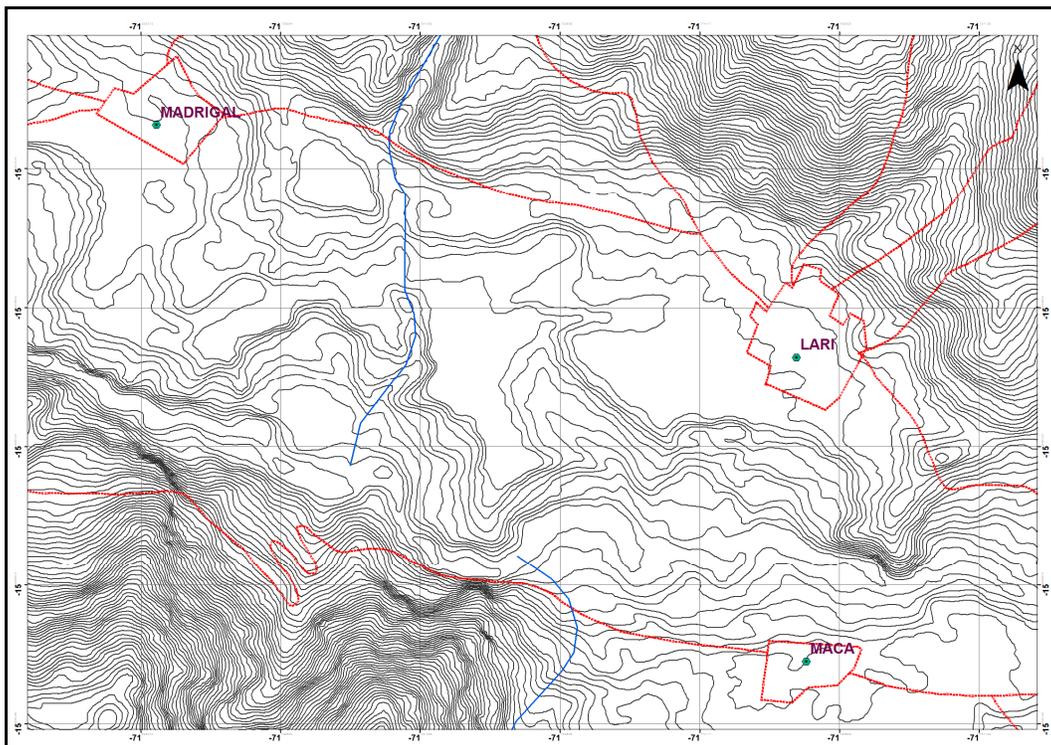


Figura 02. Cartografía generada a partir del GDEM de 30 metros.

En la Etapa de campo, se realizó el reconocimiento de la zona de estudio, así como la coincidencia de los depósitos geológicos y de movimientos en masa encontrados en las fotografías aéreas e imagen satelital. Así mismo, se caracterizaron los movimientos en masa que originarían desastres también se tomaron registros del estado en el que se encuentra actualmente el deslizamiento de Maca, y alrededores.

Así mismo se realizó la instalación de equipos como los GPS diferenciales que el INGEMMET posee, para realizar el monitoreo y tomar datos en los mismos puntos que establecieron en trabajos de campo anteriores, estas mediciones las realizaron para determinar el movimiento del deslizamiento en diferentes épocas del año y con diferentes condiciones climáticas, este trabajo fue realizado también con el Dr, Pascual Lacroix del IRD.



Figura 03. Fotografías tomadas en los puntos definidos en el poblado de Maca.

En el trabajo de campo también se pudo observar que la municipalidad del lugar realiza una serie de regadíos a lo largo de la carretera, para evitar la polvareda, pero esto a su vez ocasiona la sobre carga del talud del deslizamiento de Maca, se conversó con el alcalde de Maca quien nos comentó que los pobladores viven atemorizados con la amenaza de un sismo el cual termine de activar el deslizamiento de Maca y que este pueda llevarse el poblado completo así mismo los poblados ya llevan perdiendo una cantidad significativa de terrenos de cultivo.



Figura 04. Fotografía que muestra la sobre carga del talud por regadío irresponsable en la carretera Maca-Cabanaconde-Huambo-Arequipa.

En la Segunda Etapa de Gabinete, se procesó la información obtenida en campo, generando mapas temáticos. Para el procesamiento informático de datos se emplearon los softwares Arc Gis 10.0, Envi 5.0, también se hizo uso del navegador Google Earth para generar un mosaico con una mejor resolución espacial de la zona de estudio, para poder digitalizar las zonas urbanas y las zonas donde exista filtración de agua y el cauce del río Colca.

7. ASPECTOS GEOLOGICOS

En la región las unidades estratigráficas reconocidas abarcan desde el Jurásico Superior, hasta el Cuaternario reciente.

7.1. Geología General de la zona de estudio

Según la carta geológica actualizada de Chivay (Quispesivana & Navarro, 2001), las rocas más antiguas del valle corresponden a la Formación Labra que es parte del Grupo Yura, consta de areniscas en bancos delgados intercalados con lutitas del jurásico superior, limolitas rojas intercaladas con areniscas arcósicas del cretáceo inferior y pertenecientes a la Formación Murco. Estas dos formaciones afloran en la parte inferior del río Colca, muy cerca del poblado de Chivay y en el sector de Lari en ambos márgenes del río Colca.

