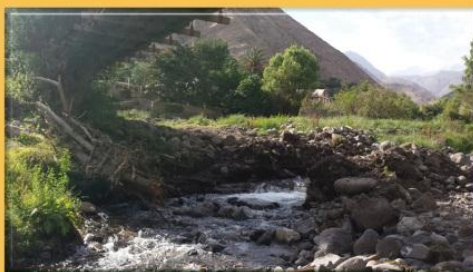


Informe Técnico N° A 6742

# PELIGROS GEOLÓGICOS ASOCIADOS A LA DINÁMICA DEL RÍO LLACLAJO

Región Arequipa  
Provincia Castilla  
Distrito Tipan



POR:

RONALD FERNANDO CONCHA NIÑO DE GUZMÁN  
ESTIBENE POOL VÁSQUEZ CHOQUE

ENERO  
2017

**PELIGROS GEOLÓGICOS, ASOCIADOS A LA DINÁMICA DEL RÍO LLACLLAJO  
DISTRITO TIPAN, PROVINCIA CASTILLA, DEPARTAMENTO AREQUIPA**

**CONTENIDO**

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>UBICACIÓN.....</b>	<b>2</b>
<b>3.</b>	<b>ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS.....</b>	<b>3</b>
<b>4.</b>	<b>PELIGROS GEOLÓGICOS ASOCIADOS A LA DINÁMICA FLUVIAL.....</b>	<b>6</b>
<b>5.</b>	<b>CAUSAS DEL FLUJO DE DETRITOS OCURRIDO EN MARZO DEL 2016</b>	<b>7</b>
<b>6.</b>	<b>EFFECTOS DEL FLUJO DE DETRITOS OCURRIDO EN MARZO DEL 2016</b>	<b>10</b>
<b>7.</b>	<b>MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD DEL POBLADO DE TIPAN.....</b>	<b>19</b>
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>24</b>
	<b>RECOMENDACIONES Y MEDIDAS DE PREVENCIÓN.....</b>	<b>25</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

Debido a las intensas precipitaciones registradas a inicios del año 2016 en gran parte de la Región Arequipa, en el mes de marzo se produjo la activación y reactivación de varios deslizamientos y derrumbes en ambas márgenes de la parte media del río Llato, que es un afluente del río Llacllajo (figura 1). Estos eventos fueron predecesores a la ocurrencia de un flujo de detritos o “Huayco”, que afectó áreas de cultivo e infraestructura urbana en el poblado de Tipan.

El presente trabajo, se realizó a solicitud de la Municipalidad distrital de Tipan con Oficio N° 261-2016-MDT. La inspección de campo se efectuó el día 25 de noviembre del 2016, a cargo de los ingenieros Ronald Concha y Pool Vásquez de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET.

El estudio contempla el análisis de aspectos geológico-geomorfológicos, peligros asociados a la dinámica fluvial del río principal y tributario, así como el análisis de las causas y efectos originados por el “aluvión” ocurrido en marzo del 2016.

La evaluación de peligros geológicos realizada, comprendió tres etapas: 1) Realizada en gabinete, que consistió en el reconocimiento geomorfológico de la zona de estudio mediante imágenes de *Google Earth* de distintos años y la realización de un mapeo geológico y geodinámico inicial; 2) Inspección geológica de campo, donde se cartografió a detalle los fenómenos geodinámicos (escarpes de erosión fluvial, zonas susceptibles a inundaciones, grietas tensionales etc.); se identificaron las zonas de riesgo, y se recabó información sobre la recurrencia de eventos geodinámicos; 3) Elaboración de los mapas finales y la redacción del informe final, que contiene las propuestas de prevención y mitigación ante eventuales desastres originados por la dinámica del río Llacllajo.

El presente informe técnico, como parte de la asistencia técnica en riesgo geológico que brinda INGEMMET, al gobierno nacional, gobiernos regionales y, se pone a consideración de los interesados para fines de prevención gestión de riesgo de desastres.

## 2. UBICACIÓN

El poblado Tipan, se ubica en la margen derecha del río Llacllajo, en la provincia de Castilla, departamento de Arequipa (fig. 1). La erosión fluvial, inundaciones y deslizamientos producidos por el socavamiento lateral del río Llacllajo en tiempos de lluvia, son fenómenos

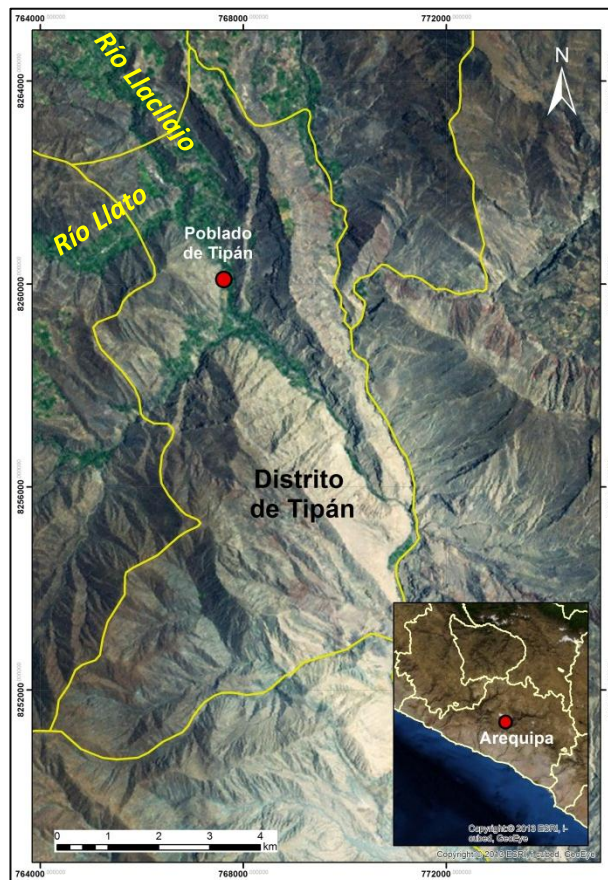


Fig. 1: Mapa de ubicación de la zona de estudio.

geodinámicos muy frecuentes en esta zona y alrededores, y afectan severamente a la infraestructura urbana y a amplias zonas de cultivo. Muchas viviendas se encuentran en riesgo, debido a que están ubicadas al borde de terrazas aluviales susceptibles a la erosión fluvial.

Tipan, se emplaza principalmente sobre una terraza de origen aluvial. Las laderas del valle del río Llacllajo en este sector, tienen una pendiente que varía entre los 45° y 60° y se caracterizan por presentar afloramientos intercalados de arenisca y lutitas de edad Jurásica, que se encuentran por debajo y en discordancia erosiva con rocas de origen volcánico, provenientes de la formación del complejo volcánico Coropuna.

### 3. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS

En la zona de estudio y alrededores, aflora ampliamente secuencias de rocas sedimentarias, las que se pueden observar en las vertientes de las montañas. En las laderas del cerro Mauca Chupacra ubicado al oeste del poblado de Tipan, se observan rocas corresponden a las Formaciones Puente y Cachíos de edad Jurásico medio (foto 1), constituida por una intercalación de areniscas grises y lutitas oscuras. Encima de estas, aflora la Formación Labra, de edad Jurásico superior constituida principalmente por areniscas blancas (Caldas, 1973; Romero & Ticona, 2002). Estas unidades, se encuentran fuertemente plegadas, falladas y fracturadas desde una escala regional. Localmente no muestran evidencias de desprendimientos, caídas de roca o deslizamientos

Sobre las secuencias sedimentarias mencionadas, afloran rocas y depósitos de origen volcánico de edad Plioceno superior – Pleistoceno inferior (Caldas, 1973; Romero & Ticona, 2002). Estas unidades corresponden al Grupo Barroso y están asociadas a la dinámica eruptiva que dio origen al Complejo Volcánico Coropuna. En la parte alta y en las laderas del cerro Bellavista, ubicado al este del poblado de Tipan, afloran coladas andesíticas, intercaladas con conglomerados y brechas. En el fondo del valle Llacllajo, a manera de grandes terrazas, afloran depósitos antiguos de lahares y avalanchas de escombros; sobre estos depósitos se emplaza el poblado de Tagre (Fig. 2). En estas unidades se desarrollan algunos deslizamientos, caídas de roca y erosión de laderas por carcavamiento.

