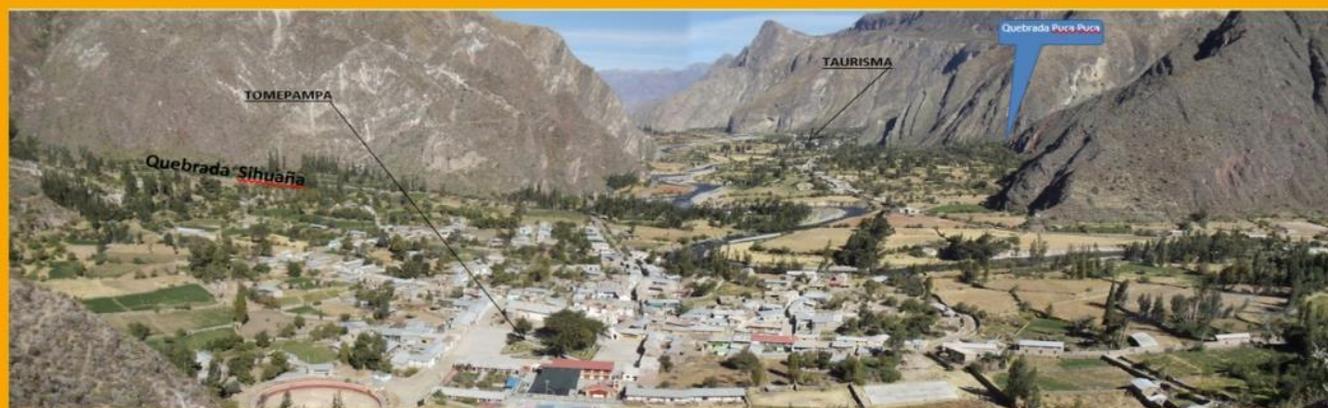


Informe Técnico N° A6696

Peligros por Flujo de Detritos e Inundación-Erosión Fluvial: Quebradas Ranrata, Sihuaña, Puca Puca, Cachana y Sector Coñec-Taurisma

Distritos Tomepampa, Huaynacotas y Cotahuasi, Provincia La Unión, Arequipa



POR:
BILBERTO ZAVALA CARRIÓN

OCTUBRE 2015

CONTENIDO

RESUMEN	2
I. INTRODUCCIÓN.....	3
II. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA EVALUADA.....	3
III. ASPECTOS GEOLÓGICOS	5
IV. PELIGROS GEOLÓGICOS IDENTIFICADOS.....	9
4.1 ANTECEDENTES DE EVENTOS HISTÓRICOS ANTERIORES	9
4.2 EVALUACIÓN GEODINÁMICA DE LAS QUEBRADAS RANRATA, SIHUAÑA, PUCA PUCA Y CACHANA-ISHCOHUAICO	11
4.2.1 QUEBRADA RANRATA	11
4.2.2 QUEBRADA SIHUAÑA.....	15
4.2.3 QUEBRADA PUCA PUCA	19
4.2.4 QUEBRADA CACHANA E ISHCOHUAICO.....	21
4.2.5 EROSIÓN E INUNDACIÓN FLUVIAL EN EL SECTOR DE TAURISMA - COÑEC	28
V. MEDIDAS DE PREVENCIÓN/MITIGACIÓN EN LAS ÁREAS EVALUADAS.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
5.1 MITIGACIÓN DE PELIGROS POR HUAYCOS	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
5.2 MITIGACIÓN DE PELIGROS POR INUNDACION Y EROSION FLUVIAL.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar los peligros geológicos que podrían afectar los poblados de Tomepampa, quebradas Ranrata y Sihuaña en el distrito de Tomepampa, sector de Coñec-Taurisma, distrito de Huaynacotas, quebradas Cachana e Ishcohuaico, distrito de Cotahuasi, provincia de La Unión región Arequipa, entre los días 14 al 17 de setiembre del 2015, a solicitud de la municipalidad provincial de La Unión Cotahuasi se inspeccionó dichos lugares en compañía de representantes de la municipalidad y lugareños.

La evaluación geológica antes de la visita de campo y constatación posterior en permite señalar que el distrito de Tomepampa, se ve afectado por la recurrencia de activación de las quebradas Ranrata y Sihuaña que generan flujos de detritos (huaicos) que comprometen la carretera, terrenos de cultivo así como parte de la población de este distrito; asimismo los sectores de Puca Puca y Coñec, son afectados por flujos de detritos e inundaciones recurrentes respectivamente. También se evaluó la zona de las quebradas inmediatas a la localidad de Cotahuasi, quebradas Ishcohuaico y Cachana, pudiéndose observar en ellas evidencias de flujos recientes que afectan la zona o afectarían futuras construcciones proyectadas.

En las zonas evaluadas se identificó además características de eventos anteriores que evidencian la geodinámica de diferentes microcuencas evaluadas (procesos antiguos y recientes).

Para prevenir o mitigar los daños que puedan causar los peligros identificados, se debe considerar la ejecución de medidas estructurales a corto plazo a fin de proteger las zonas urbanas, agrícolas y viales (para flujos de detritos; para inundaciones y erosión fluvial)). El caso de Tomepampa merece un análisis especial por ser un evento periódico y que anteriormente ha causado daños según se pudo observar en campo y de las versiones de las autoridades y lugareños, debiéndose efectuar un estudio detallado de las microcuencas de Ranrata y Sihuaña, debiendo trabajarse a nivel de cuenca para solucionar el problema que anualmente se repite con las lluvias estacionales.

I. INTRODUCCIÓN

El alcalde de la municipalidad provincial de La Unión, mediante Oficio N°158-2015-MPLU de fecha 27 de marzo, dirigido a la presidente del Consejo Directivo de INGEMMET, solicitó la evaluación de daños a nivel de la provincia de La Unión, indicando los efectos ocasionados por las lluvias estacionales que han afectado viviendas, sector agrícola y vías de comunicación en varios sectores de la provincia, jurisdicción de los distritos de Tomepampa, Huaynacotas y Cotahuasi. La provincia de La Unión, a partir del Acuerdo Regional N° 014-2015-GRA/CR-AREQUIPA, de fecha 14 de febrero del 2015, fue incluida dentro de la declaratoria de emergencia.

Atendiendo a esta solicitud, el Director de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico de INGEMMET en coordinación con el consejero regional por la provincia de La Unión, James Posso Sanchez, comisionó al Ing. Bilberto Zavala Carrión, para realizar dicha inspección. Los trabajos de campo se realizaron los días 14 al 17 de setiembre del 2015, previas coordinaciones con el Sr. Benjamín Barrios Bellido, alcalde de la provincia de La Unión. En los trabajos de campo se contó con representantes de la municipalidad de Tomepampa y de la provincial.

El presente informe contiene una interpretación de los procesos geológicos y geo-hidrológicos recientes y antiguos identificados en las zonas evaluadas y de influencia. En este documento se emiten las conclusiones y recomendaciones pertinentes, que la Municipalidad provincial de la Unión y los municipios distritales de su jurisdicción involucrados, deben tomar en cuenta para la prevención y mitigación de los procesos geológicos ocurridos, para así evitar desastres futuros en las poblaciones evaluadas.

II. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA EVALUADA

El área evaluada comprende las microcuencas de Ranrata y Sihuaña, en el distrito de Tomepampa; microcuenca de Puca Puca y sectores de Coñec-Taurisma, margen derecha del río Cotahuasi, distrito de Huaynacotas, así como los sectores de las quebradas de Cachana y Ishchhuaico en Cotahuasi, provincia de La Unión (figura 1), en la cuenca del río Cotahuasi, Arequipa.

Para llegar al área, se accede desde Arequipa por la carretera panamericana Sur hasta el desvío a Aplao, pasando por Corire, Aplao (capital de la provincia de Castilla), Chuquibamba, capital de la provincia de Condesuyos, en todo este tramo asfaltado. Luego asciende por una vía afirmada por el flanco suroeste del Coropuna hacia Arma, asciende un poco bordeando el nevado Solimana, descendiendo luego hasta Cotahuasi. Este tramo desde el desvío al distrito de Toro es asfaltado, al igual que el tramo Cotahuasi-Tomepampa, margen izquierda

del valle. Para la zona de Taurisma se cruza el río a través de una vía afirmada hacia la margen derecha del valle, carretera que conduce hacia Huaynacotas, capital del distrito.



Figura 1. Áreas evaluadas: 1: Quabradas Ranrata y Sihuaña; 2: Qda Puca Puca y Taurisma-Coñec; 3: Quebradas Cachana e Ishcohuaico.

La temperatura media anual es de 16° a 18°C en el verano y bajo cero en invierno, dando lugar a un clima templado y seco. La estación lluviosa está comprendida entre los meses de diciembre y abril, la estación de seca invernal entre junio y agosto. En general el clima es semiseco y frío, seco en otoño, invierno y primavera, con la humedad relativa calificada de baja. Por la configuración de su suelo se deja sentir frío en las noches y en las madrugadas, siendo al medio día cálido. La elevada temperatura durante el día en Cotahuasi, se debe a

la gran extensión de tierras libres de nieve, situadas a gran altitud. Cotahuasi tiene un clima templado subhúmedo (valle interandino). La precipitación pluvial anual media mínima y máxima, respectivamente, está entre 100 y 600 mm.

Las zonas evaluadas se caracterizan por los siguientes parámetros: a) Clima templado subhúmedo (estepa y valles interandinos bajos) que se caracteriza por una precipitación pluvial anual media mínima y máxima, de entre 100 y 600 mm, aunque existen zonas en las que esos promedios son superados. En zonas bajas las temperaturas promedio son próximas a los 17° C y en las zonas más altas a los 7° C. Esta zona climática es la más propicia para la agricultura y es en ella donde se tiene el mayor aprovechamiento de tierras en la actividad agrícola de la provincia; b) Clima Frígido (de Tundra) /Tundra Seca de Alta Montaña Clima que dentro de la Provincia, se tiene en altitudes comprendidas entre 4000 y 5000 m. Es conocido como “clima de puna o páramo”. Las precipitaciones anuales oscilan entre 240 mm y 850 mm. Las temperaturas promedio anuales son próximas a 6° C, los veranos son siempre lluviosos y nubosos, los inviernos rigurosos y secos. Abarca las partes intermedias de los distritos de Cotahuasi, Huaynacotas y Tomepampa.

Hidrográficamente la provincia de La Unión forma parte de la cuenca de Ocoña, como la mayor de las sub-cuencas que la conforman y cuya denominación es sub-cuenca del Cotahuasi, que debe su nombre del río mayor que la atraviesa cubriendo prácticamente toda la provincia. El caudal del río Cotahuasi oscila anualmente entre los 15 y 200 metros cúbicos por segundo, la descarga media anual del Ocoña es de 100.48 m³/s, pero cuando sucede el Fenómeno del Niño supera los 200 m³.

III. ASPECTOS GEOLÓGICOS

De acuerdo a la cartografía geológica en el cuadrángulo de Cotahuasi realizada por Olchanski & Dávila (1973) y actualizada por Lajo *et. al.* (2001), en el área de estudio se presentan unidades geológicas (ver figura 2) que van en edad desde el Cretáceo al Cuaternario reciente, las cuales corresponden a las siguientes formaciones:

Formación Hualhuani (Ki-hu): Cuarzitas o areniscas cuarzosas y areniscas gris claro a blanco amarillentas que se les encuentra de manera reducida en el sector de Cachana cuya edad corresponde al Cretáceo inferior.

Formación Arcurquina (Kis-ar): Rocas calcáreas compuestas por calizas grises fosilíferas con presencia de nódulos de chert y venillas de yeso, que se exponen en las partes inferiores de las laderas en ambos márgenes del valle de Cotahuasi (entre Sihuaña, Cancha y Chacaylla, margen izquierda; entre Taurisma (foto 1), quebrada Puca Puca y puente de Palo, prolongándose hasta Mungui, margen derecha, mostrándose generalmente plegadas).