Presenta, plegamientos, fallas geológicas y fajas de deformación en las rocas, los cuales nos permiten clasificar a esta secuencia como materiales permeables con condiciones de ser acuíferos fisurados sedimentarios. Se observan también secuencias de ignimbritas, flujos de lava y volcanoclastos del oligoceno mioceno, que pertenecen al Grupo Tacaza; los cuales muestran un contraste bien marcado en su comportamiento hidrogeológico, las ignimbritas son por lo general impermeables, los flujos de lava y volcanoclastos son acuíferos volcánicos de moderada productividad, de donde se tiene una serie de surgencias o manantiales con caudales variables (entre 2 y 80 l/s). El comportamiento hidrogeológico de los piroclastos es bastante variable, cuando la porosidad es alta puede llegar hasta los 50 % de porosidad (Custodio & Llamas, 1996), sin embargo en el valle del Colca, los depósitos de piroclastos presentan matriz muy fina con un buen porcentaje de cenizas volcánicas, caracterizando como material impermeable. Los flujos de lava recientes, productos del volcán Hualca Hualca tienen permeabilidad secundaria adquirida por el enfriamiento de las lavas durante su emplazamiento, estos favorecen la infiltración de aguas de lluvia y circulación a través de las fracturas por lo cual se caracteriza como acuíferos volcánicos. Los depósitos de avalanchas de escombros, atribuidos al colapso del flanco norte del volcán Hualca Hualca (Mariño et al, 2010), los depósitos aluviales, fluviales y los depósitos coluviales son porosos, no consolidados, tienen matriz limo arenosa de baja permeabilidad y son favorables para la formación de acuíferos.

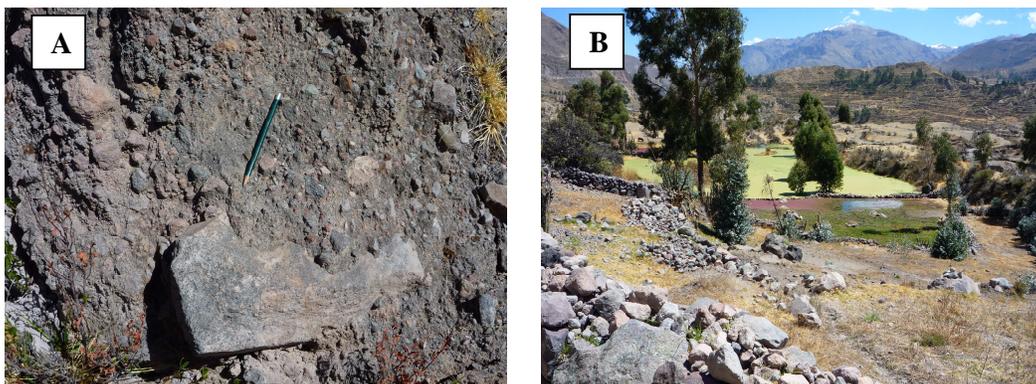


Figura 07. Fotografías tomadas en el trabajo de campo – deslizamiento de Maca.

Fotografías tomadas en campo, donde se observa el material predominante en la margen izquierda del río Colca donde está ubicado el poblado de Maca y el deslizamiento del mismo nombre, así mismo se observa que en la parte donde se origina el deslizamiento de Maca existe la presencia aguas empozadas que suman peso e inestabilidad al suelo produciendo el deslizamiento no permitiendo el sembrío de productos agrícolas.

Así mismo podemos observar en el mapa geológico el emplazamiento de las formaciones donde están ubicados los poblados tanto de Maca como Lari.

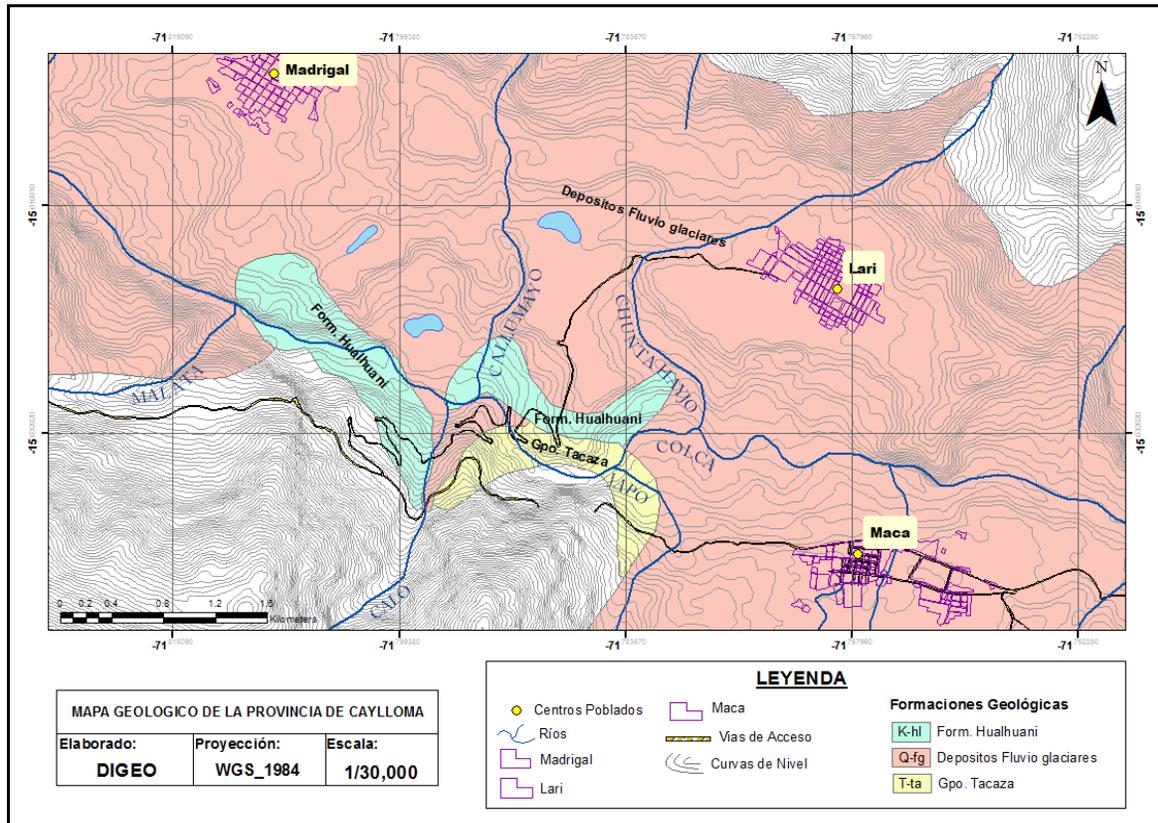


Figura 08. Mapa Geológico de la provincia de Caylloma, distrito de Maca.