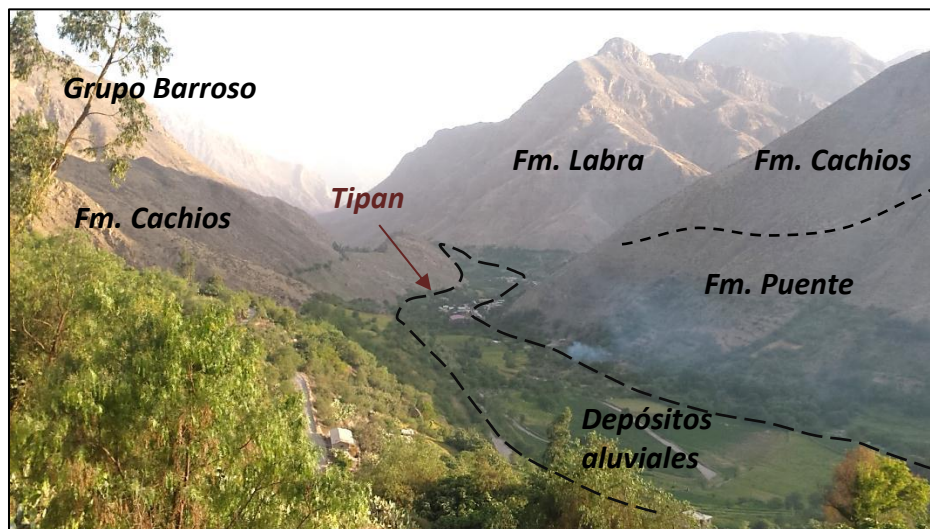


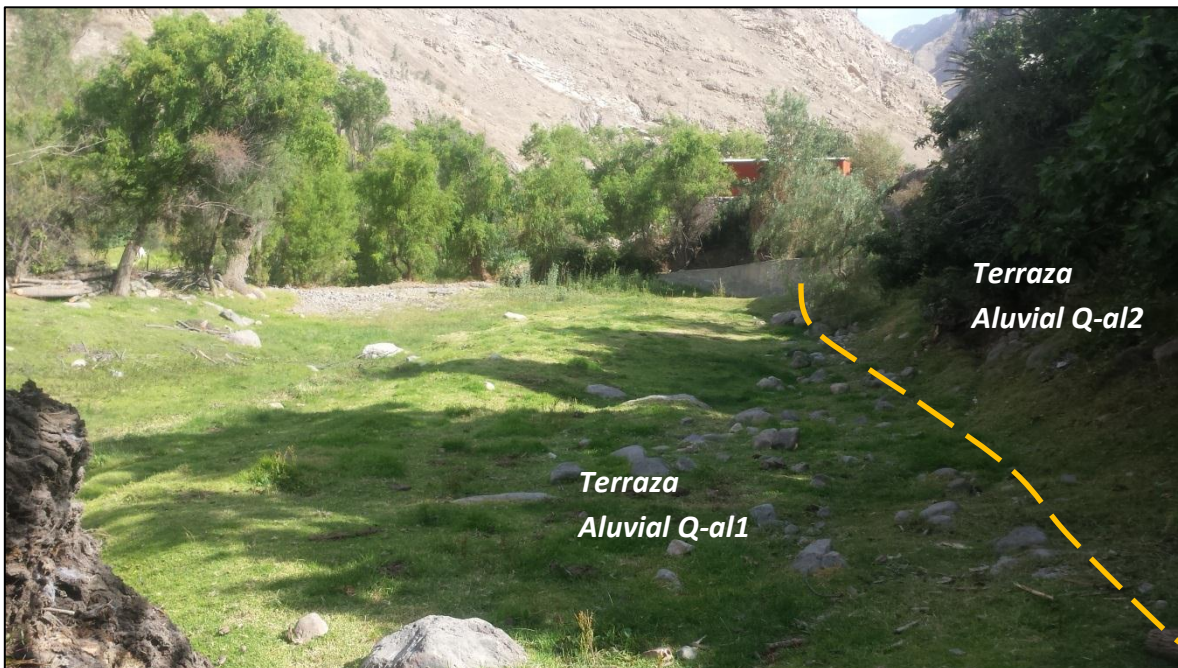
Foto 1: Unidades litoestratigráficas en el valle del río Llacllajo.

Los depósitos cuaternarios, se emplazan ampliamente en las vertientes de los cerros Mauca Chupacra y Bellavista a manera de depósitos de piedemonte, y principalmente en el fondo del valle del río Llacllajo ocupando terrazas. Destacan los depósitos coluviales, originados por derrumbes y caídas de rocas y detritos dispuestos a manera de conos de deyección. Estos depósitos están constituidos por fragmentos de areniscas y rocas de origen volcánico sub-angulosas envueltos en una matriz limosa. Al este de Tipan, en las laderas medias del cerro Bellavista, se observa un deslizamiento de tipo rotacional, desarrollado sobre depósitos coluviales.

En la vertiente suroriental del cerro Mauca Chupacra, se emplazan depósitos proluviales, originados por grandes flujos de detritos a manera de huaycos, estos depósitos de gran volumen están constituidos por fragmentos de areniscas y lutitas envueltos en una matriz limo arcillosa.

En el fondo de los valles Llacllajo y Llato, se emplazan depósitos aluviales originados por antiguos flujos de detritos o “huaycos”, constituidos por fragmentos sub-redondeados de rocas de origen volcánico envueltas en una matriz limo-arenosa. Estos depósitos están dispuestos a manera de terrazas, y en el presente informe son diferenciados como Q-al1 y Q-al2, siendo la terraza Q-al2, la más antigua y de mayor altura (foto 2). El poblado de Tipan se encuentra asentado sobre la terraza Q-al2. Estos depósitos, por sus características litológicas son muy susceptibles a la erosión fluvial, por lo que es común que se desarrollen derrumbes, deslizamientos e inundaciones.

Los depósitos fluviales se acumulan en el cauce de los ríos Llacllajo y Llato formando algunas terrazas y barras fluviales. Están constituidos por cantos rodados de rocas de origen volcánico en envueltos en una matriz arenosa. Estas unidades son susceptibles a inundaciones anuales.



**Foto 2:** Llanura aluvial Q-al1, en límite con el salto de la terraza aluvial Q-al2.

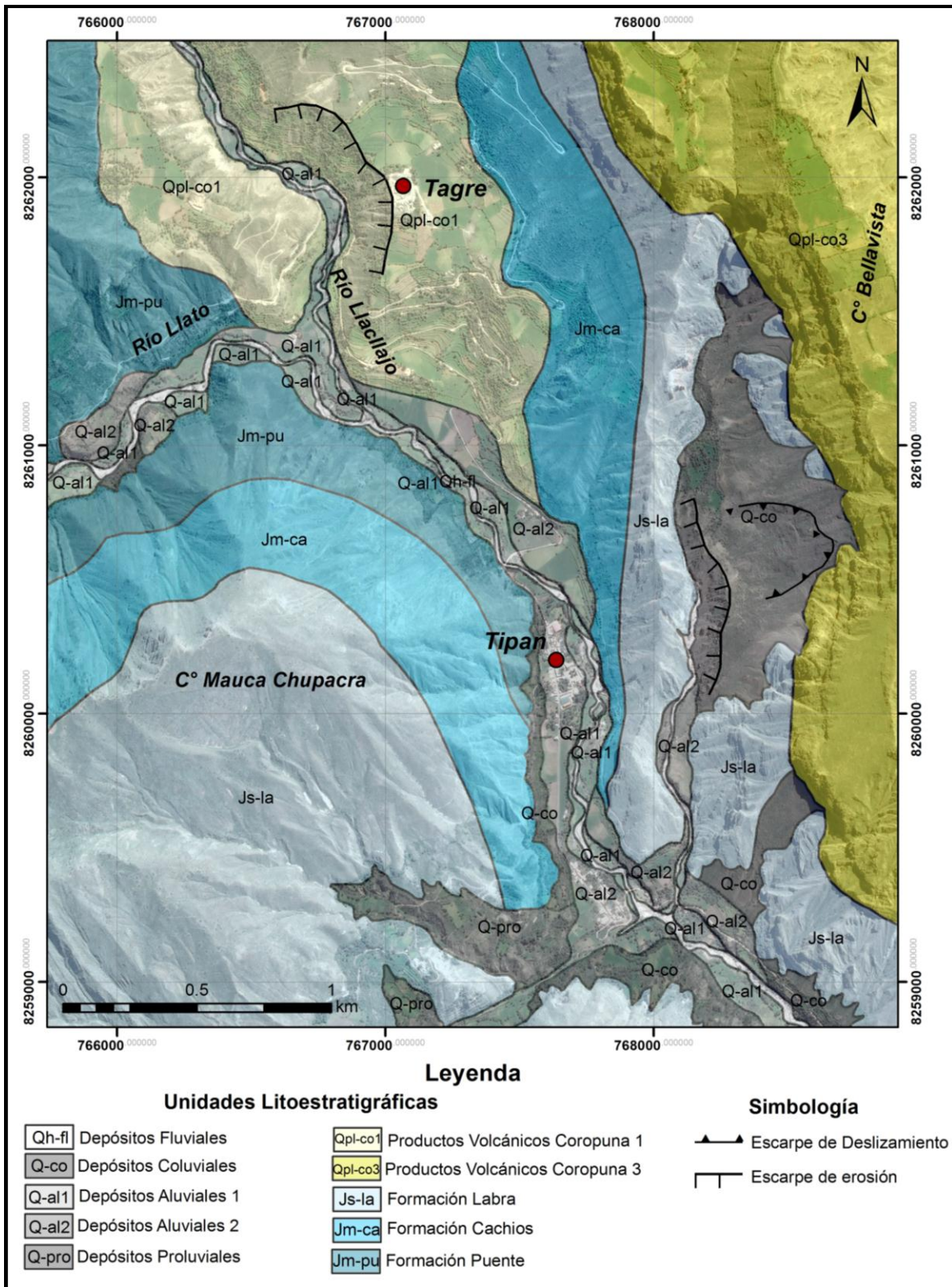
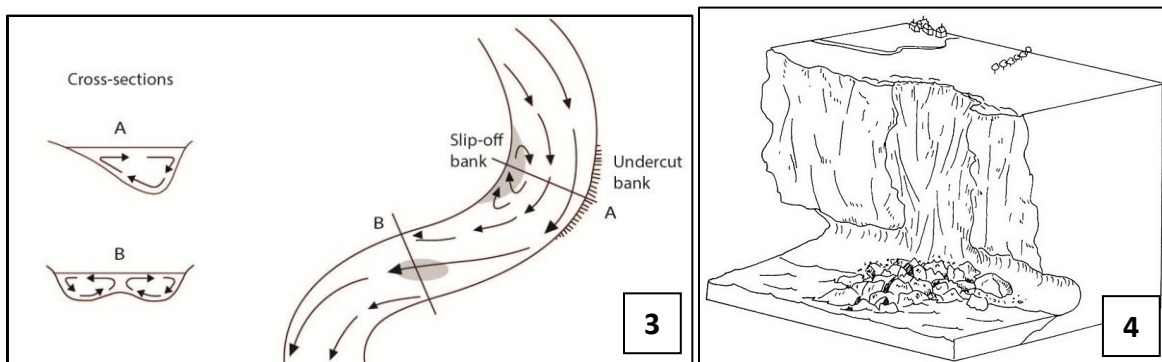


Fig. 2: Mapa geológico de la zona de estudio y alrededores (modificado de Caldas, 1973; Romero & Ticona, 2002).