Grupo Tacaza - Formación Orcopampa (Nm-ta-or/sr): Secuencias volcánicas compuesta por aglomerados, brechas de flujo y lavas con tonalidades que varían entre gris oscura, gris clara, gris verdosa, gris violácea y gris amarillenta. Se les puede apreciar en la zona de Tomepampa (parte media inferior de las quebradas Ranrata y Sihuaña), en la carretera que conduce a Achambi, entre Tomepampa y Lucha, entre Taurisma y Huaynacotas (foto 2), en la parte baja del cerro Huiñao y el sector de Cachana. Corresponden al Mioceno.

Formación Alfabamba (Nm-al1): Se trata de flujos piroclásticos compuestos por tobas dacíticas brechoides, tobas soldadas gris claro-amarillentas con pómez y líticos (obsidianas). Se exponen ampliamente en las laderas medias-superiores de Tomepampa, Huayaganga, Locrahuanca, Achambi, así como en el sector del cerro Taurisma (foto 2); en el cerro Huiñao. Se presentan en capas o estratos más o menos horizontales.



Foto 1. Capas o estratos de calizas en las inmediaciones de Taurisma.

Formación Alfabamba (Nm-al3): Se trata de flujos piroclásticos compuestos por tobas retrabajadas, arenas tobáceas y cineritas estratificadas en capas o estratos más o menos horizontales (foto 2) que tienen una coloración rosada.

Grupo Barroso (NQ-ba/fi1): Lavas andesíticas de color gris oscuro, afáníticas. Corresponde al estrato volcán Firura y su edad es del Plioceno.

Depósitos Cuaternarios (Qpl/fg; Qpl-mo; Qh-al): Agrupa a los depósitos inconsolidados que ocupan el piso de valle (cauce fluvial y terrazas bajas; foto 3), desembocadura de quebradas en forma de abanicos, laderas y vertientes superiores. Están compuestos por mezcla de bloques, gravas, arenas y limos en matriz limosa a limo-arcillosa.



Foto 2. Vista hacia el noreste desde la carretera a Achambi hacia Visve y Huaynacotas. Se distingue los contactos entre las formaciones geológicas: Grupo Tacaza en la parte inferior, cubiertas discordantemente por las formaciones Alpabamba 3 y Alpabamba1.



Foto 3. Depósitos fluviales con gravas y arenas; terrazas adyacentes aluviales. Al fondo capas inclinadas de calizas de la Formación Arcurquina. Obsérvese erosión del río en ambas márgenes.

IV. PELIGROS GEOLÓGICOS IDENTIFICADOS

4.1 ANTECEDENTES DE EVENTOS HISTÓRICOS ANTERIORES

Los **flujos de detritos**, comúnmente conocidos como “huaicos”, son muy comunes en nuestro país debido a la configuración del relieve en el territorio, constituido por altas montañas, vertientes pronunciadas de valles con rocas y suelos deleznable o susceptibles de remoción con aguas de lluvia¹.

Generalmente las zonas afectadas son espacios delimitados por una microcuenca, subcuenca, quebrada o riachuelo, siendo los principales daños, los que se producen en el cono o abanico deyectivo, parte terminal del depósito de un cauce tributario a otro. Los daños que producen son considerables, por la gran energía y violenta aparición con que se presentan, destruyendo, arrasando o sepultando lo que encuentran en su paso, infraestructura urbana, vial, hidráulica y productiva agrícola.

Particularmente y, en especial la cuenca del río Ocoña-Cotahuasi, los huaicos son muy frecuentes y recurrentes. Uno de ellos es el que periódicamente ocurre en el distrito de Tomepampa en las microcuencas de Ranrata y Sihuaña.

Recientemente en el 2013 se vieron afectadas 128 personas, 30 viviendas y 450 metros de carreteras; tras las fuertes lluvias se generaron huaicos, derrumbes en las márgenes por erosión y desbordes o albardones de los flujos en las quebradas con arrastre de bolones y bloques de rocas, por la insuficiente capacidad del cauce de estas quebradas, la configuración topográfica (pendiente de las vertientes superiores, pendiente longitudinal del cauce, etc.). Este año se volvió a repetir en los meses de fuertes lluvias. De forma similar se dio en la quebrada Puca Puca, en la margen derecha del valle el cual afectó principalmente áreas de cultivo y tramo de la carretera que conduce de Taurisma hacia Huaynacotas.

Las **inundaciones y erosiones fluviales** son un proceso normal en la evolución geomorfológica de un valle fluvial. La llanura de inundación fluvial y terrazas bajas son ocupadas normalmente por el río en época de avenidas y son terrenos que corresponden a su recorrido normal variando en su época estacional anual y en las variaciones que se dan en sus caudales multianuales. Cuando esta parte del piso de valle es ocupada por áreas agrícolas, zonas urbanas, infraestructura vial u otra, sin tener defensas ribereñas que soporten el caudal de agua que conducen los ríos, en este caso el río Cotahuasi, estas áreas se ven erosionadas o inundadas. La interpretación morfológica a partir de diferentes años de información mediante imágenes y fotos aéreas permite corroborar estos aspectos.

Las áreas evaluadas se presentan en la foto 4.

¹ En síntesis se puede mencionar que, la inestabilidad de los suelos, la presencia de depósitos activos e inactivos (detritos a merced de flujos y aquellos presentes en las zonas altas de la quebrada), además de la escasa cobertura vegetal, son características propias de los sectores que componen la zona en estudio, que en definitiva condicionan el incremento de riesgo aluvional o por huaicos.

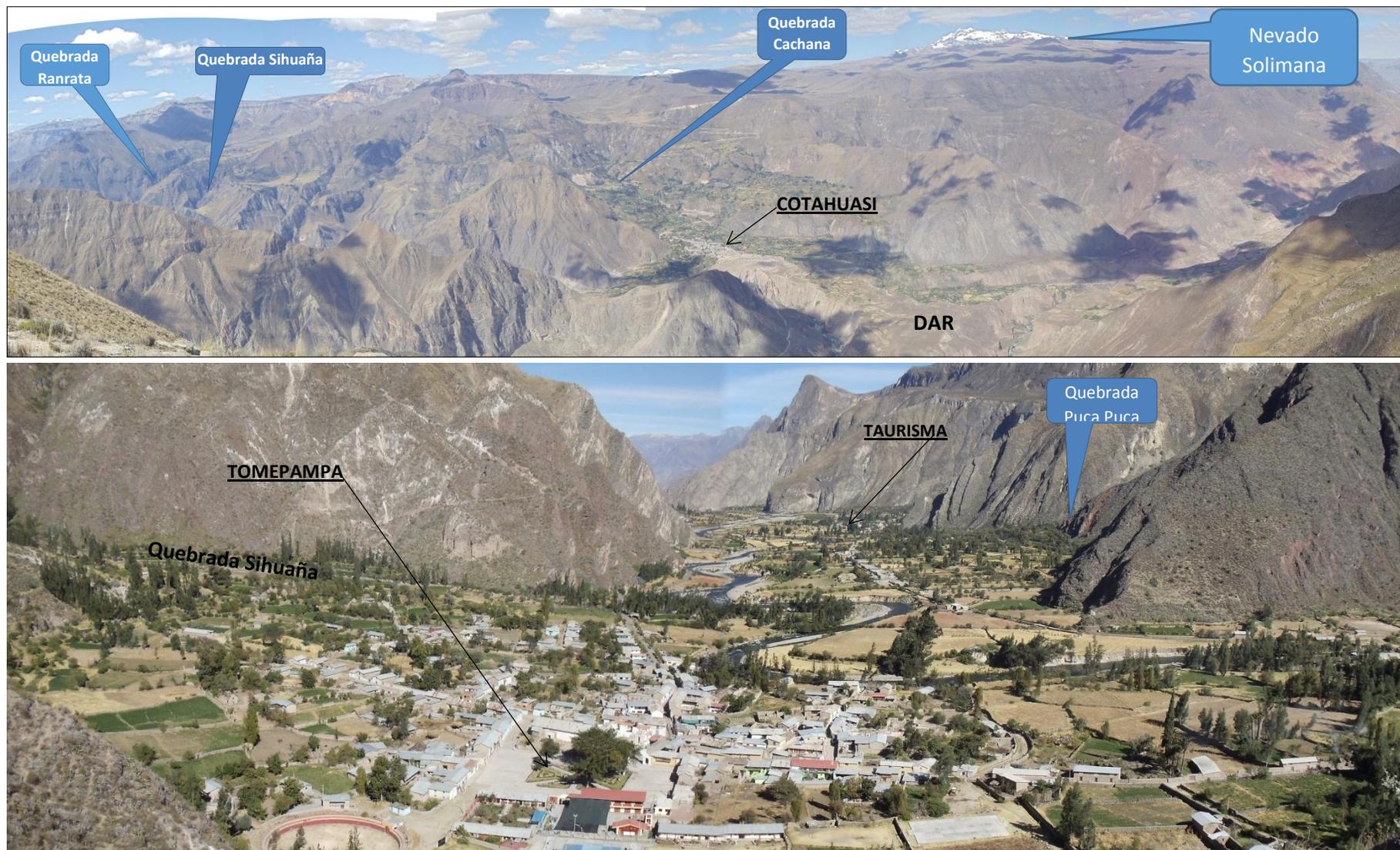


Foto 4. Vistas panorámicas indicando las zonas evaluadas. Mórfológicamente flancos del nevado Solimana, destacando un depósito de avalancha de rocas antiguo (DAR) sobre la cual se asienta Cotahuasi (vista superior). El valle de fluvial Cotahuasi con sus meandros amplios y sinuosos y una llanura de inundación amplia y de cerca el abanico de la quebrada Sihuña en Tomepampa (vista inferior).

4.2 EVALUACIÓN GEODINÁMICA DE LAS QUEBRADAS RANRATA, SIHUAÑA, PUCA PUCA Y CACHANA-ISHCOHUAICO

Para la evaluación geodinámica del lugar se contó con la siguiente información:

- Plano topográfico a escala 1:50,000 ampliado a 1:25 000 de la hoja 24j-II-SO del IGN.
- Mapa geológico a escala 1: 100 000, del cuadrángulo de Cotahuasi (24-j), de
- INGEMMET (1992).
- Imágenes satelitales disponibles en el Google Earth de diferentes años.
- Inventario de peligros geológicos en el Estudio de Riesgo geológico de la Franja 2 (con datos del 2001-2002) y estudio geoambiental de la cuenca del río Ocoña

4.2.1 QUEBRADA RANRATA

Ubicación, accesibilidad y ocupación: Se encuentra en el sector de Tomepampa. Se accede a desde Cotahuasi a 10 km, pasando el área urbana el camino que conduce a Achambi permite observar la cuenca media y superior. La quebrada está ocupada en la parte baja y baja-media por terrenos de cultivo; el abanico antiguo de esta quebrada corresponde a parte del área urbana de Tomepampa y la desembocadura actual cruza a través de un badén la carretera que conduce hacia Alca y Puyca (figura 3).

Morfología y morfometría: Esta microcuenca presenta una cuenca amplia de recepción en la parte superior con tres quebradas bien definidas; una cuarta alargada y paralela la principal, de menor influencia que confluye en la margen izquierda al curso principal de la quebrada y un sector en la cuenca media con varias vertientes menores: Q1) Huichana Huaico, quebrada principal que recibe las descargas directas de la laguna Apallcocha, con mayor longitud de recorrido; limita estrechamente entre los cerros Lucmani y Santa Rosa. Se aprecia en sus cauces acumulación de depósitos recientes de flujos con grandes bloques, y en sus márgenes depósitos glaciares (morrenas); q2) Otra de regular extensión corresponde a la quebrada Pabellón que se origina de tres vertientes del cerro Santa Rosa, con grandes acumulaciones sueltas de detritos de gelifracción (depósitos glaciares) evidenciando un gran retroceso de la cobertura glaciar en esta zona con gran exposición de material fácilmente removible por el agua de lluvia, que se expone sobre depósitos volcánicos lávicos y volcanoclásticos q3) Una tercera menor Josnahuaco, que confluye a la quebrada Pabellón que es alimentada de las vertientes de los cerros Yanansa y Santa Rosa; q4) Constituyen quebradas de suave pendiente (tres), que son producto de filtraciones y de la cresta de una vertiente del cerro Lucmani; q5) Cuatro vertientes con pendientes pronunciadas alimentan el sector de la cuenca media-inferior en la margen derecha de la quebrada; son resultado de la erosión sobre el substrato rocoso volcánico y suelo residual existentes.