7.2. Peligros Geológicos a los que está expuesta el área de estudio.

A lo largo del valle del río Rímac se ha identificado una serie de fenómenos que evidencian una actividad geodinámica de gran magnitud. Periódicamente las poblaciones locales y la infraestructura productiva de estas se encuentran sujetos a eventos considerados como desastres naturales.

Estos peligros geológicos obedecen a diversas causas las que se pueden agrupar en tres tipos, según su naturaleza y estos son:

- _ Fenómenos de geodinámica externa.
- _ Fenómenos climatológicos e hidrodinámicos.

Los factores que influyen en la ocurrencia de peligros geológicos son:

- a) Relieve accidentado y fuertes pendientes.
- b) Climas extremos y precipitaciones concentradas.
- c) Obstrucción del cauce de los ríos.
- d) Tecnología agrícola inapropiada.

- e) Inadecuada ocupación del territorio.
- f) Inadecuada construcción de viviendas.

7.3. Principales Fenómenos geodinámicos recurrentes en la cuenca del río Colca.

Derrumbes, desprendimientos de roca, huaycos, solifluxiones, deslizamientos, socavamientos, erosión de laderas, inundaciones y desbordes del río.

7.4. Tipos de deslizamientos que afectan la zona de estudio.

Deslizamiento de Maca: Ubicado en la provincia de Caylloma (Arequipa). Su actividad se originó en 1991 y continúa hasta el presente (probablemente después de un sismo). Este viene afectando un tramo de la carretera asfaltada Chivay-Cabanaconde, terrenos de cultivo y el poblado de Maca. En su escenario de riesgo se encuentran el represamiento del río Colca en el Cañón del Colca, un importante centro económico y turístico del país, este deslizamiento se caracteriza por ser un deslizamiento compuesto, su dinámica comprende la mezcla de dos tipos de deslizamiento tanto rotacional como Traslacional.

- **Deslizamiento Rotacional.-** Que por lo general la superficie de falla es formada por una curva cuyo centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo del movimiento. Visto en planta el deslizamiento posee una serie de agrietamientos concéntricos y cóncavos en la dirección del movimiento.

El movimiento produce un área superior de hundimiento y otra inferior de deslizamiento generándose comúnmente, flujos de materiales por debajo del pie del deslizamiento. En muchos deslizamientos rotacionales se forma una superficie cóncava en forma de “cuchara”. Generalmente, el escarpe debajo de la corona tiende a ser semivertical, lo cual facilita la ocurrencia de movimientos retrogresivos. El movimiento aunque es curvilíneo no es necesariamente circular, lo cual es común en materiales residuales donde la resistencia al corte de los materiales aumenta con la profundidad.



Figura 05. Deslizamiento rotacional típico.

- **Deslizamiento Traslacional.-** En el deslizamiento de traslación el movimiento de la masa se desplaza hacia fuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo (Figura 2).

Los movimientos traslacionales tienen generalmente, una relación D_r/L_r de menos de 0.1. La diferencia importante entre los movimientos de rotación y traslación está principalmente, en la aplicabilidad o no de los diversos sistemas de estabilización. Sin embargo, un movimiento de rotación trata de auto estabilizarse, mientras uno de traslación puede progresar indefinidamente a lo largo de la ladera hacia abajo.

Los movimientos de traslación son comúnmente controlados por superficies de debilidad tales como fallas, juntas, fracturas, planos de estratificación y zonas de cambio de estado de meteorización que

corresponden en términos cuantitativos a cambios en la resistencia al corte de los materiales o por el contacto entre la roca y materiales blandos o coluviones. En muchos deslizamientos de traslación la masa se deforma y/o rompe y puede convertirse en flujo. Los deslizamientos sobre discontinuidades sencillas en roca se les denomina deslizamientos de bloque, cuando ocurren a lo largo de dos discontinuidades se le conoce como deslizamiento de cuña y cuando se presentan sobre varios niveles de una familia de discontinuidades se le puede denominar falla en escalera.

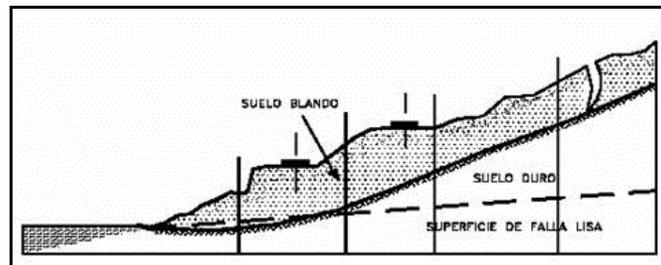


Figura 06. Deslizamiento de traslación.



7.5. Hidrología.

El río Colca, en la vertiente del pacífico es uno de los de mayor longitud, sus nacientes está en el Yanasalla, a 4 886 m al NE del departamento de Arequipa, en el límite con el departamento de Puno. En sus inicios sigue una dirección SE-NO, atravesando las Pampas de Acucullo, Lazayacınca y Colca, donde toma este nombre.

El río Colca, recibe una serie de afluentes, siendo el mayor el río Negrillo, luego recibe las aguas del río Acopunco y a partir de esta confluencia cambia de rumbo y se dirige al SSO, hasta Chivay donde varía nuevamente su dirección y discurre con rumbo E-W, formando un importante valle agrícola entre los 3 651 m (Chivay) y los 2 219 m (confluencia del Colca con el río Huaro Rumi). Concluye el valle agrícola y el Colca formando un largo y profundo cañón, sigue con dirección NO-SE hasta confluir con el río Andamayo, donde una vez más cambia de rumbo y de nombre pues se dirige con dirección N-S, y la denominación de río Majes nombre que se mantiene hasta poco antes de su desembocadura, llegando al mar como río Camaná, al norte de la ciudad de Camaná.