#### 4. PELIGROS GEOLÓGICOS ASOCIADOS A LA DINÁMICA FLUVIAL

En el mes de marzo del 2016, tras las intensas lluvias registradas en toda la región Arequipa, se produjo un incremento en el caudal de los ríos Llacllajo y Llato en la provincia de Castilla. A lo largo de estas quebradas, la erosión y el socavamiento fluvial originaron la activación y reactivación de numerosos derrumbes y deslizamientos, así como inundaciones de detritos en terrazas fluviales y aluviales, causando de esta manera la destrucción de extensas zonas agrícolas, y poniendo en riesgo numerosas viviendas.

Las figuras 3 y 4, muestran los efectos erosivos producidos por la dinámica fluvial en un cauce sinuoso como el de los ríos Llato y Llacllajo. En zonas donde existe un fuerte desnivel, entre el cauce del río y otros depósitos, como terrazas aluviales o depósitos de ladera, la erosión y socavamiento lateral se originaron colapsos de material y la aparición de grietas tensionales. Estos fenómenos se pudieron comprobar en zonas como Chupacra, Tipan y Paracolca. La figura 5, muestra algunas de las zonas más susceptibles a los fenómenos mencionados.



**Fig. 3:** Vista en planta de la dinámica fluvial en cauces sinuosos (Huggett, 2007). **Fig. 4:** Esquema de un socavamiento lateral, que origina derrumbes y deslizamientos (PMA, 2007).

Además, las características geológicas y geomorfológicas de los depósitos Cuaternarios mencionadas en el apartado 2, dan prueba de la recurrencia geológica de eventos aluviónicos a lo largo de la evolución del valle Llacllajo, y de la susceptibilidad que tienen los materiales de estos depósitos (inconsolidados), frente a una erosión fluvial asociada al régimen estacional de sus cauces y lluvias periódicas a excepcionales en sus subcuencas.

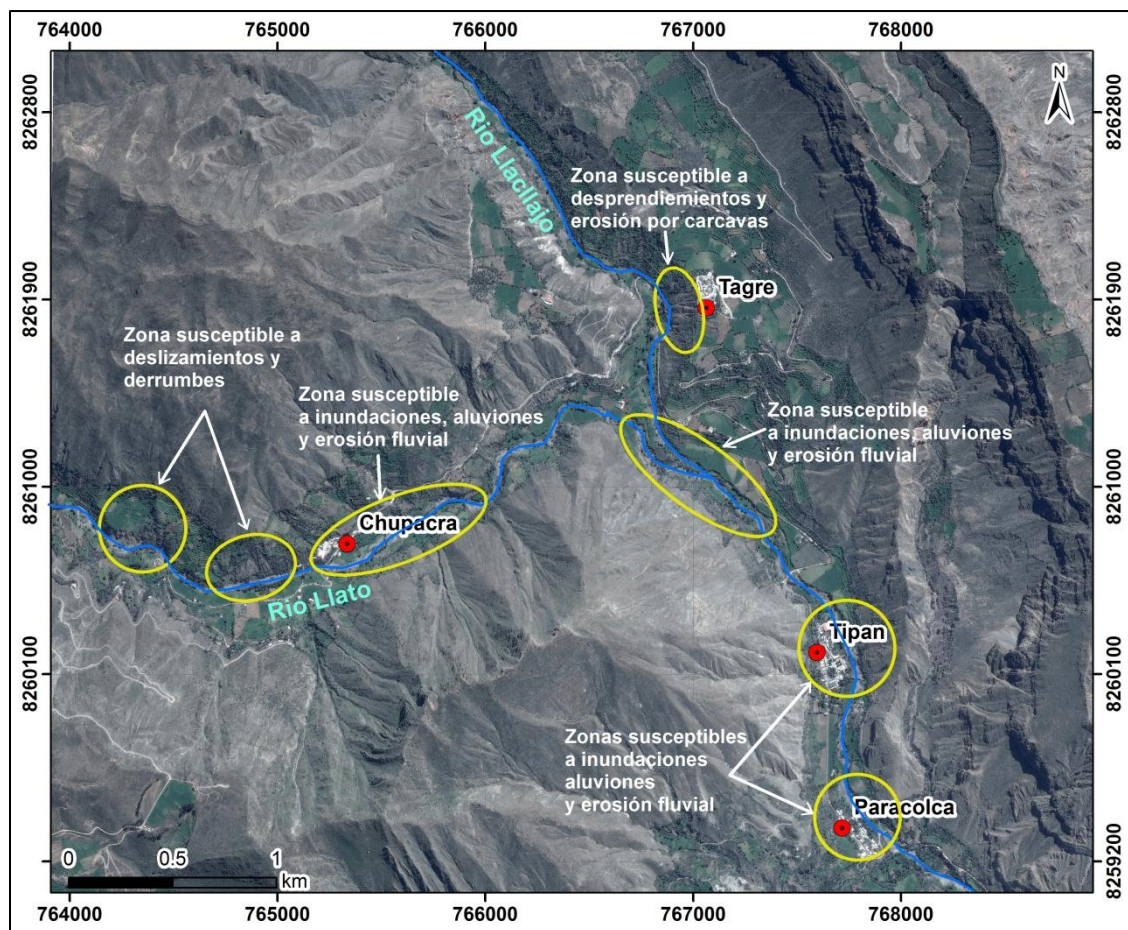


Fig. 5: Algunas de las zonas más importantes que son susceptibles a peligros geológicos.

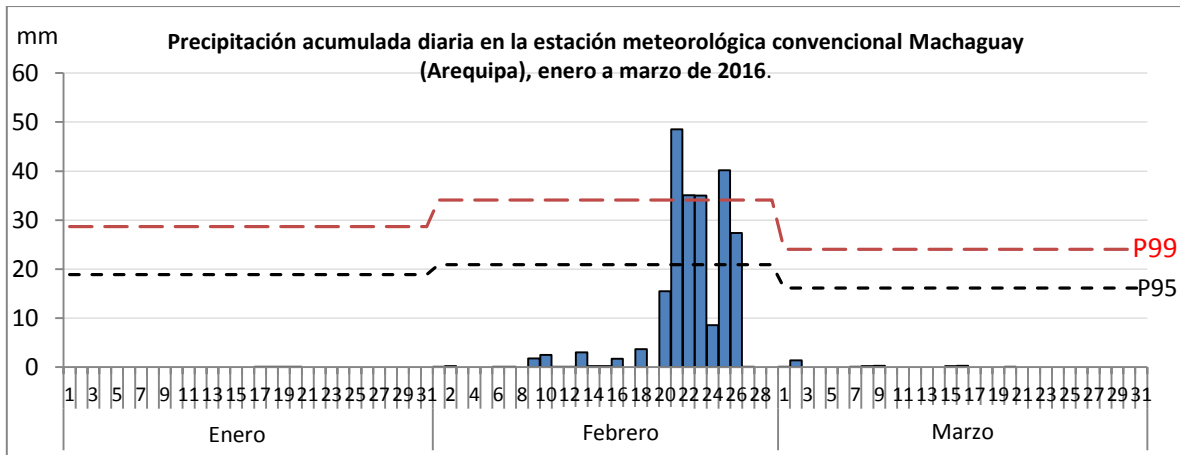
## 5. CAUSAS DEL ALUVIÓN OCURRIDO EN MARZO DEL 2016

El agente detonante para la ocurrencia de aluviones en las quebradas Llato y Llacllajo fueron las excepcionales lluvias registradas en la región, que erosionaron los depósitos inconsolidados que se emplazan en el fondo de dichos valles.

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), a través de su estación Meteorológica de Machaguay, ubicada a 7.9 km al norte de Tipan (figura 7), registró el día 21 de febrero del 2016, el pico de mayor precipitación en la zona desde 1964, el registro fue de 49 mm en 24 horas.

La figura 6, muestra en barras azules las precipitaciones pluviales registradas entre enero y marzo del 2016, nótese las mayores lluvias entre los días 20 y 26 de febrero. La línea roja P99 (percentil 99), fue calculada de forma mensual para el periodo 1964 – 2015, e indica que el 99% de lluvias registradas en este periodo, no superaron este límite. Sin embargo, el registro 2016 supera notablemente el percentil 99, lo que indica su excepcionalidad. De la misma forma fue calculado el P95.



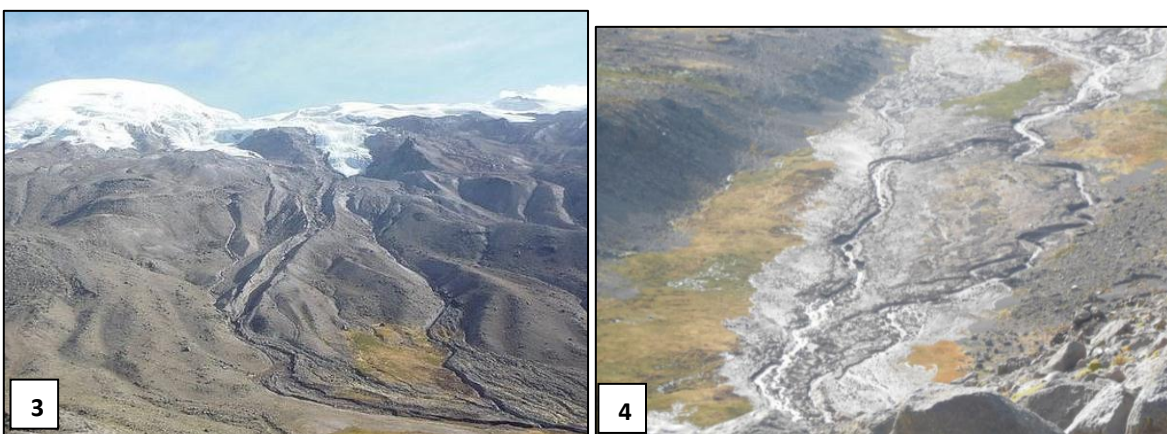


**Fig. 6:** Registro de precipitación pluvial entre los meses de enero a marzo del 2016 de la Estación Meteorológica de Machaguay (SENAMHI, 2016).