En líneas generales la cabecera o cuenca alta es más amplia en superficie, y recoge los aportes de las vertientes glacio-fluviales cubiertas por depósitos inconsolidados en sus laderas, hasta el sector donde confluye la quebrada Pabellón a la quebrada Huichinca huaico; la pendiente es moderada a suave; la forma de microcuenca en este sector es semicircular, el cauce principal sigue una dirección SE-NO, con una pendiente longitudinal de 10 a 14° en 7 km de recorrido, donde las laderas presentan pendientes entre 15 y 40°. La cuenca media es de pendiente pronunciada a fuerte en su lecho prolongándose hasta cerca de Marán, con una pendiente entre 18 y 26° (foto 5); las laderas en este tramo presentan pendientes entre 16 a 53° en un recorrido aproximado de 3.6 km. También se aprecian

sectores tendidos y cóncavo-convexos con terrenos agrícolas en ambas márgenes (sectores Marán y Sarpa, respectivamente). El tramo final de la quebrada hace un quiebre con un ángulo de 130° en dirección Este-Oeste y recorre hasta su desembocadura Oeste formando un abanico que se abre en dirección hacia el río Cotahuasi unos 800 metros de longitud; la pendiente en este sector está entre 4 y 7° (figura 4).

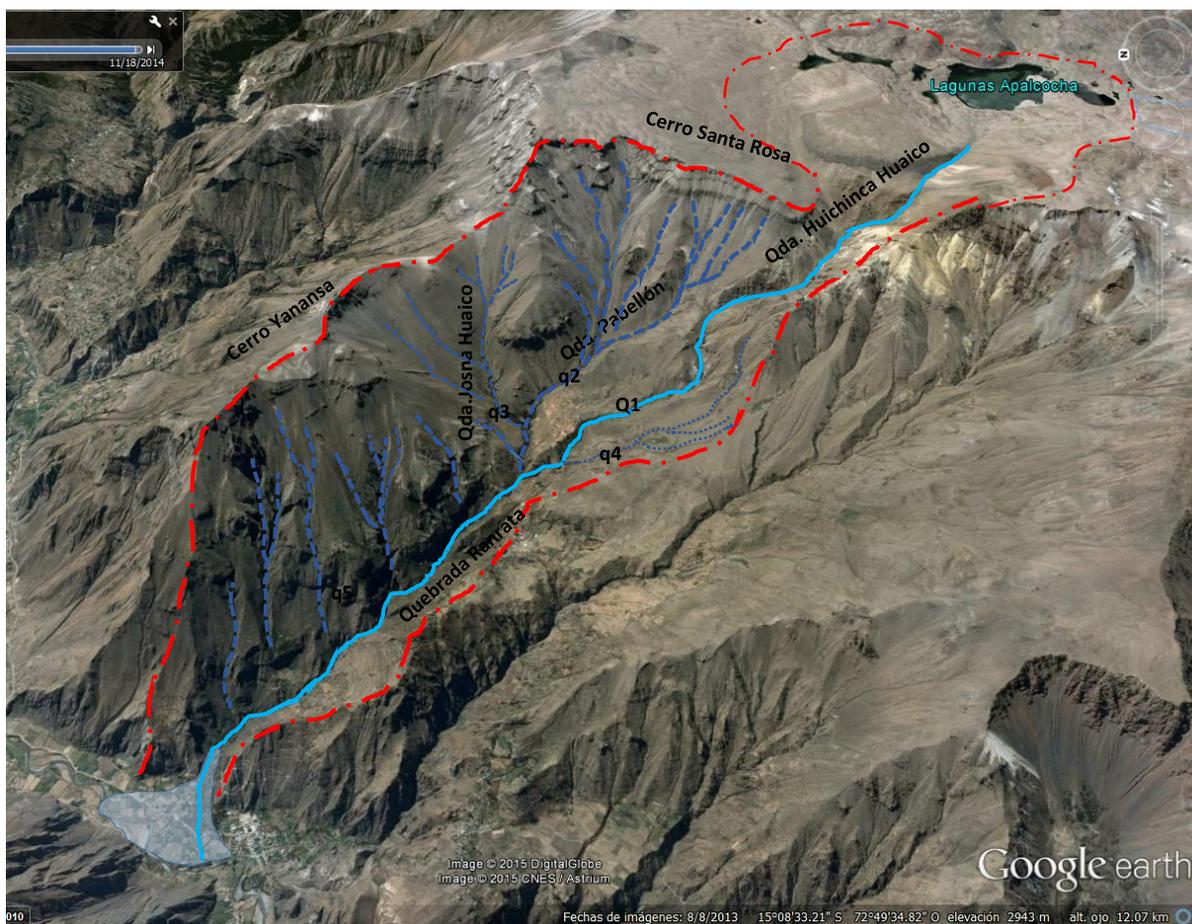


Figura 3. Imagen satelital del 2013, que muestra la microcuenca de la quebrada Ranrata. El tramo inferior resaltado en celeste corresponde a su abanico. En color celeste intenso su cauce principal (Q1); en celeste los cauces secundarios (q2, q3, q4 y q5) y en rojo la divisoria de aguas de la microcuenca.

Tipos de rocas y suelos / Geodinámica: Predominan en la zona rocas volcánicas en parte muy fracturadas y alteradas, que generan un suelo residual-coluvial superficial, que cubre las vertientes o laderas (vertientes medias) así como acumulaciones de depósitos originados por deslizamientos antiguos, aprovechados por la agricultura; la cabecera se caracteriza por contener depósitos glaciares (morrenas) y glacio-fluviales en las cabeceras y nacimiento de las quebradas (detritos de vertiente que evidencian el retiro de los glaciares). La zona inferior de la microcuenca se caracteriza por presentar depósitos proluviales, generados por los diferentes huaicos ocurridos en su historia (fotos 7 y 8). El cauce mismo está lleno de grandes bloques, gravas, matriz arenosa sin embargo resalta más aún la gran bolonería de material rocoso arrastrado por los huaicos dispersos encima del cauce o lecho actual a manera de albardones o levé, que evidencian el desborde de la quebrada por

insuficiencia del canal, por la fuerza o violencia del flujo o arrastre. La parte final y morfología de la microcuenca es el abanico característico, de gran dimensión que alcance desde su ápice aproximadamente 1 km de largo y el ancho entre sus extremos entre 550 a 800 metros dispuesto entre las cotas 2850 m (parte superior) y 2800 m (en el río Cotahuasi)².



Foto 5. Vista del sector medio de la quebrada Ranrata, sector Marán. Terrazas agrícolas con terrenos de pendiente moderada (margen derecha) y relieve cóncavo-convexo y escalonado con andenes que evidencian una superficie de deslizamiento antigua (DLZ). La cobertura de suelo (coluvio-deluvial) en este sector es mayor y las caras libres hacia la quebrada forman derrumbes por erosión (DR).



Foto 6. Acercamiento de la foto anterior donde se distingue las zonas afectadas por erosión y derrumbe; el paso de un huaico incorpora material de ambas laderas por ser muy susceptible a ser erosionado.

² El tamaño del cono de deyección, usualmente es un indicador de la magnitud y frecuencia de los eventos ocurridos. Un cono amplio como el de Ranrata, permite más flexibilidad en el tipo de obra a utilizar y su ubicación.



Figura 4. Abanico de la quebrada Ranrata, donde se distingue su amplia dimensión y disposición respecto al cauce actual del río Cotahuasi. La amplitud del abanico llega a comprometer parte del poblado de Tomepampa.



Foto 7. Vista de la quebrada Ranrata, aguas arriba de Achambi. En primer plano se aprecian depósitos de morrenas (MR) dispuestas en la margen izquierda, distinguiéndose grandes bloques en una matriz fina. Al fondo las vertiente glaciares en las laderas del cerro Santa Rosa.



Foto 8. Acumulación de detritos de gelifracción en las vertientes superiores en el cerro Santa Rosa, margen derecha. Este material suelto e inconsolidado, es fácilmente removible con el *agua de lluvia, al saturarse, generando flujos pequeños que incrementan el material de arrastre al cauce principal de la quebrada generando flujos mayores o huaicos. El substrato rocoso es volcánico (volcanoclástico: ignimbritas).

4.2.2 QUEBRADA SIHUAÑA

Ubicación, accesibilidad y ocupación: Se encuentra en el sector de Tomepampa. Se accede a desde Cotahuasi a 10 km, encontrándose antes de ingresar al área urbana; se accede a su cauce inferior caminando. Parte del camino que conduce a Achambi permite observar la cuenca media y superior. La quebrada está ocupada en la parte baja y baja-media por terrenos de cultivo; el abanico antiguo de esta quebrada corresponde a parte del área urbana sur dl poblado de Tomepampa y la desembocadura actual cruza a través de un puente pequeño (figura 5).

Morfología y morfometría: Esta microcuenca presenta una cuenca relativamente amplia en su zona de recepción que es alimentada por las vertientes glaciofluviales en la ladera del cerro Lucmani; puede distinguirse cuatro cursos principales: Condorillo que coincide con el curso principal de la quebrada en sus nacientes, Jarahuaña, Jollpa y Quinsahua y otras vertientes menores, todas ellas dispuestas en la margen derecha de la quebrada. La pendiente de estas vertientes es moderada a fuerte variando entre 10 y 40°; se aprecian acumulaciones de detritos glaciares y morrenas recientes. Las vertientes en la margen izquierda son más suaves a moderadas encontrándose relieves en rocas volcánicas con pendientes entre 8-15° y pendientes mayores entre 20 y 35°. Se evidencia un retroceso de la cobertura glaciar dejando expuesto material removible por el agua de lluvia, sobre un substrato volcanoclástico alterado a hidrotermalizados, siendo más fácilmente erosionable por el agua de lluvia. En líneas generales la cabecera de esta microcuenca es semicircular a elongada, y recoge los aportes de las vertientes glacio-fluviales cubiertas por depósitos inconsolidados en sus laderas, hasta el sector adyacente del caserío de Achambi donde recorre aproximadamente 4.4 km con una pendiente longitudinal de 8-10° hasta cerca de 20° en las nacientes. La cuenca media es de pendiente muy pronunciada en su lecho prolongándose hasta las laderas inferiores adyacentes a Locrahuanca, con una pendiente longitudinal del cauce de entre 20 y 24° y de 14° en el fondo del lecho debajo de Locrahuanca donde el río hace un quiebre marcado en su dirección (E-O) recorriendo en este tramo 3.4 km; las laderas en este tramo presentan pendientes entre 15 y 45° y en algunos lugares hasta más de 50° (53° en la margen izquierda). También se aprecian sectores tendidos o de pendiente suave con terrenos agrícolas en ambas márgenes (frente

de Achambi). El tramo final de la quebrada hace dos quiebres marcados en su cauce recorriendo en dirección nor-noroeste en su tramo final hasta su desembocadura, formando un abanico que se abre en dirección hacia el río Cotahuasi unos 800 metros de longitud; la pendiente del lecho de la quebrada en este sector está entre 2 y 16°. Antes de su desembocadura cruza un puente sobre la carretera que accede a Tomepampa (fotos 9 y 10).



Fotos 9 y 10. Vistas del tramo final de la quebrada Sihuaña.