El escurrimiento superficial del río se debe principalmente a la precipitación estacional que ocurre en su cuenca alta, a continuación se ve un mapa hidrológico de la zona de estudio donde se observa la variación del cauce del río Colca en esta parte del valle entre los años 1965 - 2012.

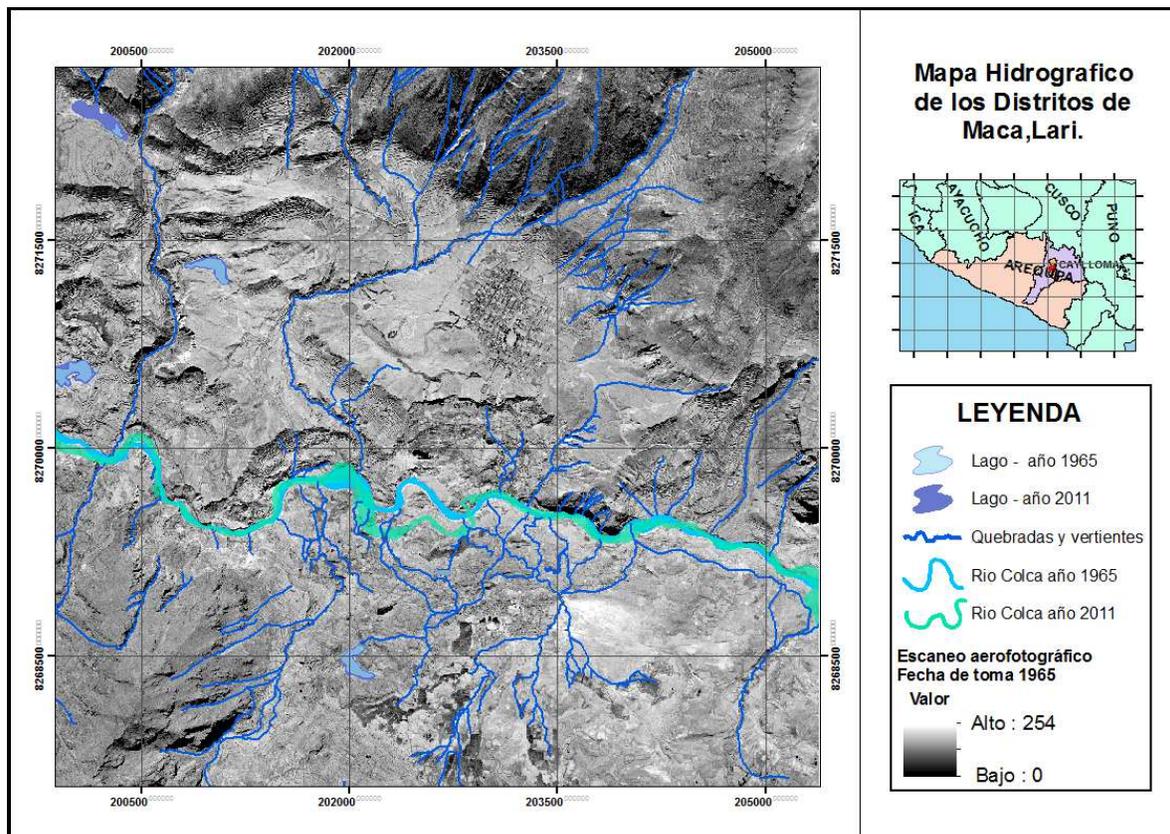


Figura 09. Mapa Hidrológico de la provincia de Caylloma, distrito de Maca.

8. EVALUACION GEOLOGICA DE LA ZONA DE ESTUDIO

Para evaluar las condiciones de inestabilidad del deslizamiento de Maca, ha sido necesario el reconocimiento de los siguientes factores que influyen en su inestabilidad, así como el tipo de material presente en la zona, las chorreras, filtraciones de agua, sobrepeso en el talud y tipo de vegetación existente en o alrededor del mismo.

En la salida de campo que se realizó en agosto del año 2012 conjuntamente con el INGEMMET, se pudieron sacar muestras fotográficas de las condiciones en las que se encuentra el deslizamiento de Maca, este deslizamiento es el más importante y activo en esta zona, tratándose de deslizamientos con avance retrogresivo y progresivo que tienen relación con la incompetencia del material insitu (depósitos lacustres, lodolitas, arenas y conglomerados inconsolidados a medianamente consolidados, alternados con depósitos proluviales), napa freática superficial (oconales y filtraciones), erosión lateral al pie del talud (río Colca) y sismos, que van propagándose hacia arriba hasta dejar una masa importante alterada por inhibición y mecánicamente con muchas superficies de deslizamiento. Esto facilita la infiltración de las aguas de precipitaciones y/o irrigación, la inhibición y la pérdida de la resistencia al corte de una masa importante, que al final acaba deslizándose en su conjunto. La existencia de estos deslizamientos previos se confirma con la presencia de suaves irregularidades escalonadas observables en el área.

A continuación se muestran dos fotografías tomadas en el trabajo de campo realizadas en el año 2012, donde en la fotografía **A** se puede observar presencia de depósitos lacustres (color blanco) los cuales indican que en algún periodo el río Colca fue represado posiblemente por flujos volcánicos generados por el volcán Sabancaya, estos sedimentos lacustres son de características blandas, que sumados a esta la

presencia de aguas subterráneas y superficiales hacen que estos depósitos sean muy inestables originando como en este caso deslizamientos.