Otra de las posibles causas para la ocurrencia del aluvion registrado en el poblado de Tipan, es el derretimiento y deshielo de las lenguas glaciares de la vertiente sur del Nevado Coropuna, cuya consecuencia directa, es el incremento del caudal del río Tastane, que más al sur toma el nombre de Llato, y con ello aumenta la capacidad erosiva en los depósitos inconsolidados del valle.

Cabe mencionar que el fenómeno de fusión de hielo o retroceso glaciar, se viene produciendo en todas las masas glaciares de los Andes peruanos, debido al proceso de Cambio Climático que experimenta nuestro planeta.

El día 20 de diciembre del presente, especialistas de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), inspeccionaron el sector denominado localmente como “Nevados”. En esta zona pudieron identificar depósitos de aluviones muy recientes (fotos 3 y 4). Estos depósitos se habrían producido por el desprendimiento de un bloque de hielo del frente glaciar de una lengua ubicada en la vertiente sur del Nevado Coropuna, a 26 km al noroeste de Tipan y 2.5 km al norte del sector Nevados (Fig. 7).



**Foto 3:** Frente glaciar en la vertiente sur del Nevado Coropuna (Zona de arranque de aluviones producidos por desprendimiento de bloques de hielo). **Foto4:** Material aluviónico depositado en el sector “Nevados”. (Fuente de ambas fotografías: ANA, 2016).

Las fotografías 5 y 6, muestran lenguas glaciares de la zona de ablación (zona de derretimiento y pérdida de masa de un glaciar) en el área de desprendimiento glaciar. Estas lenguas drenan

directamente hacia el sector “Nevados”, las imágenes son del año 2013 y 2015 respectivamente y en ellas se puede apreciar una ligera variación en la extensión de las masas glaciares producto del derretimiento, lo que ocasiona un incremento en el caudal de los ríos.

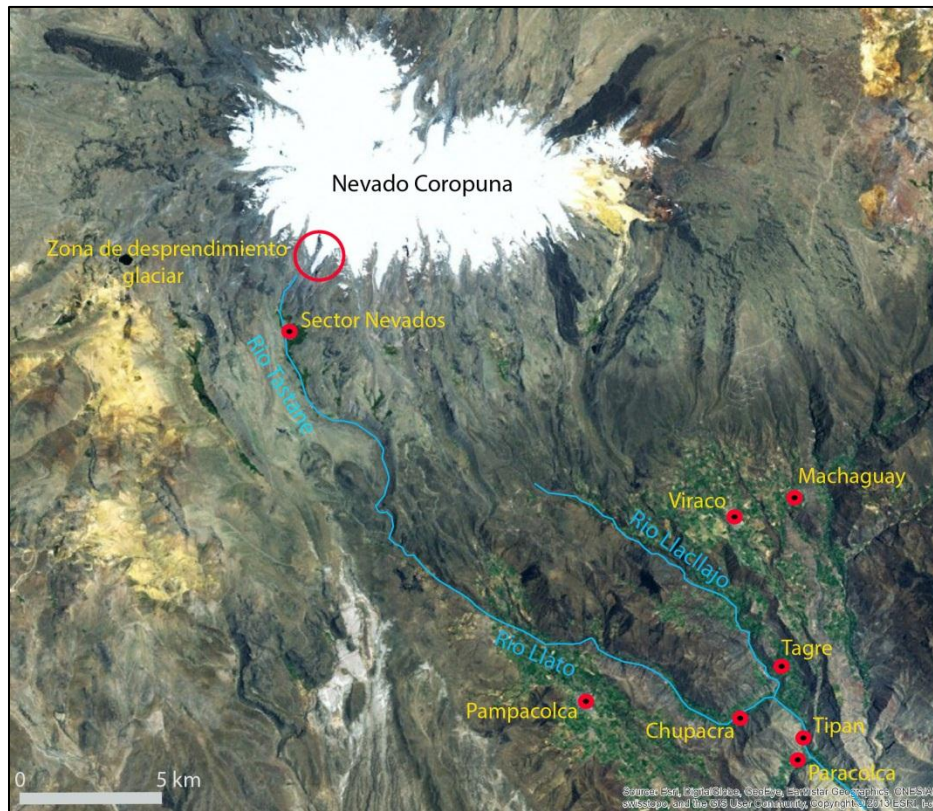


Fig. 7: Recorrido del río Tastane, que nace del deshielo del Nevado Coropuna.

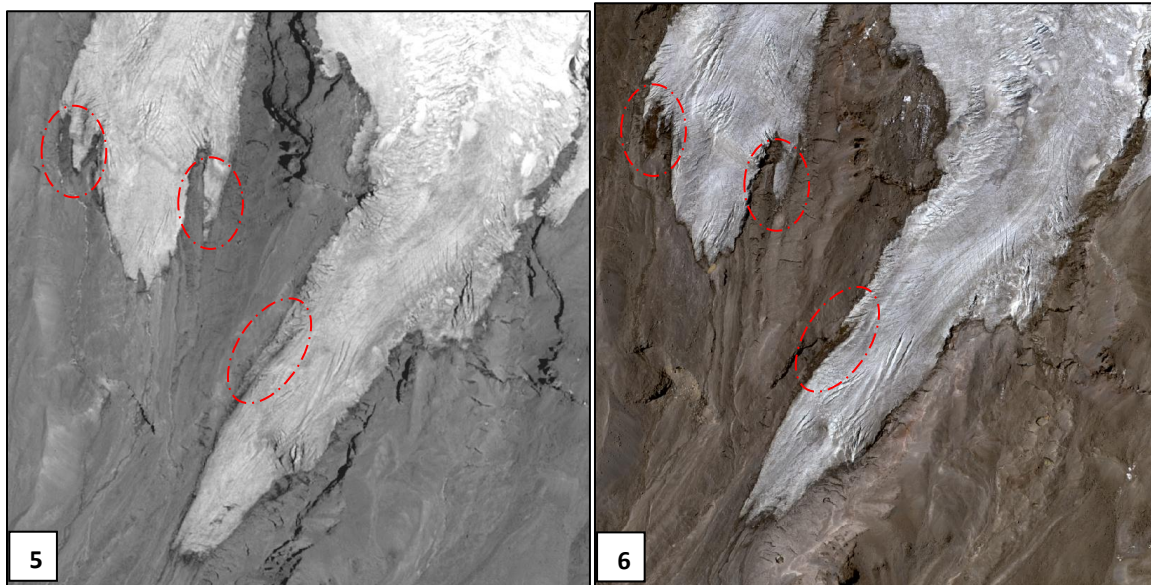


Foto 5: Imagen SPOT del año 2013 (propiedad del INGEMMET). Foto6: Ortofoto del año 2015 (propiedad del SENAMHI).

## 6. EFECTOS DEL ALUVIÓN OCURRIDO EN MARZO DEL 2016

En el presente apartado, se analiza la peligrosidad en el poblado Tipán y el sector Paracolca, tomando en cuenta las características geomorfológicas, litológicas y climáticas antes mencionadas. Además se hará también una comparación de imágenes Google Earth de distintas fechas, para evaluar los daños.

Como se ha dicho, las características morfológicas de Tipán y el sector Paracolca, corresponde a un valle con una serie de terrazas aluviales y fluviales, dispuestas a manera de “escalones”, sobre los cuales se emplazan los centros poblados así como sus áreas de cultivo (Fig. 8, foto 7).

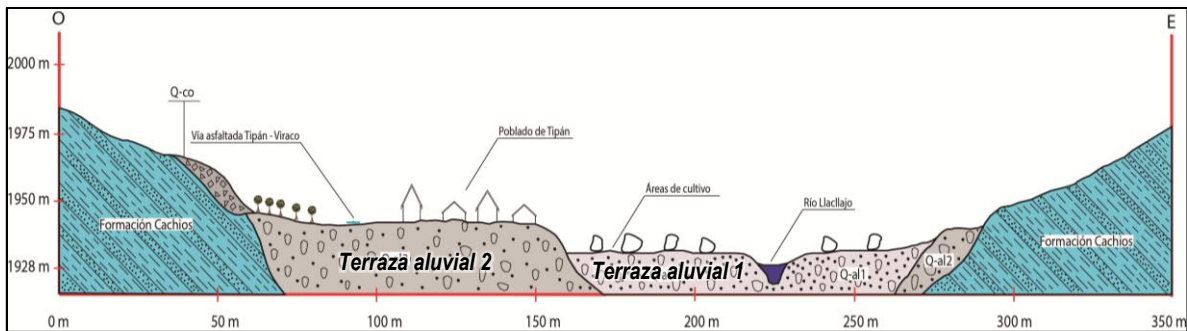


Fig. 8: Corte geológico del poblado de Tipán.



Foto 7: Valle del río Llacllajo, vista tomada desde el sector Paracolca.

Estas terrazas, son el resultado del emplazamiento de eventos geodinámicos antiguos, es decir “huaycos” de grandes dimensiones, que configuraron el relieve actual. Las terrazas fluviales, son las

zonas más susceptibles a aluviones e inundaciones. Estas áreas se ven afectadas anualmente en periodo de lluvias<sup>1</sup>.

Durante la inspección realizada, se pudo observar abundante material aluviónico, constituido por bloques y troncos de árboles que dañaron la estructura del puente Tipan (fotos 8 y 9).



**Foto 8:** Material aluviónico en el cauce del río Tipan.



**Foto 9:** Daños en la estructura del puente Tipan.

Las terrazas aluviales 1, son zonas de alta susceptibilidad ante aluviones, inundaciones y socavamiento lateral durante periodos de intensas precipitaciones “lluvias extraordinarias” como el registrado a inicios del año 2016, y que tienen un periodo de recurrencia que varía de entre 10 a 50 años.