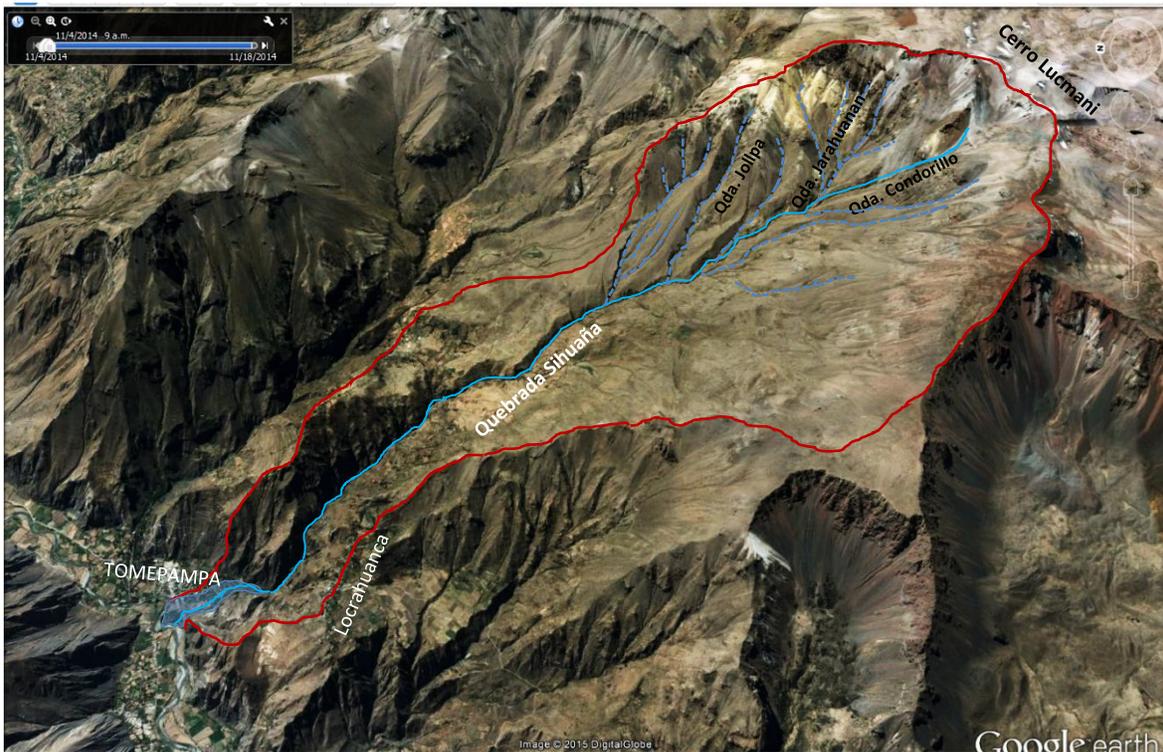


Figura 5. Imagen satelital que muestra la hidrografía principal de la microcuenca de la quebrada Sihuaña.

Tipos de rocas y suelos / Geodinámica: Predominan en la microcuenca rocas volcánicas en parte muy fracturadas y alteradas (foto 11), que generan un suelo residual-coluvial superficial, que cubre las vertientes o laderas (vertientes medias) aprovechados por la

agricultura (sector Locrahuanca-Sacuyo) ; detritos de vertiente que evidencian el retiro de los glaciares la cabecera se caracteriza por contener depósitos glaciares (morrenas) y glaciofluviales en las cabeceras y nacimiento de las quebradas.



Foto 11. Vista aguas arriba en la quebrada Sihuaña. Laderas de fuerte pendiente sobre un substrato rocoso volcánico (volcánicos Tacaza en la parte inferior: Nm-ta-or/sr) en la Parte media y volcánicos del Barroso en la cabecera de cuenca (NQ-ba/fi1) con cobertura superficial glacial a glaciofluvial.

En la zona inferior de la microcuenca se presentan depósitos proluviales, generados por los diferentes huaicos ocurridos en su historia (abanico proluvial). La dinámica de esta quebrada está expresada en este depósito, pudiendo observarse que la influencia del huaico compromete parte del poblado de Tomepampa (figura 6 y foto 12).



Figura 6. Tramo final de la quebrada Sihuaña; abanico longitudinal y alargado.



Foto 12. Vista de perfil que muestra el abanico de la quebrada Sihuaña con ligera pendiente hacia el valle de Cotahuasi. Se distingue a partir de la pendiente del depósito la influencia en parte de las viviendas de Tomepampa.

El cauce mismo apreciado desde el ápice del abanico está lleno de grandes bloques, gravas, matriz areno-limosa sin embargo resalta más aún la gran bolonería de material rocoso arrastrado por los huaicos dispersos, llegando a depositarse encima del cauce o lecho actual a manera de albardones o levé, que evidencian el desborde de la quebrada por insuficiencia del canal, por la fuerza o violencia del flujo o arrastre (foto 13).

La parte final y morfología de la microcuenca es el abanico característico, de gran dimensión que alcanza desde su ápice aproximadamente 800 metros dispuesto entre las cotas 2700 m (parte superior) y 2600 m (en el río Cotahuasi). Asimismo en los estribos del puente sobre esta quebrada como en algunas paredes de viviendas abandonadas se distingue la altura del lodo dejado por los flujos de detritos recientes (foto 14).



Foto 13. Varias vistas en el cauce y márgenes de la quebrada Sihuaña, donde se aprecian gran cantidad de bloques rocosos, que son arrastrados comúnmente por los flujos de detritos o huaicos. Cuando hay acumulación de estos en el lecho llegan a obstruir el cauce de la quebrada, generando que el depósito de huaico se desborde por sus márgenes



Foto 14. Huellas de impacto de lodo en las paredes del puente donde cruza la quebrada Sihuaña y en una vivienda afecta por un flujo de detritos. La casa se encuentra abandonada.

4.2.3 QUEBRADA PUCA PUCA

Ubicación, accesibilidad y ocupación: Se encuentra en el sector de Taurisma, en la margen derecha del valle de Cotahuasi. Se accede a desde Cotahuasi a aproximadamente 10 km; una trocha cruza el valle 1 km antes de Huayhuanca con dirección a Huaynacotas; pasando Taurisma un km después se llega a Puca Puca. También se accede un km antes de llegar a Tomepampa, cruzando por un puente peatonal hacia este sector. La quebrada está ocupada en la parte baja o inferior por terrenos de cultivo, desarrollados sobre un abanico antiguo de esta quebrada así como parte del tramo de la carretera que conduce hacia Huaynacotas (figura 7).

Morfología y morfometría: Esta microcuenca presenta una pequeña superficie de recepción que es alimentada por dos principales cursos o quebradas que se originan de ambas vertientes coluviales en la ladera del cerro Sojra (laderas entre 16 a 50°), dando lugar a la quebrada Puca Puca; se aprecian acumulaciones de detritos coluvio-residuales. La zona de tránsito de la quebrada es de fuerte declive o pendiente, de ambos márgenes; puede distinguirse varios cursos de agua o cárcavas que se activa con lluvias. La pendiente de estas vertientes es moderada a fuerte variando entre 27 y 45°. Recorriendo un cauce de aproximadamente 3.1 km con una pendiente longitudinal de 17-34°, prolongándose hasta las laderas inferiores en el piso del valle donde origina un abanico. El tramo final de la quebrada o zona de depósito corresponde a un abanico subhorizontal hasta su desembocadura de unos 530 metros de longitud; vadeando la carretera que conduce a Huaynacotas (figura 8 y foto 16).

Tipos de rocas y suelos / Geodinámica: Predominan en la microcuenca rocas volcánicas en parte muy fracturadas y alteradas, que generan un suelo residual-coluvial superficial, que cubre las vertientes o laderas medias y superiores formando detritos de vertiente. Parte de la margen derecha en el tramo medio corresponde a secuencias sedimentarias (calizas de la formación Arcurquina³). También en este tramo se distingue el depósito de un deslizamiento antiguo (margen derecha). Foto 15.

³ Se distinguen secuencias de color rojo que por similitud podrían corresponder a las secuencias de la Formación Murco, compuesta por areniscas y niveles de yeso y sal.

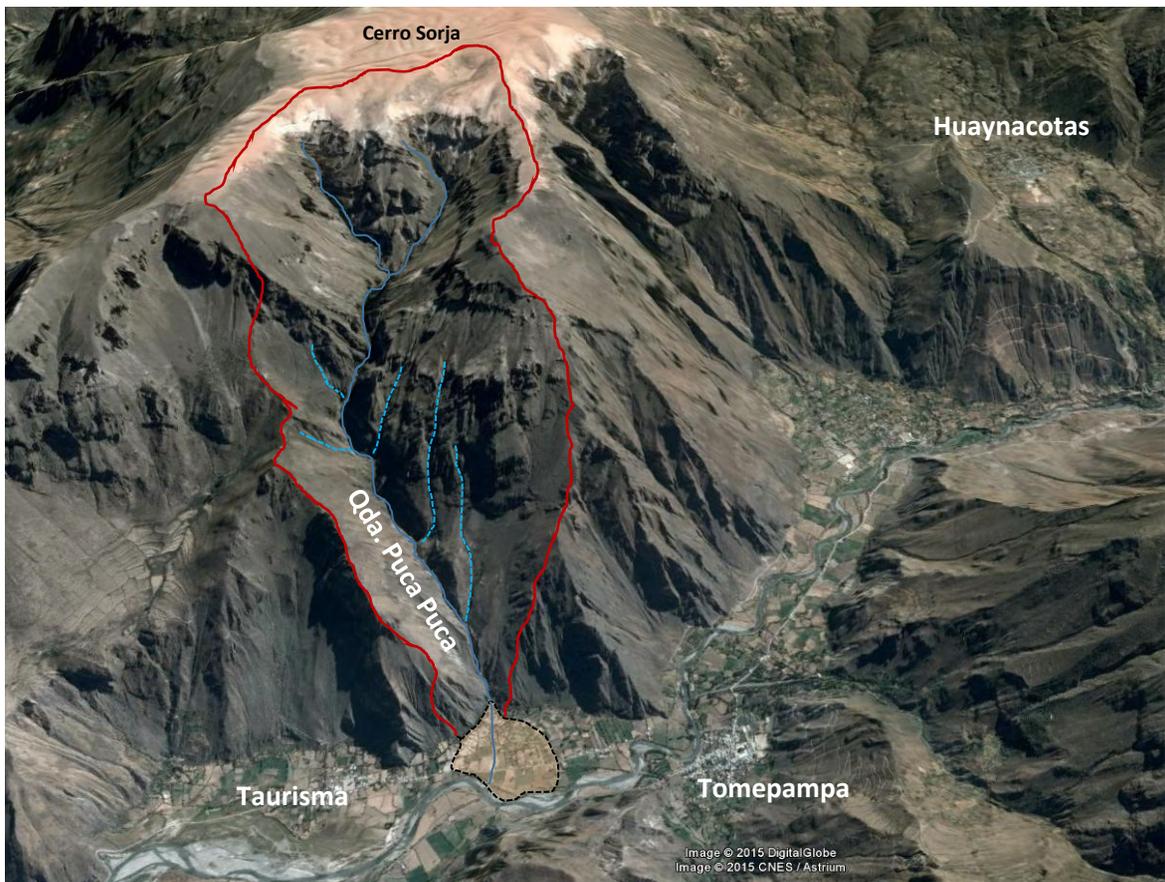


Figura 7. Imagen satelital donde se resalta la microcuenca de la quebrada Puca Puca.



Foto 15. Vista del tramo medio de la quebrada Puca Puca. Depósito de deslizamiento antiguo (Dd) y vertientes con acumulaciones de detritos coluvio-residuales (Dcr).

Solo en el tramo final se diferencian los depósitos proluviales de esta quebrada que son aprovechados por la agricultura local.



Figura 8 y foto 16. Vista de la zona del abanico antiguo de la quebrada Puca Puca de mayor dimensión ocupado por zonas agrícolas. Actualmente el cauce canalizado es muy pequeño.