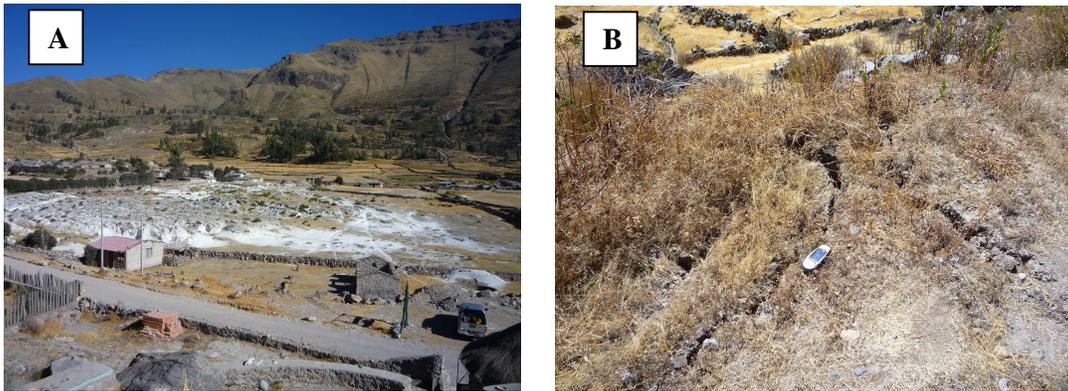


Figura 10. Fotografías tomadas en el trabajo de campo realizado en el deslizamiento de Maca el año 2012

En la fotografía B se puede observar claramente las grietas de distensión en una parte del deslizamiento de Maca, los cuales son señales claras de su actividad e inestabilidad, y que son causadas principalmente por el peso que ocasionan en la base del deslizamiento las aguas subterráneas que afloraron y empozaron.

En la localidad de Maca el deslizamiento es de gran magnitud, ya que se observan grandes agrietamientos en la parte superior de él, afectando un importante tramo de la carretera Maca-Cabanaconde-Huambo-Arequipa, terrenos de cultivo e inclusive su avance podría represar nuevamente el río Colca.



Figura 11. Fotografías tomadas de las grietas de distensión y oconales en el deslizamiento de Maca.

A lo largo del valle del Colca el río del mismo nombre corta depósitos lacustres, fluviales y proluviales (aluviones, lahars), con espesores de hasta 350 m, originados durante este represamiento del valle. Los sedimentos lacustres presentes son de características blandas e interdigitados, que sumados a la presencia de aguas subterráneas (en algunos casos superficiales), hacen que estos depósitos sean muy inestables, dando una peculiaridad al área como presencia de grandes deslizamientos antiguos y recientes.

En esta cuenca se encuentra la zona de deslizamientos más activa, los factores principales de inestabilidad están relacionados a:

- Incompetencia del material (depósitos lacustres)
- Influencia de las filtraciones de aguas subterráneas.
- Influencia de las precipitaciones pluviales estacionales.

- Acción erosiva o de socavamiento del río Colca.
- Sismos (Como el sismo de Maca ocurrido en 1990)
- Acción antrópica (modificación de los taludes al construir carreteras y canales).



Figura 12. Fotografía donde se observa el material predominante en el deslizamiento de Maca.

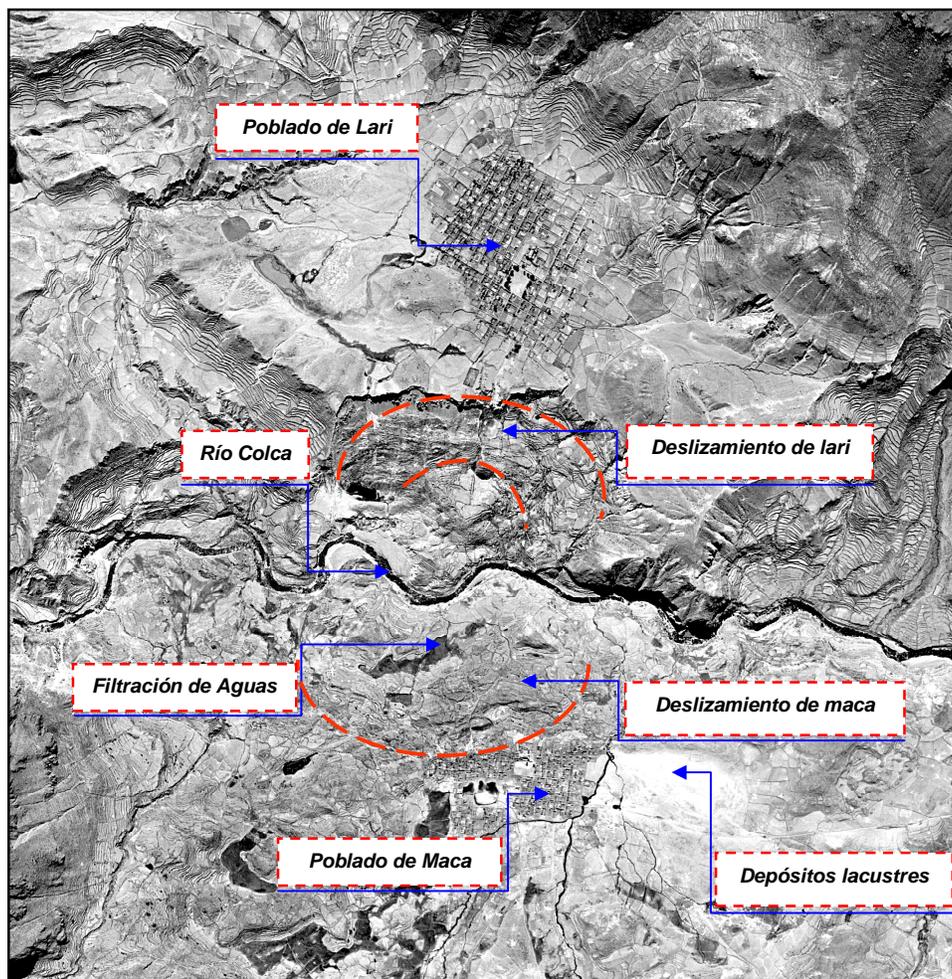


Figura 13. Fotografía aérea del año 1965.