---

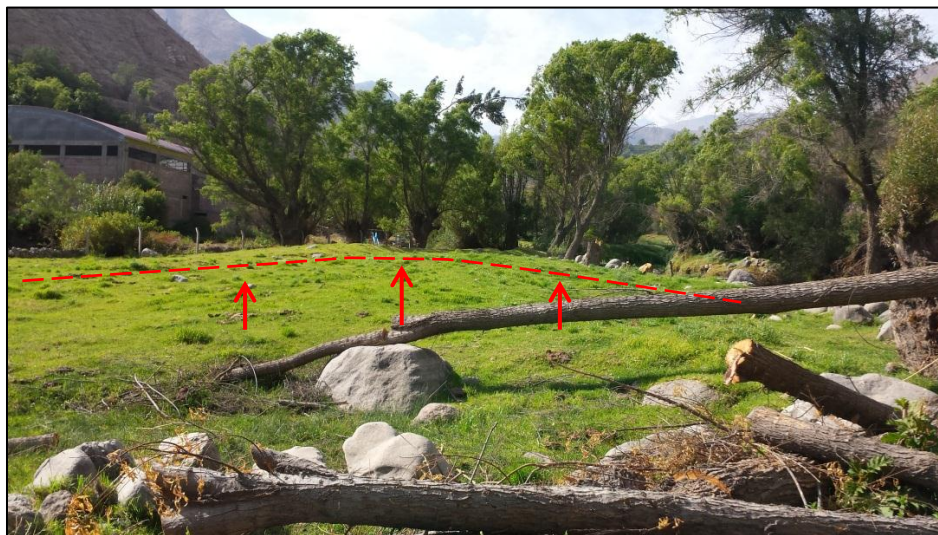
<sup>1</sup> En las fotografías 10, 11 y 12 las características de los materiales (tamaño de los bloques y morfología de “hummocks” que componen las terrazas antiguas, sugieren la ocurrencia de avalanchas que fueron canalizadas por las quebradas en el pasado reciente.

Durante la inspección realizada se pudo observar que estas zonas fueron gravemente afectadas. Sobre estas terrazas, se puede ver abundantes bloques de roca de diversas dimensiones, así como también troncos de árboles que fueron arrastrados durante el aluvión de inicios de año. Se pudo comprobar además que algunas zonas se encontraban sobresaturadas en agua, motivo por el cual se aprecia una deformación muy intensa, que hizo que terreno se levante y tenga una forma abombada (fotos 10 y 11).

Cabe mencionar, que existe también bastante material aluviónico anterior al evento del 2016, lo que indica la recurrencia y la alta susceptibilidad de estas terrazas ante futuros aluviones (Foto 12).



**Foto 10:** Terraza aluvial 1, con abundantes bloques aluviónicos.



**Foto 11:** Terraza aluvial 1, deformada por la sobresaturación de agua en su interior.



**Foto 12:** Bloques de aluviones, anteriores al evento del 2016.

Las terrazas aluviales 2, que es donde se encuentran los poblados de Tipan y Paracolca, se ven afectadas principalmente por procesos de socavamiento lateral (Fig. 4), que erosionan continuamente las laderas, afectando numerosas viviendas e infraestructura urbana (Fotos 13 y 14).



**Foto 13:** Vivienda susceptible a erosión lateral en el poblado de Tipan.



**Foto 14:** Vivienda susceptible a erosión lateral en el sector Paracolca.

Es importante mencionar que algunas viviendas, evacuan el agua que utilizan a través de canaletas hacia la Terraza 1, incrementando de esta manera la susceptibilidad a la erosión (foto 15). De continuar el problema de erosión en el borde de las terrazas aluviales 2, algunas viviendas afectadas podrían pasar a estados de inhabilitación o actividad circunstancial.



**Foto 15:** Vertedero de agua en una vivienda en el sector Paracolca.

Mediante un análisis de imágenes de Google Earth de distintas fechas, se realizó una comparación en las zonas Tipan y Paracolca. Para ambas zonas, existen cuatro fotografías históricas y corresponden a los años 2004, 2010, 2013 y 2016 (figura 9), en las cuales no se observan mayores diferencias respecto a la dinámica fluvial o de laderas. Solamente en la fotografía del año 2016 se observa claramente el recorrido del aluvión en estudio. De igual manera en el sector de Paracolca, en la imagen del año 2016 se observa el claro rastro del aluvión del año 2016 (figura 10).

Una zona muy importante es el sector Chupacra (ver figura 5), en ella no solo se aprecia el rastro del aluvión del 2016 sino también una intensa erosión lateral en las márgenes del río Llato. En la margen izquierda se observa la activación de un deslizamiento de tipo rotacional de 140 m de diámetro (fotos 16 y 17), son estos fenómenos de movimientos en masa los que contribuyen al aumento de material transportado durante la crecida de los ríos. Por este motivo no solo es suficiente realizar la protección ribereña en los centros poblados, sino se debe controlar la erosión de laderas a lo largo de las quebradas.





**Fig. 9:** Secuencia histórica de imágenes satelitales disponibles en el poblado Tipan; la última muestra los efectos del año 2016.



**Fig. 10:** Mosaico de imágenes históricas disponibles que muestra el sector Paracolca, resaltando en color rojo los efectos del 2016.



**Foto 16:** Río Llato, en el sector Chupacra, antes de la activación de un deslizamiento en la margen izquierda.



**Foto 17:** Río Llato, en el sector Chupacra, activación de un deslizamiento por efecto de socavación fluvial después del aluvión del 2016.

## 7. MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD DEL POBLADO DE TIPAN

Con toda la información recopilada tanto en campo como en gabinete, se realizó un mapa de susceptibilidad ante aluviones, inundaciones y erosión lateral para el poblado de Tipan y el sector de Paracolca (figuras 11 y 12). Se presenta también dos cortes geológicos para cada una de las zonas analizadas, en los cuales se muestra el estado antes y después del aluvión ocurrido en marzo del 2016 (figuras 13 y 14).

La zona de susceptibilidad muy alta, incluye las áreas que son ocupadas por la crecida anual del río Llacllato (Terraza fluvial) y además por las áreas afectadas por el aluvión de marzo del 2016 (parte de la Terraza aluvial 1).

La zona de susceptibilidad alta, incluye parte de las terrazas aluviales 1, y además el borde de algunas de las terrazas aluviales 2, que vienen siendo afectadas por el socavamiento lateral y la erosión superficial en el salto entre ambas terrazas. En el borde de la terraza 2, se han desarrollado algunas grietas tensionales tanto en algunas viviendas como en una vía peatonal (fotos 18 y 19).



**Fotos 18 y 19:** Daños estructurales en infraestructura urbana en el sector de Paracolca.

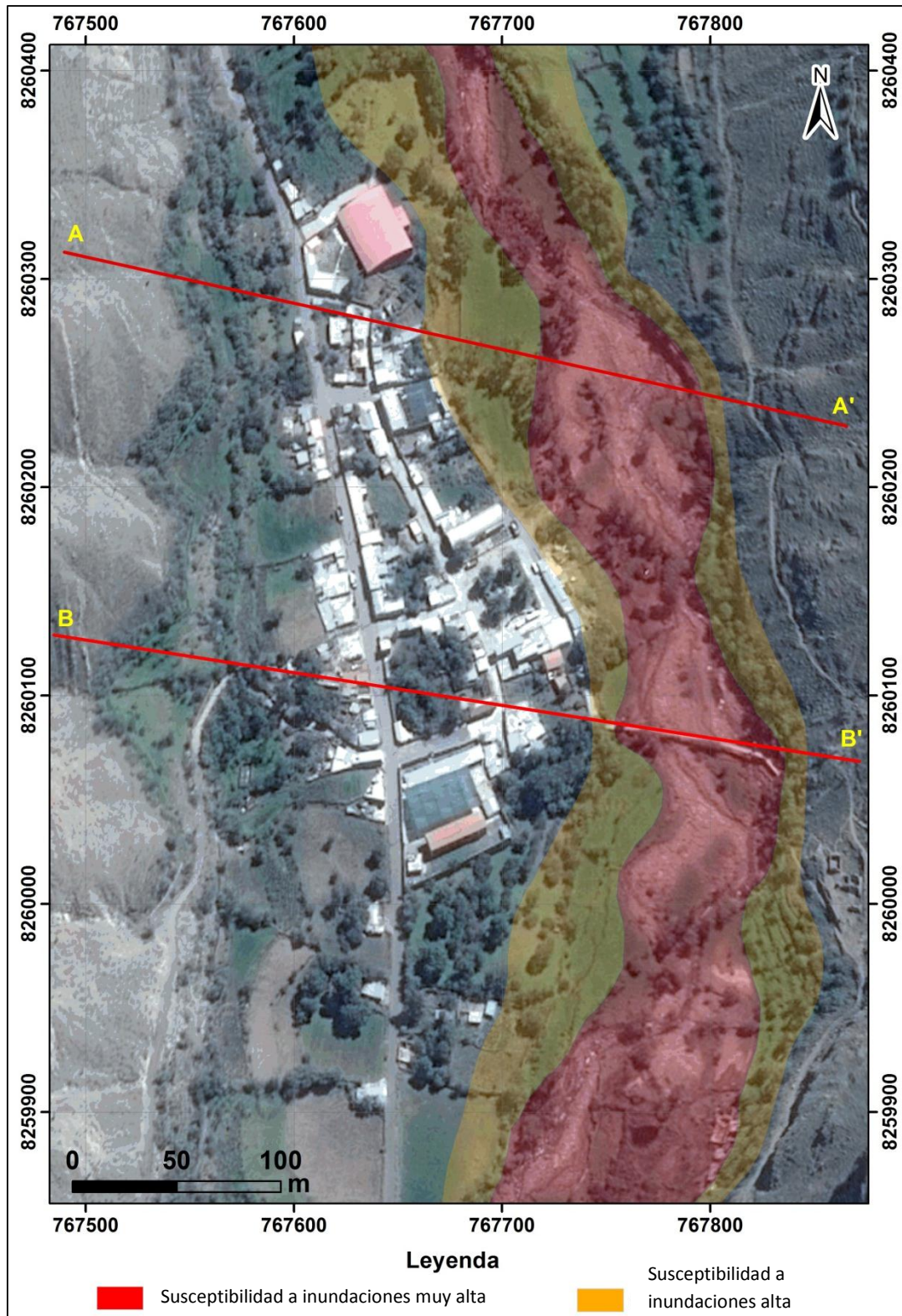


Fig. 11: Susceptibilidad a inundaciones y dinámica de flujos de detritos en el sector adyacente al área urbana de Tipan.