4.2.4 QUEBRADA CACHANA E ISHCOHUAICO

Ubicación, accesibilidad y ocupación: Se encuentra en el sector superior y adyacente a la localidad de Cotahuasi, el cual se accede por la carretera que conduce hacia Arequipa. La microcuenca de esta quebrada está ocupada en gran parte por terrenos agrícolas y es cortada en varios sectores por la carretera, existiendo en ella tramos de canales y caminos de herradura sobre el cauce natural. Cachana e Ishcohuaico corresponden a una misma quebrada; el sector inferior Ishcohuaico cruza parte de las viviendas calles de ingreso a Cotahuasi y además donde está proyectado construir el hospital de esta ciudad (figuras 8, 9 y 10).

Los sectores visitados de esta quebrada se encuentran en:

Ishcohuaico: En las coordenadas 727343 Este y 8316942, en el badén a un costado de las oficinas de SEAL, hacia aguas abajo hasta el sector de la planta de aguas residuales de Cotahuasi (foto 17). El cauce aguas abajo se mantiene angosto y con un tirante bajo, apreciándose algunos bloques y cantos de huaicos anteriores en el cauce (fotos 18, 19 y 20).



Foto 17. Quebrada Ishcohuaico, a un costado de las oficinas de SEAL. Vista aguas arriba.



Foto 18. Características del lecho de la quebrada en los alrededores de Cotahuasi. Aquí se distingue el pequeño tirante del canal observado en el portal de ingreso a Cotahuasi.



Foto 19. Camino de herradura y canal en parte y lecho de quebrada hacia aguas abajo en el sector de SEAL.



Foto 20. Hacia aguas abajo hasta el sector de la planta de aguas residuales.

Sector Cachana: En las coordenadas 729354 Este y 8315071 Norte, en el cruce de carretera hacia aguas arriba. Desde aquí se puede apreciar que la vertiente superior constituye de varios afluentes, tres o cuatro principales. El ancho del cauce va entre 2 a 10

metros y más arriba cerca de 45 metros de ancho, en donde desborda hacia la margen derecha (fotos 21 y 22).



Foto 21. Vista panorámica de la quebrada Cachana hacia aguas arriba desde la carretera.



Foto 22. Variación en el ancho del cauce observado aguas arriba en varios tramos de la quebrada

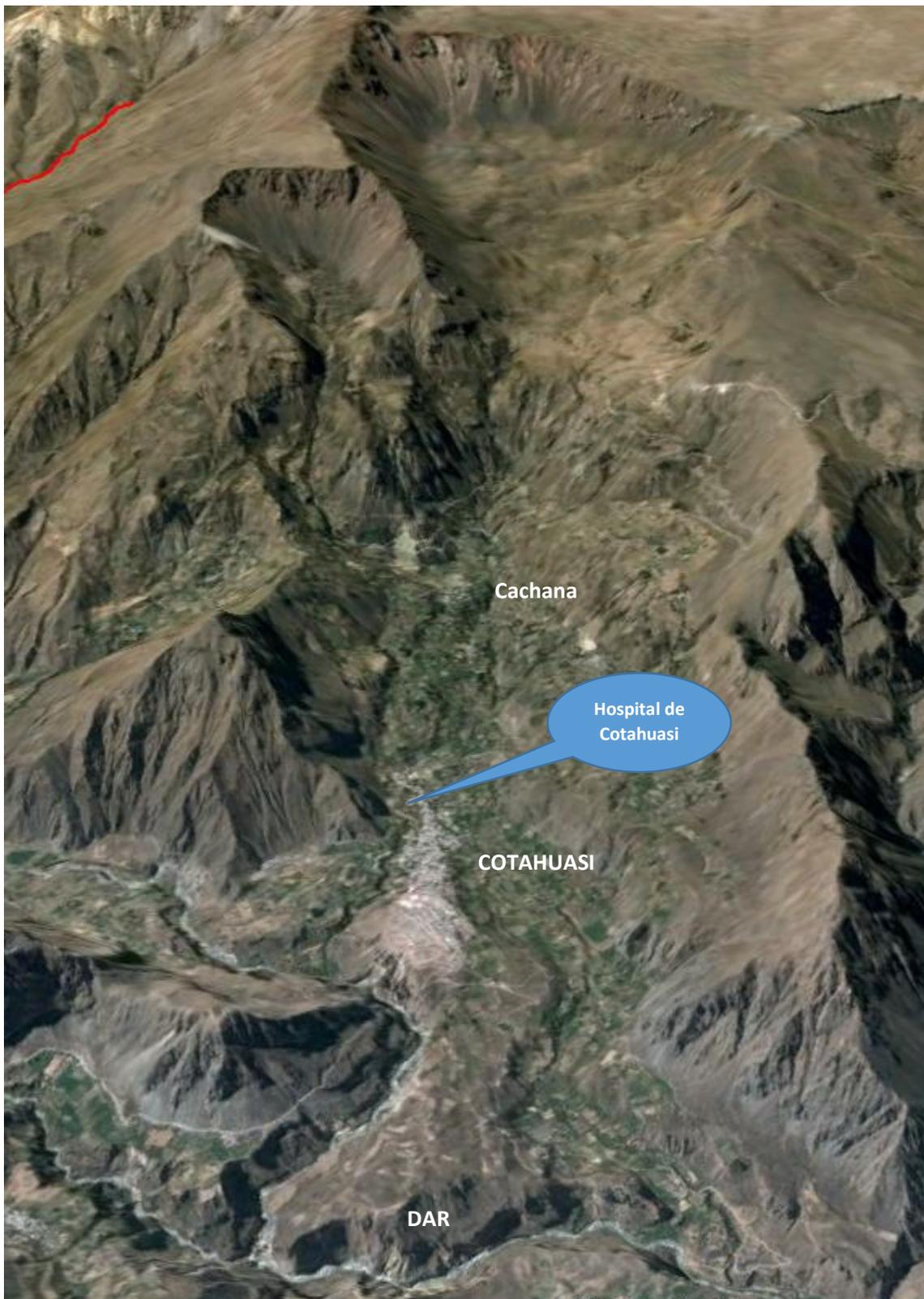


Figura 8. Vista panorámica del sector de Cotahuasi y Cachana. De cerca se distingue el depósito de avalancha de rocas (DAR) sobre la cual se asienta el poblado de Cotahuasi.

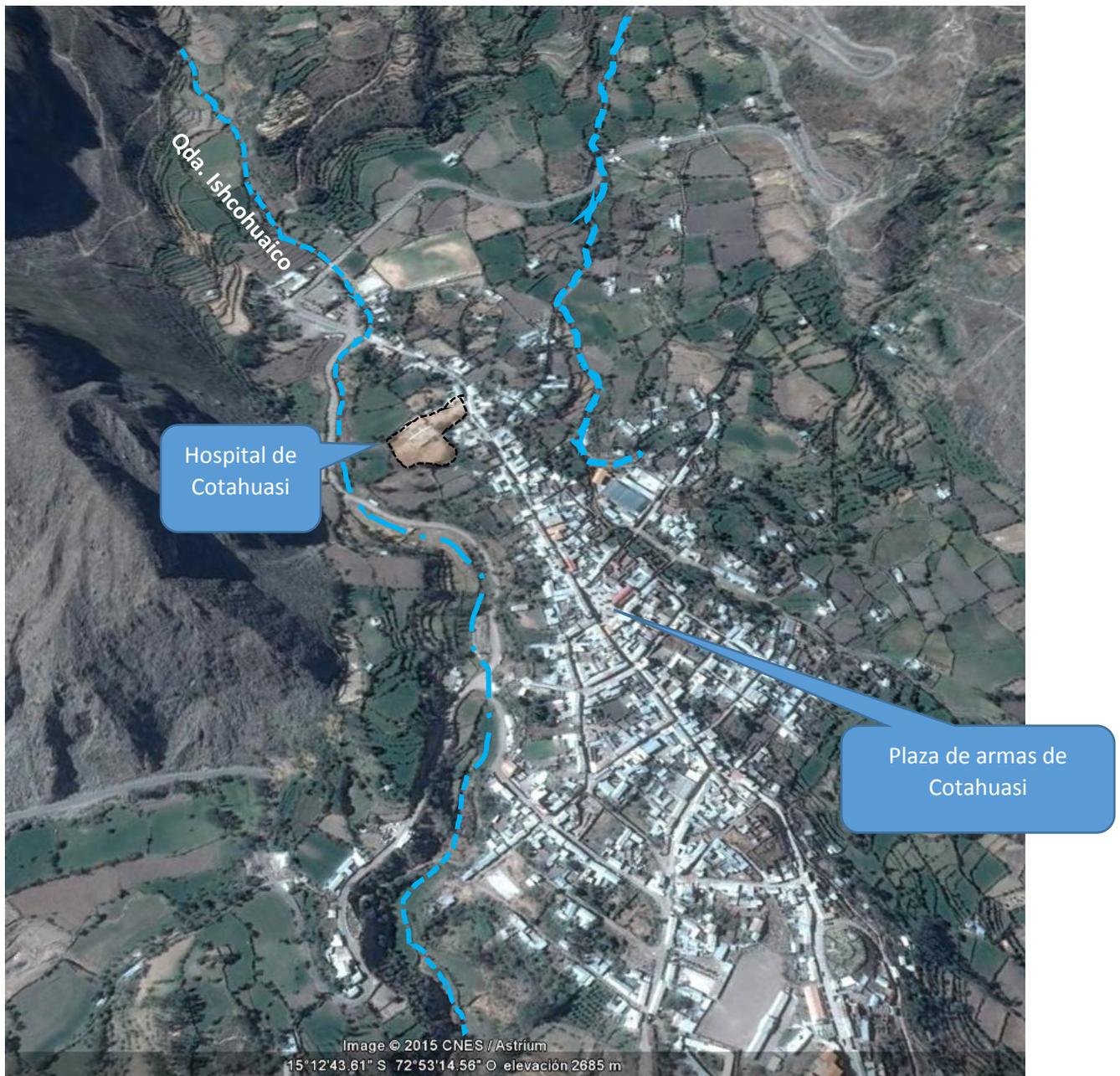


Figura 9. Imagen Satelital en el sector de Cotahuasi. Se resalta en celeste los cursos principales de la zona en relación a la ubicación del hospital actual de Cotahuasi. El cauce canalizado desde aguas arriba de las oficinas de SEAL es insuficiente en caso de producirse huaicos de mayor magnitud. La presencia de bloques, bolones y grava en el cauce evidencian la ocurrencia de eventos anteriores por esta quebrada.



Figura 10. La microcuenca Cachana, como se muestra en esta imagen satelital tiene una amplia vertiente de aportes de cursos de agua, cuando se dan las precipitaciones pluviales estacionales. La generación de huaicos en esta quebrada van a persistir por las condiciones naturales intrínsecas existentes: pendiente del terreno, fuerte alteración en las rocas y disposición de material inconsolidado residuo-coluvial disponible en sus laderas, la erosión que se aprecia. La falta de un canal o cauce principal aguas abajo con un ancho y profundidad adecuados, permitirán siempre el desborde de los flujos de detritos o huaicos, así como la falta de una reforestación adecuada de estas vertientes o laderas. En este sector también existe un problema geodinámico en sus laderas y taludes que afectan un tramo de la carretera (deslizamiento), apreciándose en él una fuerte alteración en la roca o substrato rocoso⁴. Ver Figura 11.

⁴ La estabilización y control de este deslizamiento requiere de un estudio geológico-geotécnico especial para determinar las causas exactas del problema y la medida más adecuada para su estabilización y control.



Figura 11. Imágenes satelitales oblicuas de los años 2010, 2012 y 2014, donde se aprecia el avance de deslizamiento que afecta un tramo de la carretera de acceso a Cotahuasi en la zona de Cachana. La fuerte meteorización en las rocas que componen los taludes cortados, la convierten en una zona de alta susceptibilidad a deslizarse en presencia de agua, fuerte pendiente en los taludes de corte.

4.2.5 EROSIÓN E INUNDACIÓN FLUVIAL EN EL SECTOR DE TAURISMA - COÑEC

Las características geomorfológicas del valle de Cotahuasi, así como sus avenidas o descargas estacionales permiten que se produzcan fuertes erosiones en sus márgenes (foto 23) y desbordes e inundaciones, afectando terrenos de cultivo y vías de comunicación particularmente.