El deslizamiento de Maca muestra un proceso de remoción complejo con escarpas rectas a irregulares, desplazamientos verticales importantes y empuje del material hacia el río. Su activación afecta periódicamente áreas de cultivo y un tramo importante del circuito turístico del cañón del Colca.

También se puede observar en el mosaico 3D realizado con el mosaico las imágenes del google earth, que el deslizamiento de Lari, que aparentemente está estabilizado, tiene una potencialidad de peligro de reactivación, ya que las condiciones de inestabilidad persisten (Ver Figura 12).

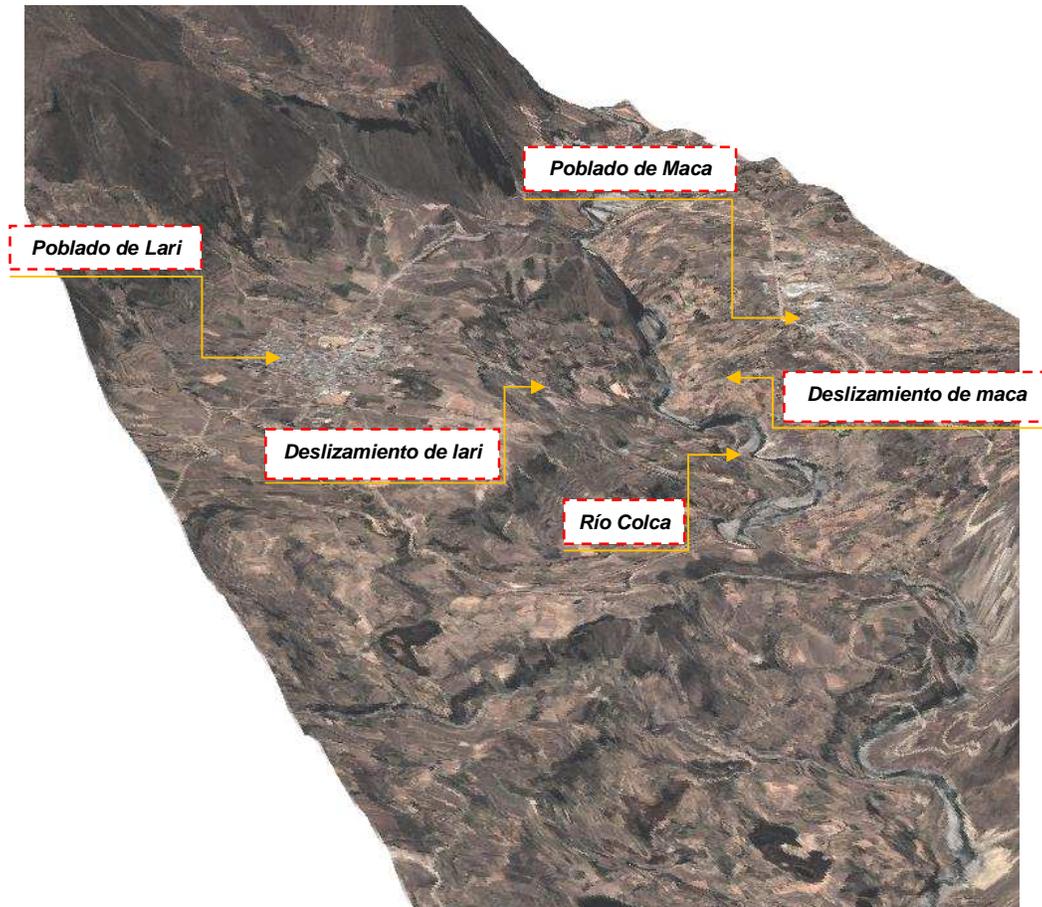


Figura 14. Imagen 3D del valle del colca realizado a partir del mosaico gogle earth.

9. RESULTADOS

A lo largo del estudio se generó un mapa de pendientes con la cartografía adquirida para esta zona a una escala 1/30,000 en la cual se puede ver el porcentaje de pendiente que existe en la zona de estudio, así mismo podemos decir que las aguas tanto de precipitaciones fluviales como subterráneas discurren con gran facilidad por esta parte del valle, aprovechando las pendientes y asentándose en las partes bajas ocasionando la aparición de bofedales aumentando el peso del talud y favoreciendo aún más el deslizamiento de este.

Así mismo se puede observar en el área sombreada que la red hidrográfica sobresale en cantidad, la cual es indicadora de que esta área contiene un alto índice de aguas subterráneas, superficiales, etc, las cuales juegan un papel importante en el comportamiento del deslizamiento de Maca.