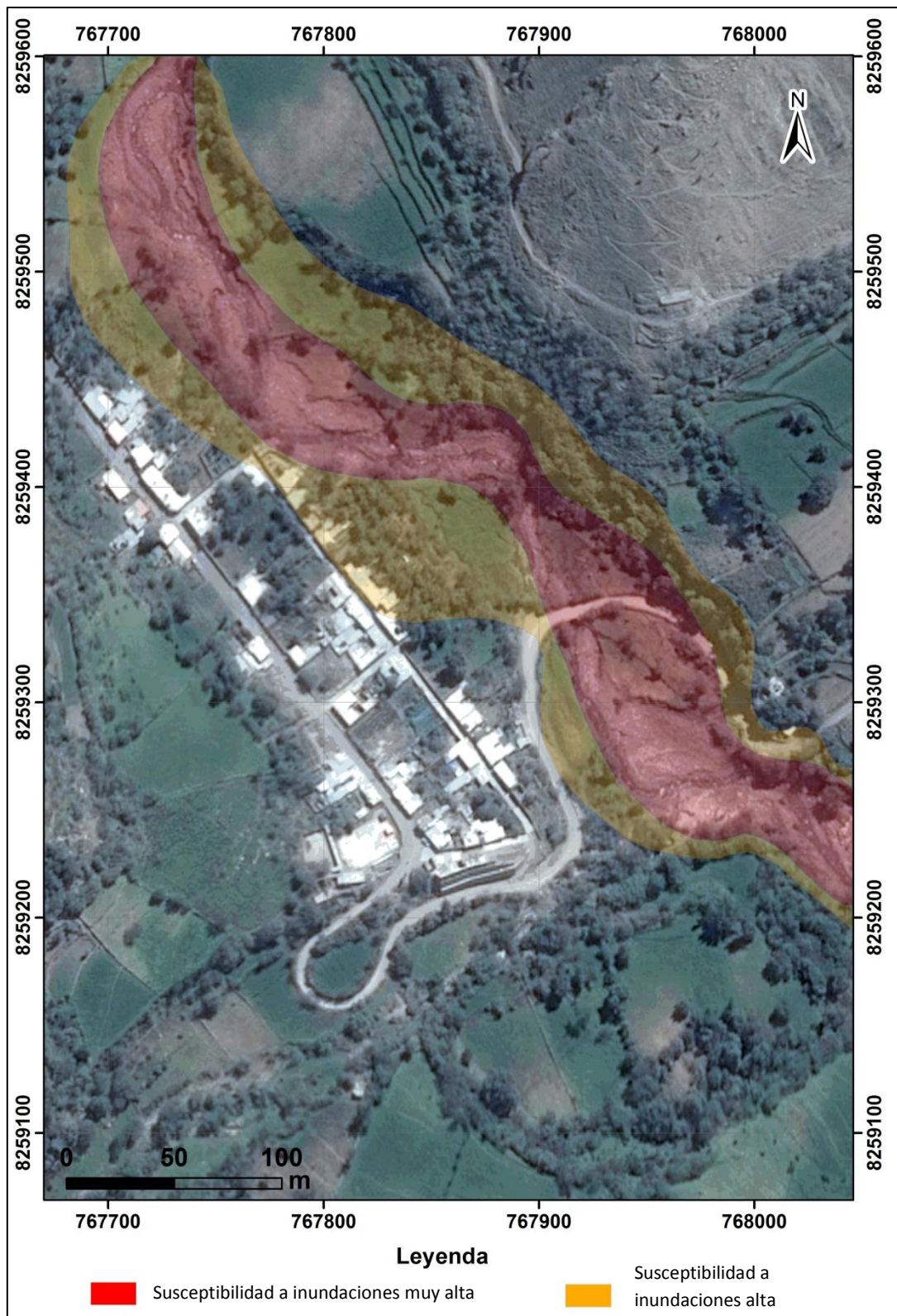
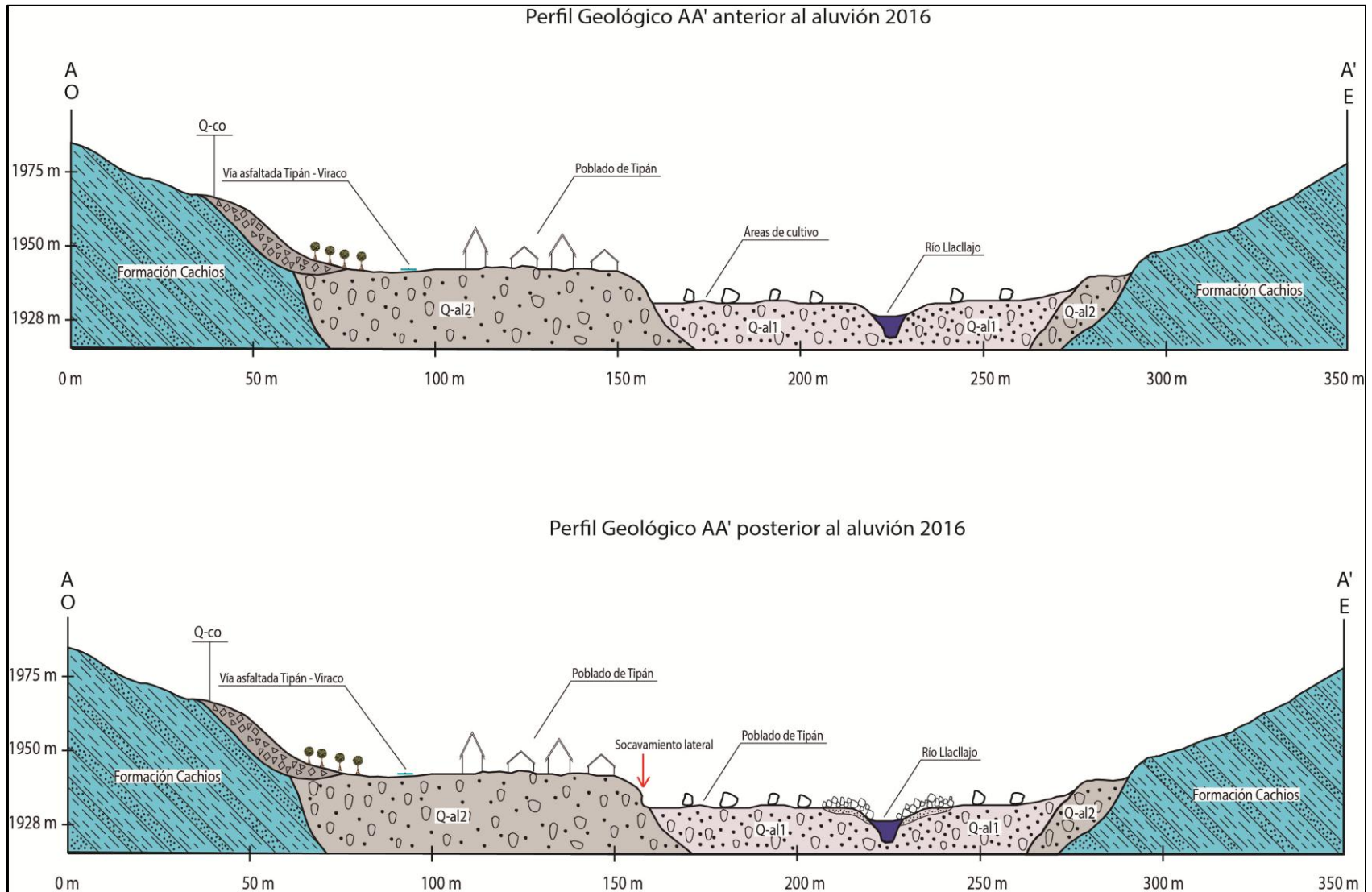


Fig. 12: Susceptibilidad a inundaciones y dinámica de flujos de detritos en el sector adyacente al área urbana de Paracolca.