La sinuosidad del cauce fluvial, su amplia llanura de inundación y presencia de terrazas bajas respecto al cauce, así como la falta de defensas ribereñas adecuadas permiten que ocurran estos procesos, como se muestra en las fotos siguientes. El querer ganar espacios o terrenos para la agricultura, para el paso o construcción de puentes carrozables o peatonales, o para el desarrollo de cualquier otra obra de infraestructura requiere de medidas estructurales adecuadas (defensas ribereñas). Fotos 24 y 25.



Foto 23. Proceso de erosión fluvial en el sector de Puca Puca, margen derecha del río Cotahuasi, que compromete tramo de carretera Taurisma-Huaynacotas.



Foto 24. Erosión fluvial en tramo de 185 metros aguas arriba de puente peatonal que cruza hacia Taurisma; se ve el muro de concreto que ha sido parcialmente afectado susceptible a colapso por la próxima avenida.

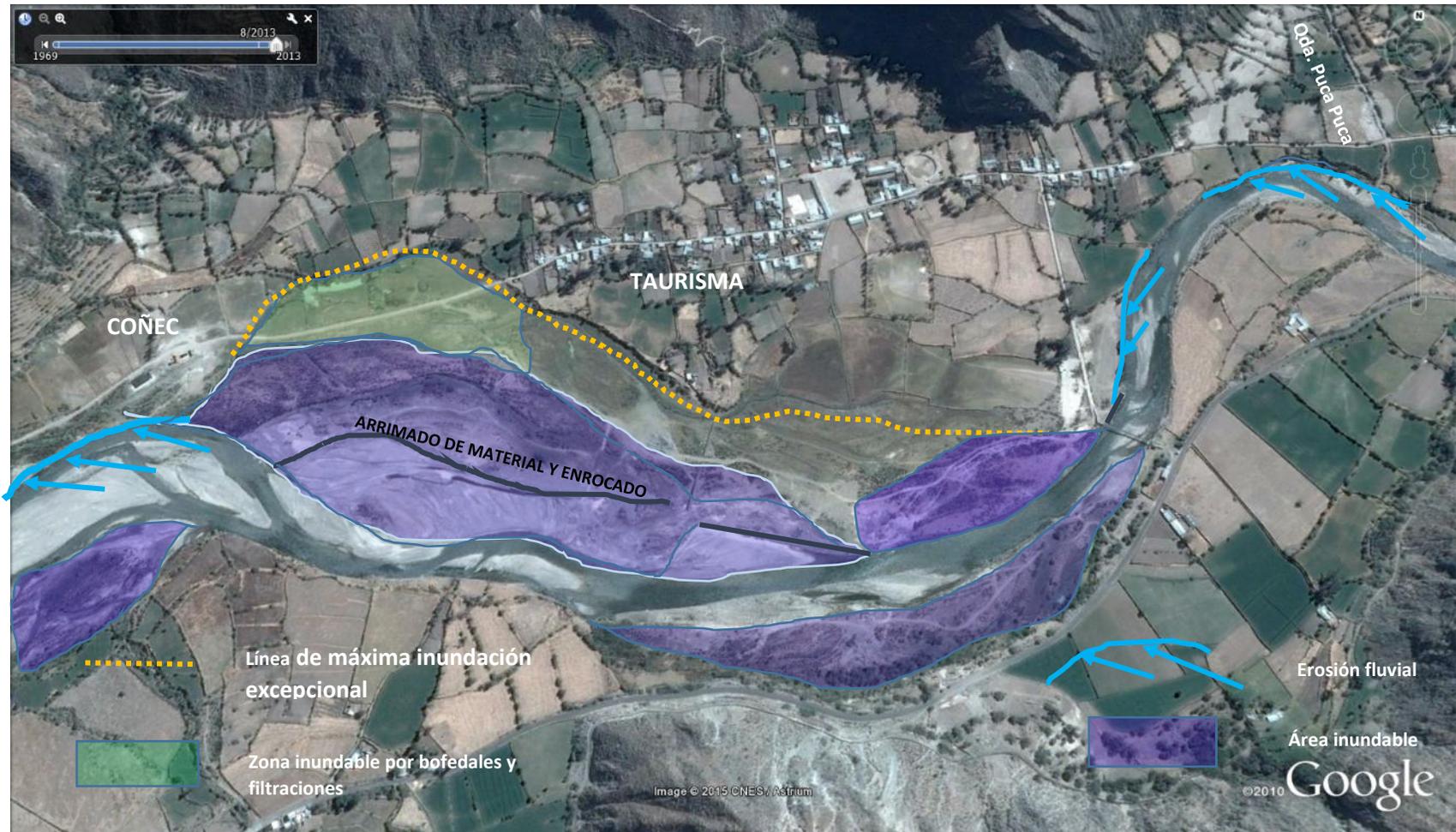


Foto 25. Muros de arrimado de material con enrocados, que están parcialmente erosionados por falta de cemento, que se presentan entre Coñec y el puente peatonal que cruza a Taurisma.

El sector de Coñec, adicionalmente se ve afectado por inundaciones originadas por la filtración de agua de manantial, produciendo una zona extensa de bofedales muy cerca al borde de la terraza alta, donde se ubica la población de Taurisma (foto 26 y 27). La terraza alta constituye igualmente el límite máximo de inundación fluvial que podría ser originada por un desborde o inundación de carácter excepcional, como se muestra en la figura 12.



Fotos 26 y 27. Bofedales originados por las filtraciones en el sector de Coñec y Tuarisma. En la vista superior se distingue el límite de una terraza alta sobre la cual se asienta el poblado de Taurisma.



V. MEDIDAS DE PREVENCIÓN/MITIGACIÓN EN LAS ÁREAS EVALUADAS.

Perú, al ser un país con unidades sociales altamente expuestas y vulnerables ante fenómenos naturales con potencial destructivo, requiriendo para mejorar la seguridad de las personas e infraestructura en lo que respecta a los desastres de origen geológico o climático, desarrollar medidas de mitigación apropiadas basadas en el reconocimiento de los cambios tanto en la vulnerabilidad y en la resistencia. Hay tres formas diferentes de mitigación de desastres: 1) reducción de la vulnerabilidad, 2) aumentar la resistencia o 3) reducir el impacto (MEF, 2004).

Los efectos de estos peligros sobre las personas y las estructuras se pueden disminuir mediante la supresión total de zonas con alto riesgo, limitando, prohibiendo o imponiendo condiciones sobre las actividades en estas zonas. Los gobiernos locales pueden lograr esto a través de políticas y reglamentos de uso del suelo. Las personas pueden reducir su exposición a los riesgos adquiriendo información sobre el historial de los peligros (mapa de inventario de peligros geológicos y zonas críticas).

Los procesos identificados en las quebradas Ranrata, Sihuaña (Tomepampa), Puca Puca y Coñec-Taurisma (Huaynacotas) y Cachana e Ishcohuaico (Cotahuasi), requieren de medidas estructurales para poder mitigar y prevenir futuros desastres.

A partir de las condiciones geológicas, geomorfológicas y de sitio encontradas, que caracterizan en términos de peligro la susceptibilidad de los procesos que las afectan, se resumen dos aspectos geológicos de riesgo:

- **Flujos de detritos o huaicos** en Ranrata, Sihuaña, Puca Puca, Cachana e Ishcohuaico. Cada una de ellas tiene diferentes características en función a la morfometría del cauce en su forma actual como está; pendiente del terreno, tanto del cauce o lecho como de las vertientes; grado de alteración en las rocas que generan acumulaciones de depósitos inconsolidados (coluviales, residuales, glaciofluviales, aluviales); Erosión de las laderas que generan cárcavas, por ausencia de vegetación o deforestación. Condiciones climáticas: intensas precipitaciones pluviales de corta duración o lluvias persistentes de larga duración. Condiciones antrópicas: convivencia de áreas urbanas o rurales con zonas de peligro, sin desarrollar medidas estructurales adecuadas de prevención/mitigación.
- **Inundaciones y erosión fluvial** en las zonas entre Coñec y Taurisma, particularmente, debido a las condiciones geomorfológicas: llanura de inundación fluvial; divagación del curso principal debido al poco declive longitudinal del cauce; condiciones hidrológicas: avenidas estacionales que aumentan la carga de agua y sólidos por erosión en el cauce y las márgenes y la incorporación de material proluvial de las quebradas que confluyen al río principal (huaicos); condiciones antrópicas: ocupación de zonas agrícolas o viales en zonas susceptibles o áreas propensas a estos procesos; construcción inadecuada de defensas ribereñas conociendo las variables que las producen.

A partir de ello se pueden resumir y describir algunas medidas que pueden considerarse para reducir la vulnerabilidad y por tanto el riesgo a estos procesos naturales. En esta sección se dan algunas propuestas de solución de forma general para las zonas evaluada con la finalidad de minimizar las ocurrencias de los procesos identificados; así como también para evitar la generación de nuevas ocurrencias o eventos futuros que causen desastres.

5.1 MITIGACIÓN DE PELIGROS POR HUAYCOS

En quebradas de régimen temporal donde se producen huaicos periódicos a excepcionales que pueden alcanzar grandes extensiones y pueden transportar grandes volúmenes de sedimentos gruesos y finos. Con el propósito de propiciar la fijación de los sedimentos en tránsito y de minimizar el transporte fluvial, es preciso aplicar en los casos que sea posible, las medidas que se proponen a continuación:

- Encauzar el cauce principal de los lechos de los ríos o quebradas y aluviales secos, retirando los bloques rocosos en el lecho y seleccionando los que pueden ser utilizados para la construcción de enrocados, espigones o diques transversales artesanales siempre y cuando dichos materiales sean de buenas características geotécnicas. Considerar siempre que estos lechos aluviales secos se pueden activar durante periodos de lluvia excepcional caso del Fenómeno EL NIÑO (fotos 28 y 29).



Foto 28. Encauzamiento de una quebrada; considerando la profundidad y ancho del cauce natural promedio existente, la granulometría y tamaño de bloques; pendiente de la quebrada.



Foto 29. Construcción de disipadores de energía de las corrientes concentradas en el cauce de la quebrada, mediante diques transversales (enrocado y armazón de troncos) y canalización del cauce con muros laterales escalonados utilizando bloques de rocas para mitigar los efectos ante la ocurrencia de un flujo de detritos.

- Propiciar la formación y desarrollo de bosques ribereños especialmente con especies nativas para estabilizar los lechos y sus márgenes (figura 13); la densidad de este bosque permite de una manera disminuir el desborde de materiales de gran tamaño que rebasen la capacidad del cauce canalizado y su impacto además se vea menguado o disminuido.

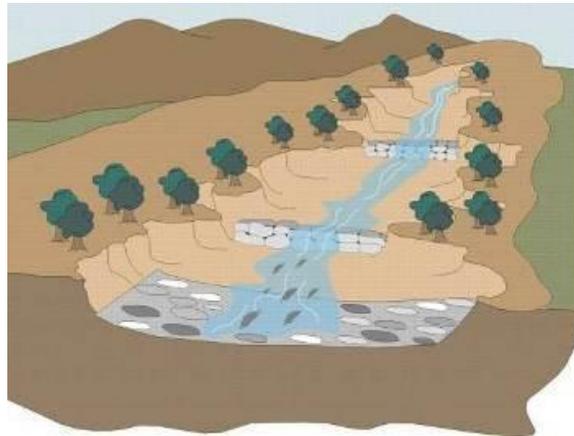


Figura 13. Bosques ribereños.

- Construir presas transversales de sedimentación escalonada para controlar las fuerzas de arrastre de las corrientes de cursos de quebradas que acarrean grandes cantidades de sedimentos durante periodos de lluvia excepcional, cuya finalidad es reducir el transporte de sedimentos gruesos, tales como presas SABO; tipo rejilla; barras flexibles que debido a la permeabilidad de la red, los flujos se drenan como resultado de la retención del material sólido; fosas de decantación; etc. (foto 30).