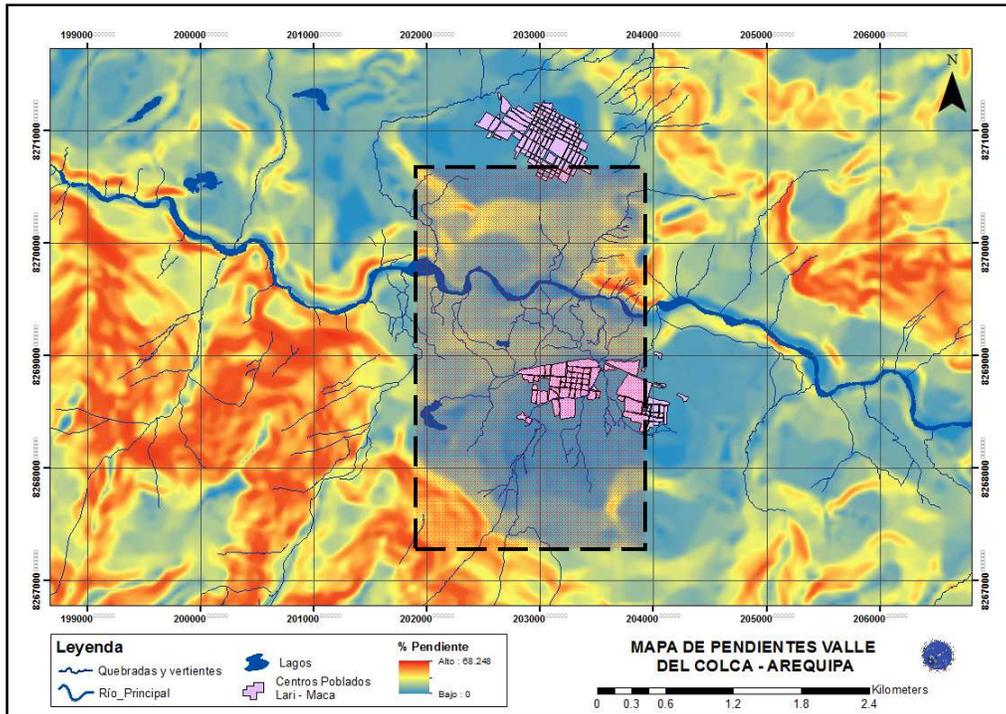


Figura 15. Mapa de pendientes del valle del río Rímac – Tamboraque.

Además con los datos obtenidos a lo largo de todo el proyecto se logró realizar un mapa final el cual muestra un avance de la erosión fluvial y el comportamiento del de los deslizamientos de Maca y Lari, como la variación considerable del cauce del río Colca a lo largo del tiempo.