**Fig. 13:** Perfil geológico AA', antes y después del aluvión del marzo del 2016 en Tipán.

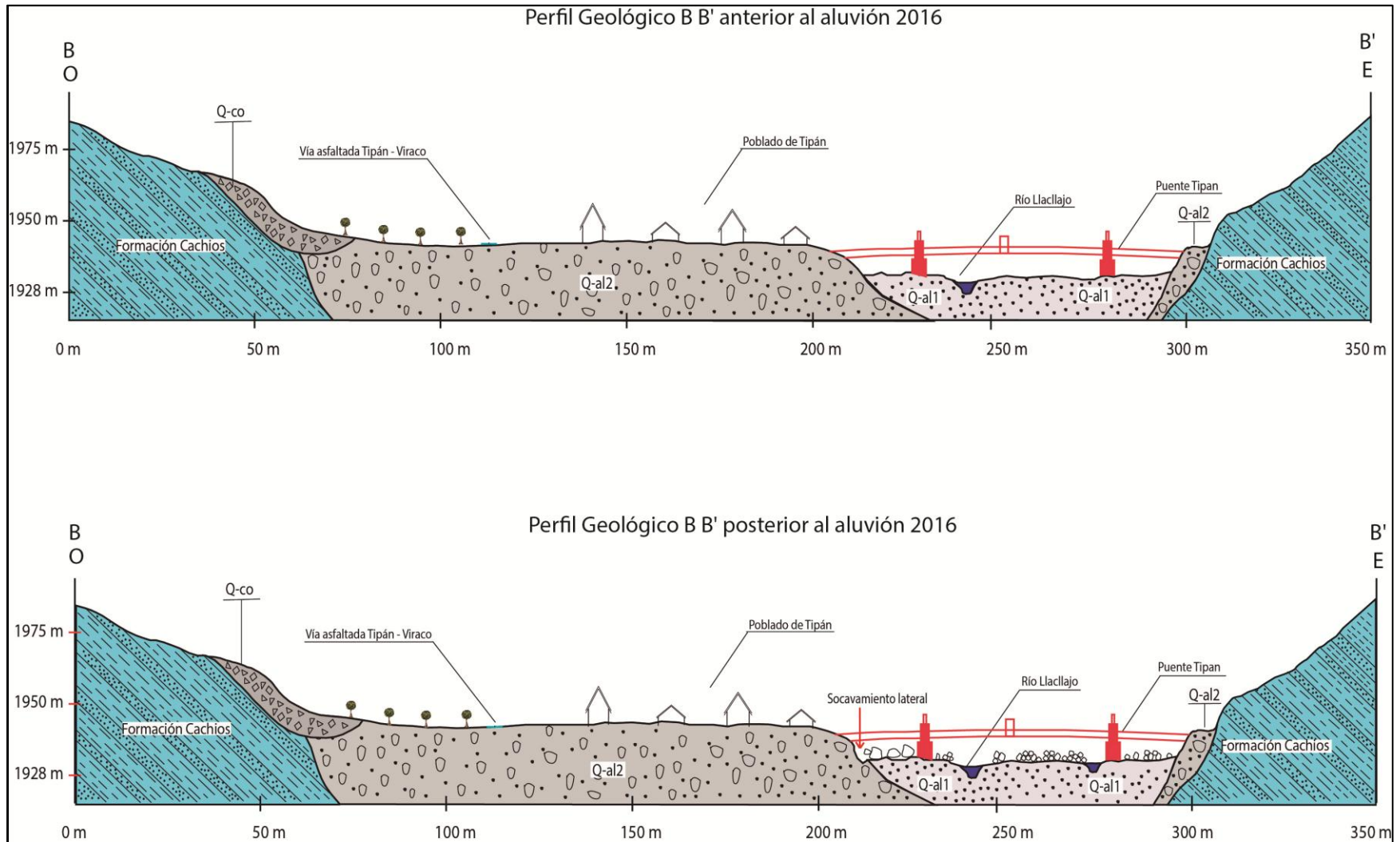


Fig. 14: Perfil geológico BB', antes y después del aluvión del marzo del 2016 en Tipán.



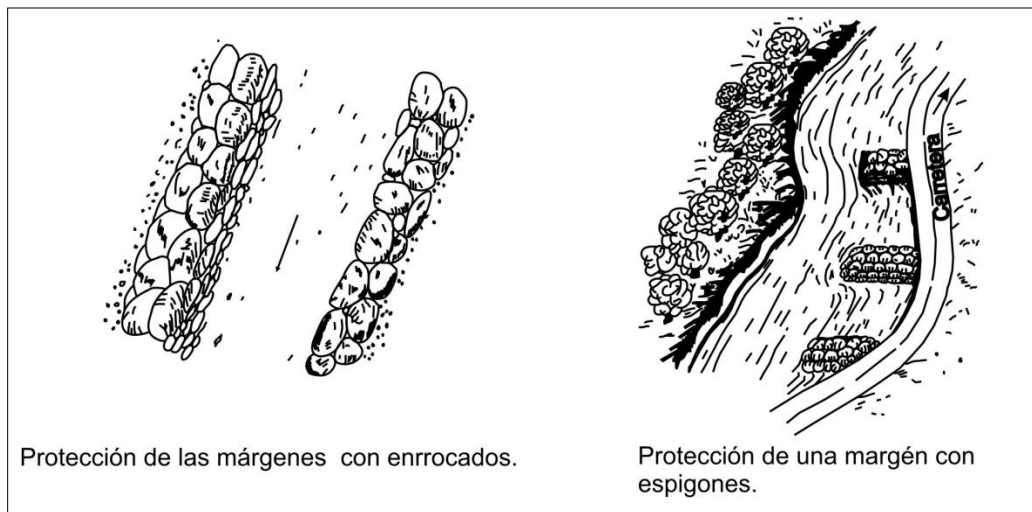
## CONCLUSIONES

1. En el fondo de los valles Llacllajo y Llato, se emplazan depósitos aluviales originados por antiguos flujos de detritos o “huaycos”, dispuestos a manera de terrazas. Están constituidos por fragmentos sub-redondeados de rocas de origen volcánico envueltas en una matriz limo-arenosa. Estas características litológicas, hacen que estos materiales sean muy susceptibles a la erosión fluvial.
2. Las lluvias excepcionales registradas en la región Arequipa a inicios del año 2016, produjeron el incremento anormal del caudal en los ríos Llacllato y Llato, los que fueron el factor detonante para la ocurrencia del aluvión del mes de marzo, que dañó el poblado de Tipan.
3. El fuerte caudal del río Llato, activó y reactivó derrumbes y deslizamientos a lo largo de su recorrido, especialmente en la zona de Chupacra. Esta fuerte erosión incrementó el material transportado, que descendió por la quebrada Llacllajo a manera de un flujo de detritos o aluvión.
4. Según la figura 6 tomada del SENAMHI, indica que el 99% de lluvias registradas desde 1964, no superaron el percentil 99. Sin embargo el registro 2016, supera notablemente este límite lo que indica su excepcionalidad.
5. Otra de las posibles causas para la ocurrencia del aluvión registrado en el poblado de Tipan, es el derretimiento y deshielo de las lenguas glaciares en la vertiente sur del Nevado Coropuna, cuya consecuencia directa, es el incremento del caudal del río Tastane, que aguas abajo, toma el nombre de Llato, aumentando su capacidad erosiva en los depósitos inconsolidados del valle.
6. Las terrazas fluviales (ver mapa geológico) dispuestas en el cauce del río Llacllato, por ser fáciles de remover durante el período de lluvias, son las zonas más susceptibles a aluviones e inundaciones. Estas áreas se ven afectadas anualmente en periodo de lluvias.
7. Las terrazas aluviales 1 (ver mapa geológico), son zonas de alta susceptibilidad ante aluviones, inundaciones y socavamiento lateral durante periodos de intensas precipitaciones “lluvias extraordinarias” como el registrado a inicios del año 2016, y que tienen un periodo de recurrencia que varía de entre 10 a 50 años.
8. Las terrazas aluviales 2, que es donde se encuentran los poblados de Tipan y Paracolca, se ven afectadas principalmente por procesos de socavamiento lateral (figura 4), que erosionan continuamente las laderas, afectando numerosas viviendas e infraestructura urbana (fotos 13 y 14).
9. Un análisis comparativo de imágenes históricas disponibles en el Google Earth para los años 2004, 2010, 2013 y 2016 (figuras 9 y 10), en las zonas de Tipan y Paracolca, muestra que solamente en la fotografía del año 2016 se aprecia claramente el recorrido del aluvión en estudio.

10. En el sector Chupacra (ver figura 5), una imagen Google Earth del año 2016, muestra la activación de un deslizamiento de tipo rotacional de 140 m de diámetro (fotos 16 y 17).
11. La zona de susceptibilidad muy alta, incluye las áreas que son ocupadas por la crecida anual del río Llacllato (Terraza fluvial) y además por las áreas afectadas por el aluvión de marzo del 2016 (parte de la Terraza aluvial 1).
12. La zona de susceptibilidad alta, incluye parte de las terrazas aluviales 1, y además el borde de algunas de las terrazas aluviales 2, que vienen siendo afectadas por el socavamiento lateral y la erosión superficial en el salto entre ambas terrazas. En el borde de la terraza 2, se han desarrollado algunas grietas tensionales tanto en algunas viviendas como en un vía peatonal (fotos 18 y 19).
13. Tanto las zonas de susceptibilidad muy alta y alta se encuentran ante un peligro inminente, por aluviones e inundaciones durante periodo de lluvias extraordinarias.

## RECOMENDACIONES Y MEDIDAS DE PREVENCIÓN

1. Se debe construir un muro de protección ribereña (gaviones, enrocado o espigones), según la propuesta de las figuras 15, 16 y 17. Se debe hacer una remoción selectiva de los materiales gruesos, que pueden ser utilizados en los enrocados y/o espigones para controlar las corrientes.