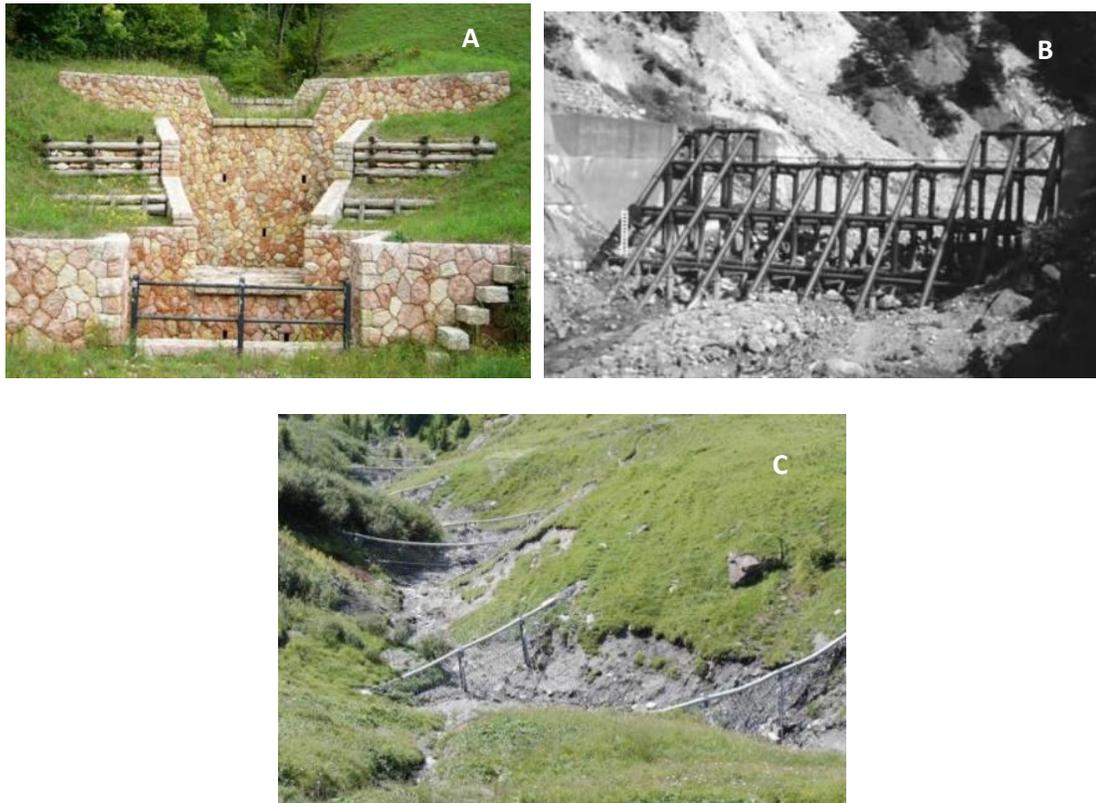


Figura 30. Presas de sedimentación escalonada para controlar la fuerza destructiva de los huaycos, tipo SABO (A); tipo rejilla (B); barras flexibles (C).

- Muchas quebradas, torrenteras o chorreras que generan huaicos periódicos en región, pueden ser controladas en las carreteras mediante badenes de concreto o mampostería de piedra, alcantarillas, pontones o puentes, entre otros (foto 31), en función de las características geodinámicas y topográficas de la quebrada. Estas obras que atraviesen estos cauces deben construirse con diseños que tengan en cuenta las máximas crecidas registradas, que permitan el libre discurrir de crecidas violentas provenientes de la cuenca media y alta, evitándose obstrucciones y represamientos violentos. Además, estas obras deben ser acompañadas de obras de encauzamiento y limpieza del cauce de quebrada aguas arriba (foto 32), y obras de defensa contra erosión (enrocados, gaviones o muros de concreto) ya mencionados.



Foto 31. Ejemplos de obras de drenaje para redes viales, A) badenes, B) alcantarillas y pontones y C) puentes, puentes-badén.



Foto 32. Limpieza de cauce del río o quebrada.

La erosión de laderas contribuye a la remoción o erosión del suelo, aportando material y generando huaicos. Para reducir la erosión de laderas con presencia de cárcavas de gran amplitud existen un conjunto de medidas, principalmente de orden artesanal, entre las que cabe destacar:

- Regeneración de la cobertura vegetal, de preferencia nativa a lo largo de la cárcava y en las zonas circundantes a ellas, para asegurar su estabilidad.
- Construcción de diques o trinchos transversales constituidos con materiales propios de la región como: troncos, ramas, etc. (figuras 14, 15 y 16).

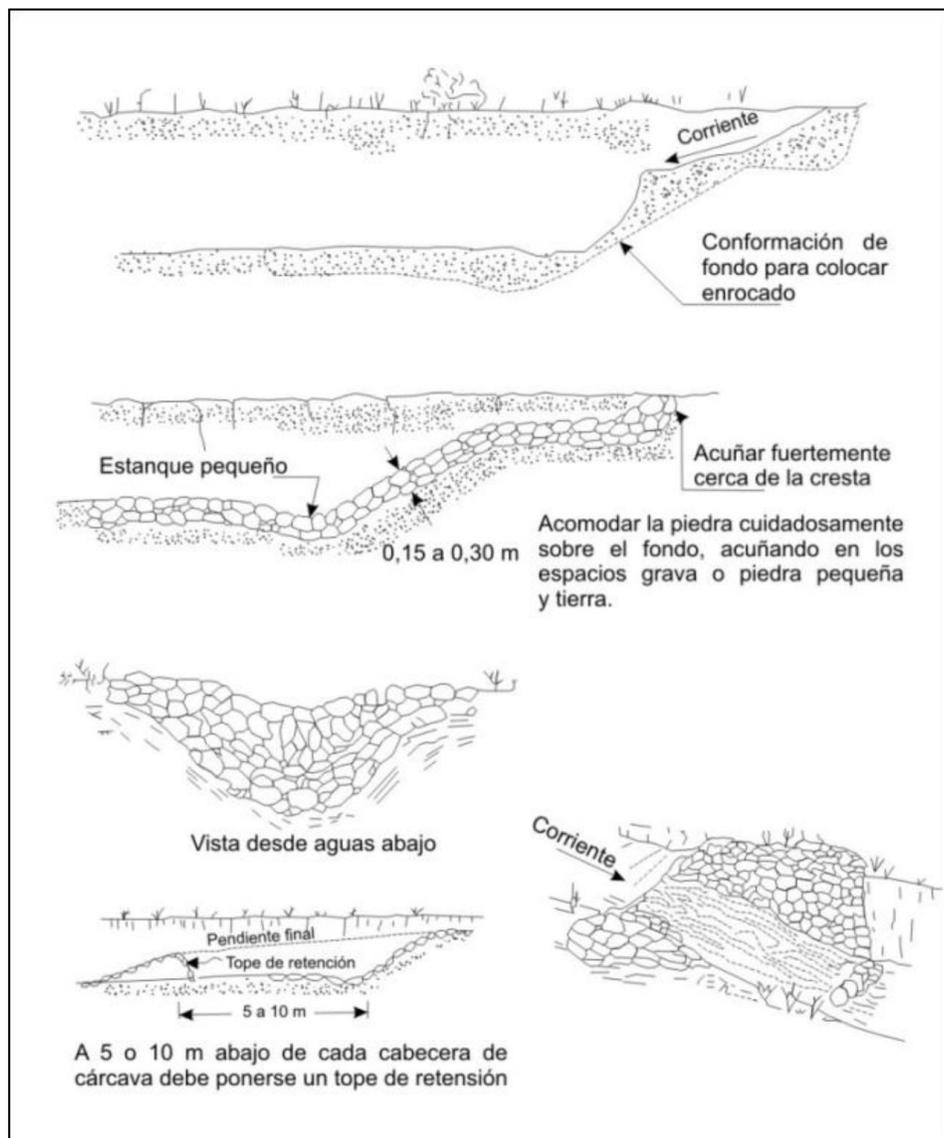


Figura 14. Trincho de piedra para cabecera de cárcava (adaptado de Valderrama et al., 1964).

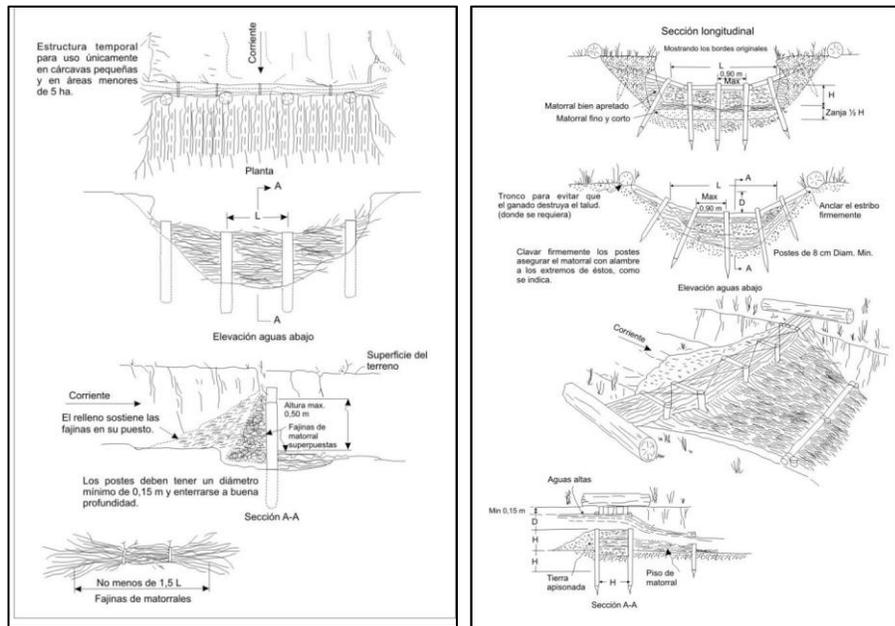


Figura 15. Trincho de matorral tipo una hilera de postes y trincho de matorral tipo doble hilera de postes (adaptado de Valderrama et al., 1964).

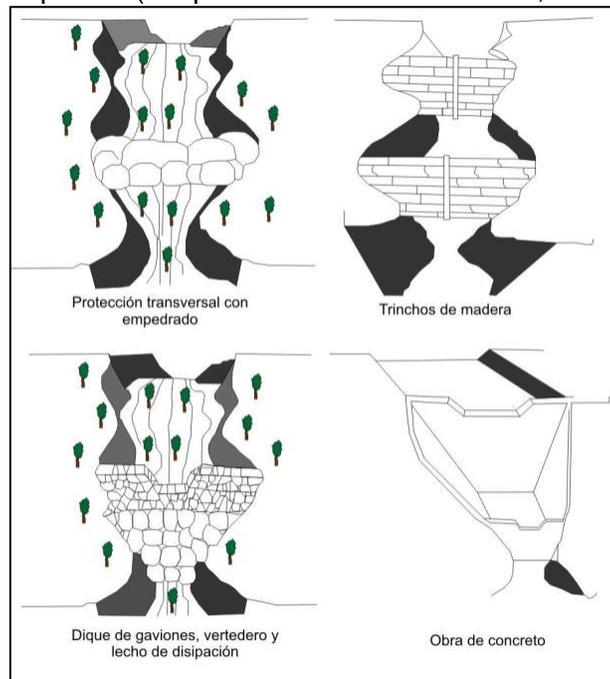


Figura 16. Obras hidráulicas transversales para el control de la erosión en cárcavas, fijación de sedimentos y protección de desagüeros naturales (Tomado de Instituto Nacional de Vías-Colombia-1998).