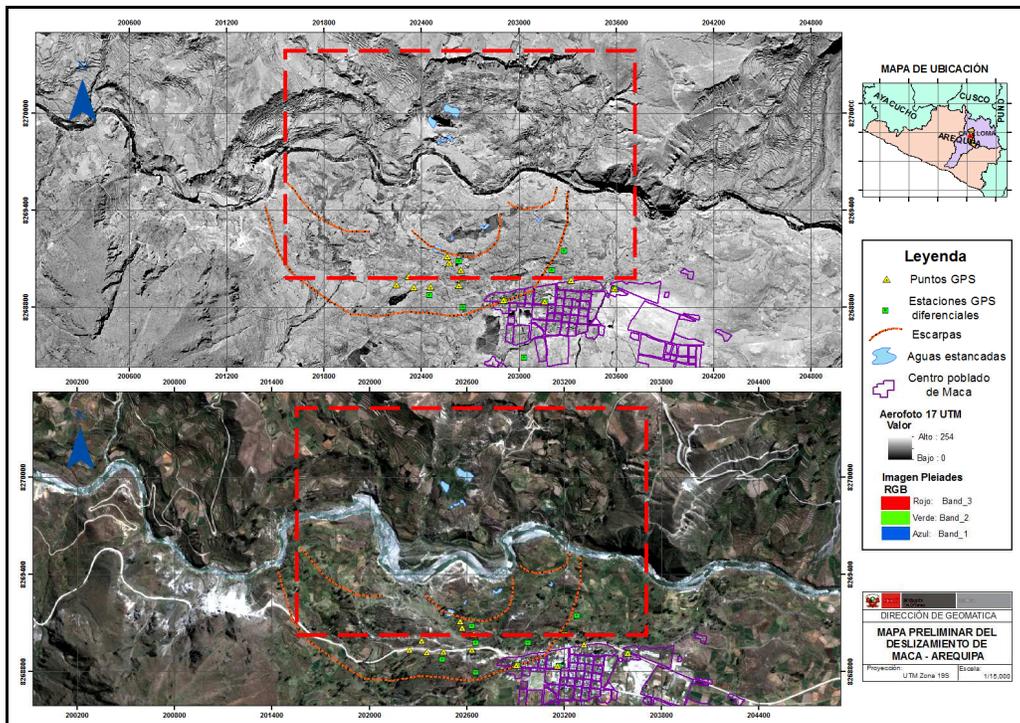


Figura 16. Comparación temporal de los deslizamientos de Maca y Lari – Arequipa

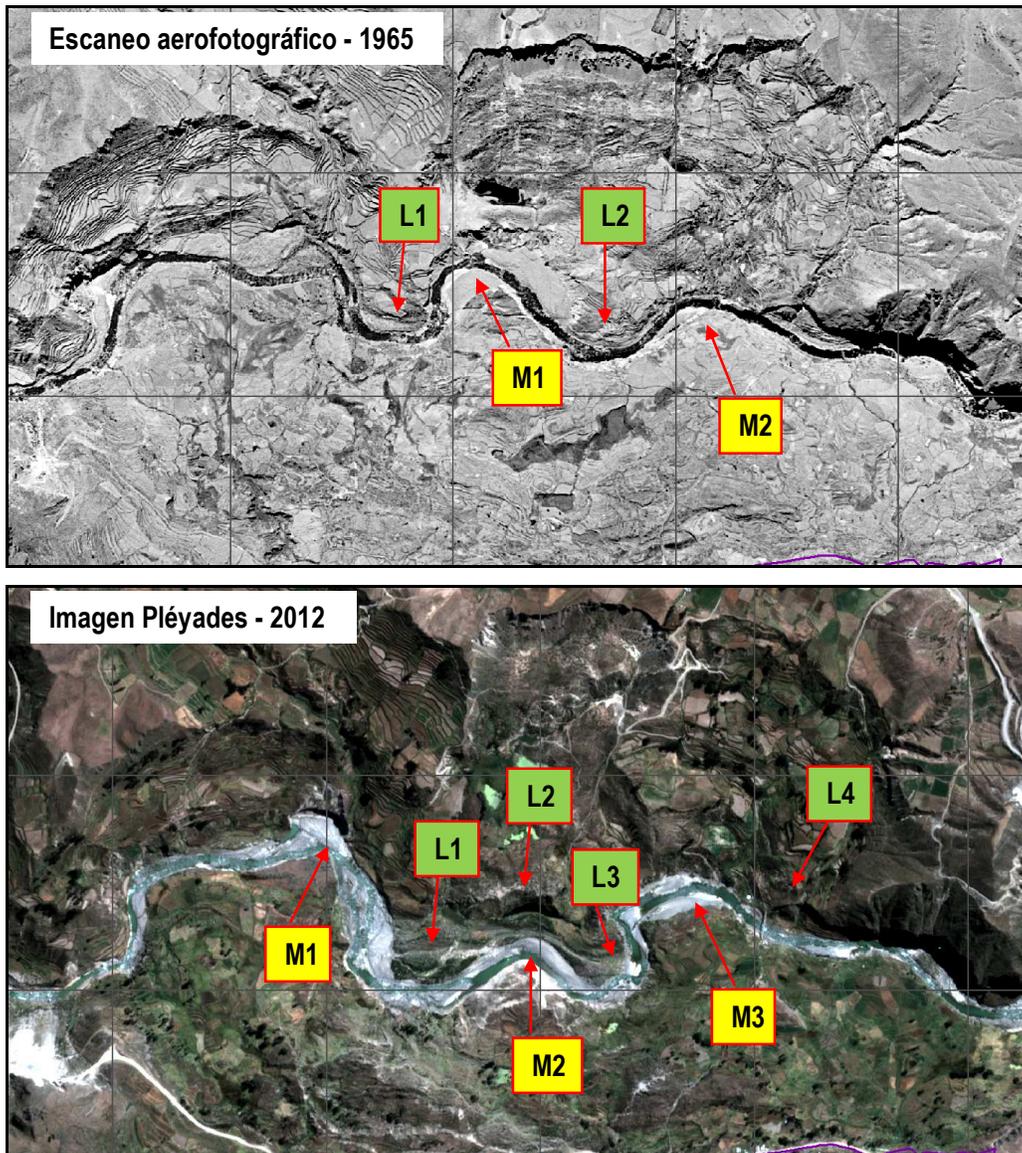


Figura N°17. Comparación de los cambios significativos del cauce del río Colca.

En la imagen tomada el año 1965 se puede observar que los deslizamientos de Maca (M) y Lari (L) tuvieron unos avances importantes, modificando significativamente el cauce del río Colca en esta parte del valle como se puede ver en la figura N°16 y en la figura N°17, y causando represamientos parciales, si comparamos las dos imágenes (Figura 17) vemos que en la imagen tomada el año 1965 ambos deslizamientos (Maca y Lari) estaban ya en movimiento, sumado a esto la erosión del río Colca hacia más inestables ambos márgenes ocasionando así el empuje y represamiento del mismo a lo largo de los años, ocasionando el cambio de cauce frecuente en esta parte del valle, lo cual hace más inestable estas áreas, poniendo en riesgo las viviendas, carreteras, campos de cultivo existentes en las zonas.

10. CONCLUSIONES

- La localidad de Maca se encuentra ubicada en un área con presencia de material lacustre de color blancuzco, gravas arenosas de formas angulosas, así mismo tiene depósitos de lahares y coluviales y la característica común de estos materiales es su gran inestabilidad y su alta permeabilidad los cuales favorecen a la formación de fenómenos de remoción en masa.
- Zona de arranque del deslizamiento de Maca es irregular a semicircular con escarpas de deslizamiento en un área de 1,5 km x 1 km, con pendiente del depósito sub-horizontal de 5° aproximadamente, con escarpas paralelas, sub-verticales. Zona crítica; deslizamiento retrogresivo con avance hacia el lado derecho.
- El poblado de Maca esta ubicado en una zona bastante propensa a sufrir desastres naturales, especialmente asociados a sismos y fenómenos de geodinámica externa, los cuales ocasionarían represamientos en el río Colca.
- La amenaza de volcán Sabancaya en al área de estudio se relacionaría con la posibilidad de generación de flujos de lodo (lahares), que afectarían el poblado de Maca y correría a través del río Colca.
- Afecta extensa zona de tierras de cultivo de Maca y Chacaña, tramo de carretera Maca-Huambo Cabanaconde (1,5 km), el cual presenta un constante hundimiento del terraplén en dos sectores, así mismo compromete el sector de viviendas del lado noroeste de Maca.
- Se pudieron determinar elementos que prueban la inestabilidad del talud donde está ubicado el poblado de Maca, como son la ubicación del volcán Sabancaya, la filtración de aguas, el material inestable que conforma esta parte del cañón y la erosión del río Colca. (ver Figura N°18)



Foto N°18. Presencia de bofedales al pie del deslizamiento de Maca.

- Es importante considerar reubicar al poblado de Maca, ya que está expuesto no solamente al deslizamiento de Maca, si no a varios peligros geológicos como el volcán Sabancaya y lo que este implica.

11. BIBLIOGRAFIA

- Bilberto Zavala, Manuel Vílchez, Malena Rosado. Aspectos geodinámicos en los distritos de Lari, Madrigal y Maca – INGEMMET.

- A. Arozarena Villar. Teledetección y Sistemas de Tratamiento Digital de Imágenes.

- Roberto Kosaka, Armando Minaya, Hector Palza Arias, Javier Ticona, Eduardo Farfán, José Campano. Estudio Geodinámico y Evaluación de Peligros del Valle de Majes – Universidad San Agustín de Arequipa.

- Segundo Núñez, Sandra Villacorta. Susceptibilidad a los Movimientos en Masa en la Cuenca Chancay y Lambayeque – (Lambayeque-Cajamarca) – INGEMMET.

- Hernán Arancibia. Técnicas Geománticas para El Apoyo Cartográfico de Proyectos de Ingeniería en sus Diferentes Etapas - Universidad de Santiago de Chile.