**Fig. 15:** Protección de márgenes con enrocados, espigones y siembra de bosques ribereños.

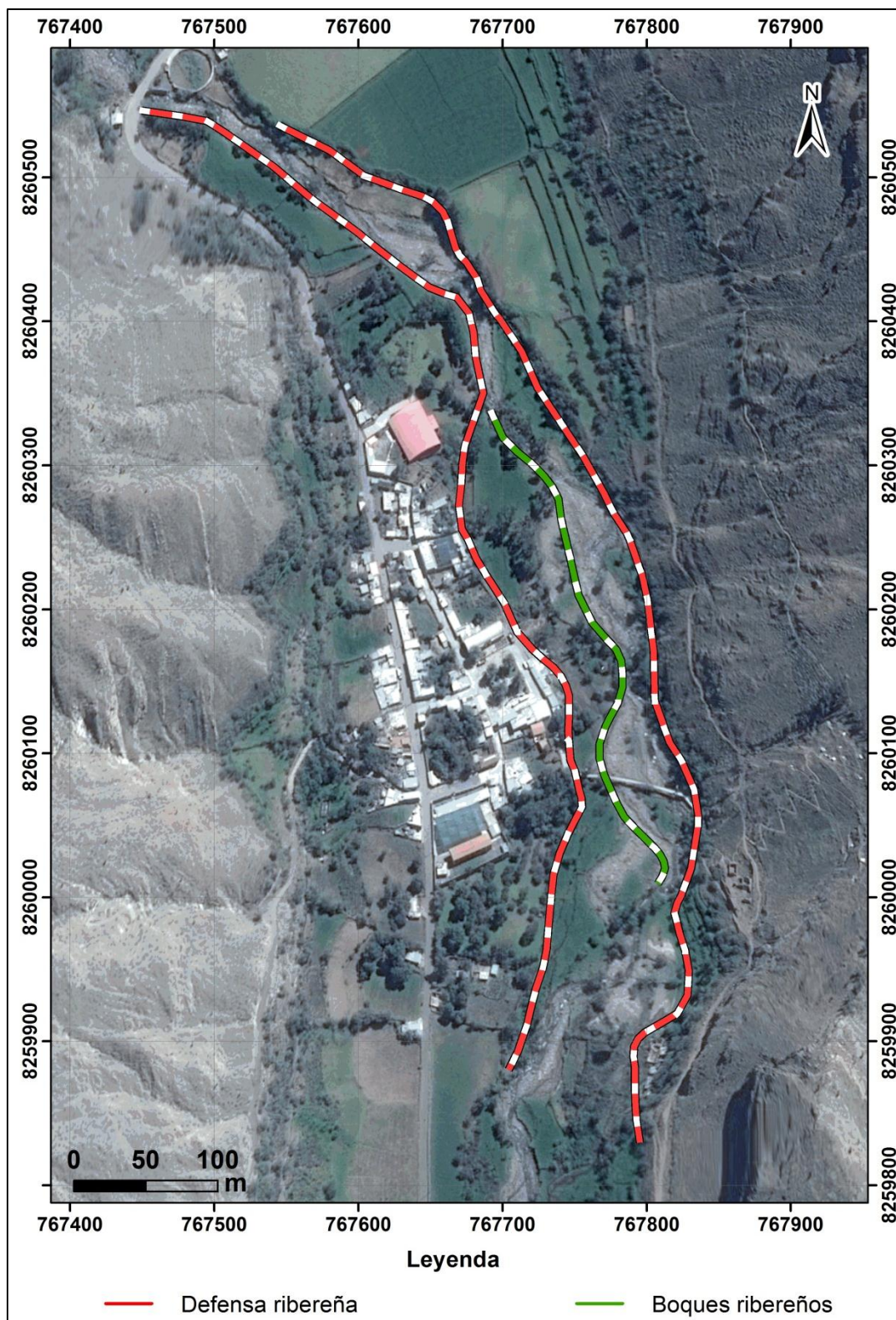


Fig. 16: Propuesta de protección ribereña en el poblado de Tipan.

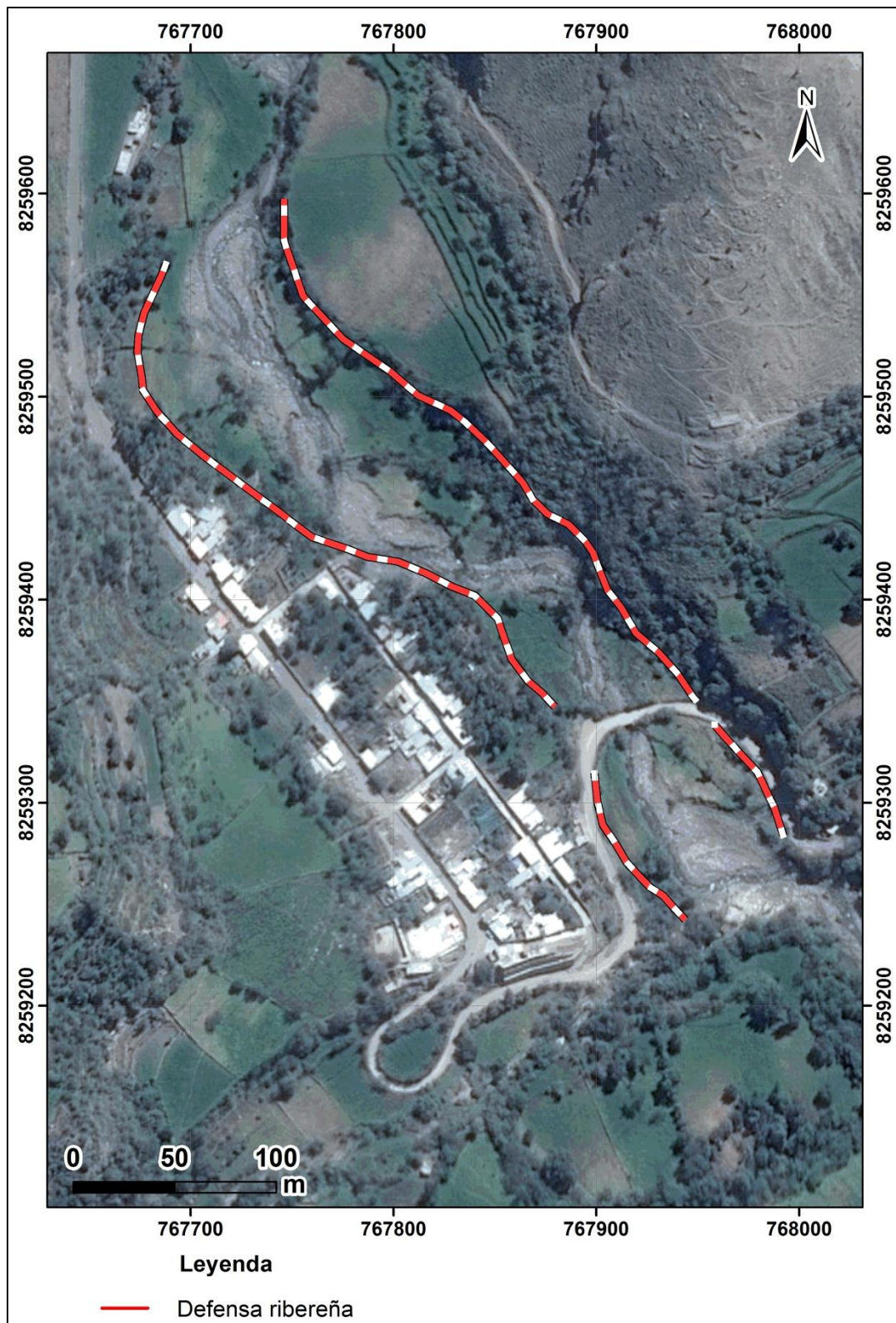


Fig. 17: Propuesta de protección ribereña en el sector Paracolca.

Cabe mencionar que algunas partes de la terraza fluvial y la terraza aluvial 1, son secas y solo se activan durante periodos de lluvias excepcionales (fenómeno El Niño).

2. Propiciar la formación y desarrollo de bosques ribereños con especies nativas para estabilizar los lechos.
3. La construcción de obras e infraestructuras que crucen los cauces secos deben construirse con diseños que tengan en cuenta las máxima crecidas registradas, que permitan el libre paso de huaycos, evitándose obstrucciones y represamientos, con posteriores desembalses más violentos.
4. Se debe realizar la limpieza y descolmatación periódica del cauce, tanto en Tipan como en las partes altas de la cuenca (sector Chupacra).
5. Construir muros de contención en las zonas de deslizamientos activos en el sector Chupacra.
6. Evitar la utilización de la terraza fluvial, como terrenos de cultivo, para que permita el libre discurrir de los flujos hídricos. Y utilizar lo menos posible o estacionalmente la terraza aluvial 1, para las mismas actividades productivas.
7. Evitar que sigan construyendo viviendas en el borde de la terraza aluvial 2, principalmente en el sector Paracolca. Las viviendas que se encuentran en estas zonas de peligro deben evitar arrojar desperdicios (agua y basura) hacia el talud, ya que contribuyen al incremento y aceleración de la erosión.
8. Se debe realizar un tratamiento integral, en las partes medias y altas de las cuencas Llato y Llacllajo. Reforestando y controlando la activación de nuevos deslizamientos y derrumbes. Se podría también realizar la construcción de presas de sedimentación escalonadas o aliviaderos, para controlar las fuerzas de arrastre de las corrientes que acarrean grandes cantidades de sedimentos durante periodos de lluvia excepcional, cuya finalidad es reducir el transporte de sedimentos gruesos (figura 18).

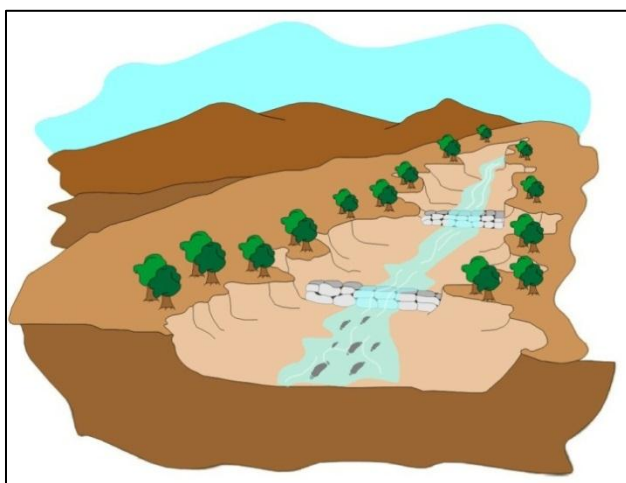


Fig. 18: Presas transversales o aliviaderos, que podrían construirse en el valle Llacllato.

9. Los estudios a realizarse, deben ser incluidos en el Plan de Ordenamiento Territorial del distrito de Tipan y la provincia de Castilla (Arequipa).