- Empleo de zanjas de infiltración articuladas (canales de desvío) de acuerdo a las condiciones climáticas de la región (figura 17).
- Realizar prácticas de conservación y regeneración de la cobertura vegetal conformada por pastos, malezas y arbustos con fines de estabilizar el terreno y

controlar la erosión. En la selección de árboles a utilizarse debe contemplarse las características de las raíces, las exigencias en tipo de suelos y portes que alcanzaran versus la pendiente y profundidad de los suelos. Se recomienda además que las plantaciones forestales se ubiquen al lado superior de las zanjas de infiltración construidas paralelas a las curvas de nivel.

- Evitar el sobrepastoreo, ya que deteriora y destruye la cobertura vegetal, y finalmente evitar la quema de pajonales.



Figura 17. Canales de desvío para evitar la erosión en cárcavas.

Las quebradas evaluadas casi requieren de similares medidas de prevención y mitigación. No basta solamente con atacar el problema en la zona de depósito del flujo de detritos o huaico, sino también en la zona donde se originan o se dan las mayores condiciones para su ocurrencia⁵. Se pueden combinar algunas de ellas en función al espacio en la cuenca donde se colocan (figura 18).

En la **quebrada Ranrata** se midió 1350 metros de cauce cuyo ancho varía entre 10 a 22 metros lineales (máximo 38 en la parte inferior) y la altura o profundidad actual del cauce está entre 5-6.5 metros como máximo y 1.5 a 2.5 metros (fotos 33 y 34).

La parte superior mantiene una altura o profundidad mayor del cauce; el run up u oleada del flujo en la margen derecha es mayor en altura, debido a la pendiente de la quebrada y la velocidad del flujo, sobrepasando el flujo una altura de 6.0 a 6.5 metros, abriéndose hacia su margen izquierda, debido a la topografía actual del abanico (foto 35). La limpieza y encauzamiento del cauce debe sobrepasar esta altura indicada.



Foto 33. Vistas de la quebrada Ranrata mostrando gran acumulación de material detrítico que necesita limpieza en el cauce. Las alturas y ancho del cauce son variables.

⁵ Los cauces con propiedades de torrentes se caracterizan por su capacidad de arrastre de material rocoso y vegetal, debido principalmente a dos factores: a) El proceso erosivo, que se traduce en un deterioro de la cubierta vegetal en las laderas y su constante aporte de sedimentos al cauce, y b) La fuerte pendiente, que favorece el transporte de material.



Foto 34. Anchos y alturas variables y dimensiones de los fragmentos a eliminar del cauce de la quebrada Ranrata.



Foto 35. Vistas panorámica y de cerca del abanico de la quebrada Ranrata, aguas abajo. Se aprecia zona por donde desborda hacia su margen izquierda. De cerca se distingue la dimensión de los bloques que pueden encontrarse dentro de la zona boscosa.

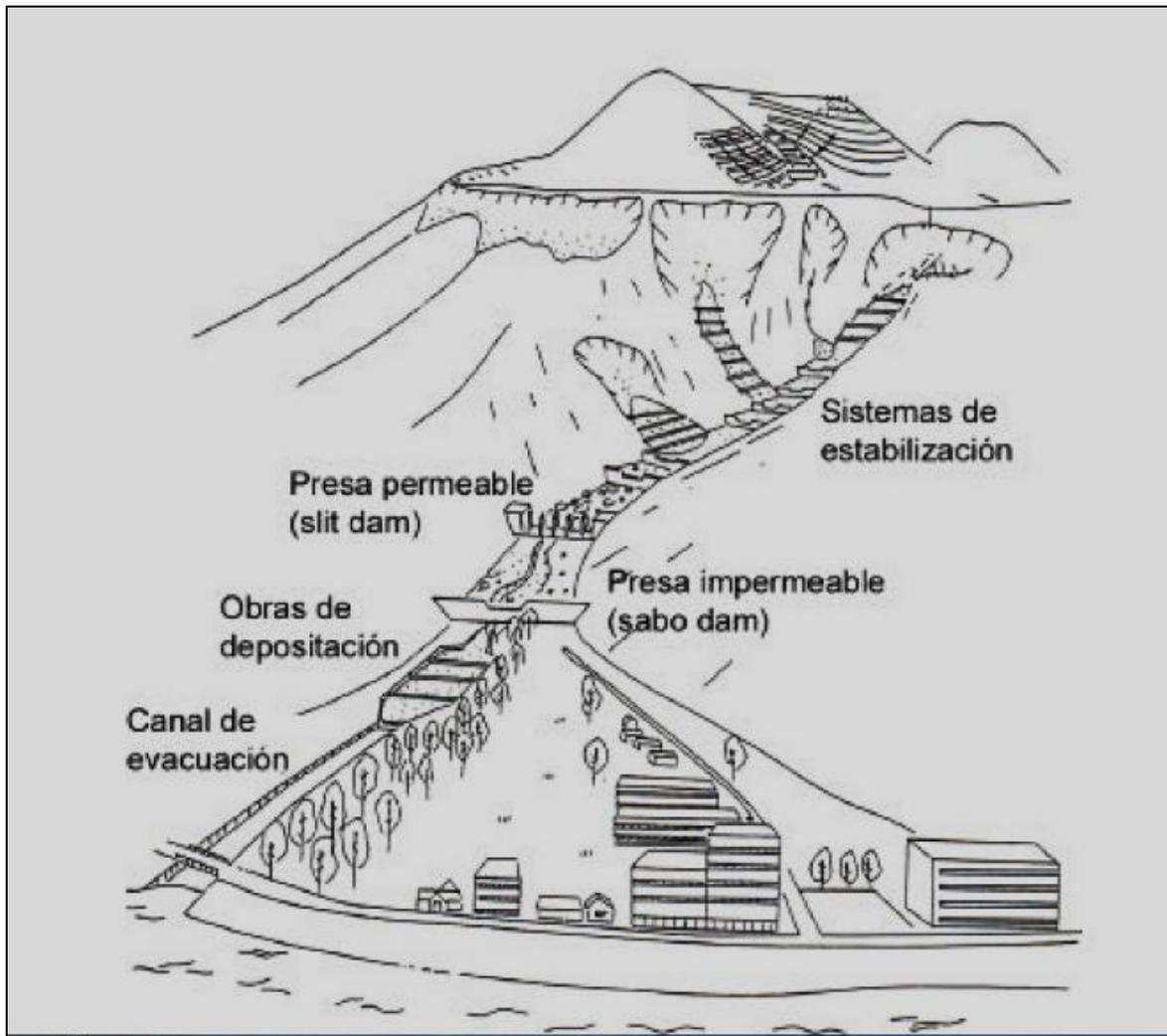


Figura 18. Combinación de distintas soluciones que pueden utilizarse contra flujo de detritos (Seminara y Tubino, 1992). Para ello se requiere de un análisis integral de la cuenca.

En la **quebrada Sihuaña** se midió una longitud de cauce específicamente en la zona de depósito o abanico de 950 metros. El ancho del cauce es angosto, entre 10 en la parte superior hasta 12-14 en la parte media de este sector. La profundidad del cauce respecto a las terrazas adyacentes alcanza en promedio 3.0 a 3.50 metros, disminuyendo en la parte terminal a 1.50 metros; excepcionalmente en la parte media superior un tramo de 180 metros alcanza una altura de 5.20 a 5.50 y está relacionada a una zona de albardón o desborde de la quebrada por huaico, con gran acumulación de bloques en las terrazas.

La **quebrada Puca Puca** mantiene un lecho encauzado en promedio de 10 metros de ancho, con una pendiente muy suave; el cambio brusco de pendiente al formar su abanico originaría la afectación de las zonas adyacentes principalmente agrícolas.

En la **quebrada Ishcohuaico**, su cauce es muy angosto; en el badén adyacente a SEAL presenta entre 6-8 metros de ancho, mientras que en el pontón que cruza la carretera de ingreso a Cotahuasi es de 5 metros de ancho y 2 metros de tirante.

5.2 MITIGACIÓN DE PELIGROS POR INUNDACION Y EROSION FLUVIAL

Para disminuir los daños por inundaciones y/o erosión fluvial en la zona evaluada, se puede aplicar las siguientes medidas:

- Encauzamiento del lecho principal, ríos y quebradas afluentes, en zonas donde se produzcan socavamientos laterales de las terrazas aledañas. Para ello se debe construir espigones laterales, enrocado o gaviones (figura 19 y foto 36) para aumentar la capacidad de tránsito en el cauce de la carga sólida y líquida durante las crecidas y limpiar el cauce.

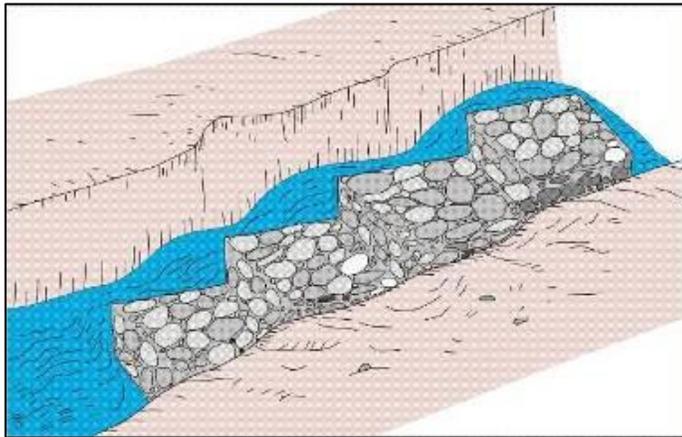


Figura 19. Gaviones para encauzar el lecho del río.



Foto 36. Ejemplos de uso de enrocados y muros de gaviones para protección de carretera. En muchos casos esto debe estar acompañado de un levantamiento de la rasante de la carretera.

- Protección de las terrazas fluviales de los procesos de erosión fluvial por medio de diques de defensa o espigones (figura 20 y foto 37), que ayudan a disminuir el proceso de arranque y desestabilización.

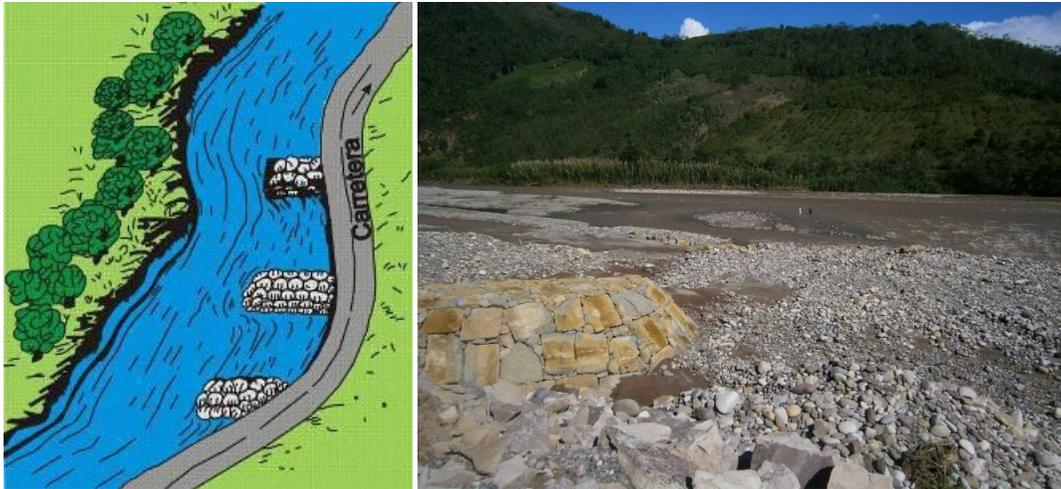


Figura 20 y foto 37. Espigones para proteger las terrazas fluviales.

- Realizar trabajos que propicien el crecimiento de bosques ribereños con especies nativas (molle, sauce, carrizos, caña brava); pero evitar la implantación de cultivos en el lecho fluvial para que no interrumpa el libre discurrir de los flujos hídricos.

Otros sistemas de protección contra inundaciones deben consistir en:

- Una línea principal de defensa que proteja toda la zona o líneas locales de defensa que protejan diversas partes de la zona, si queda destruida la línea principal.
- Las estructuras de las líneas de defensa de protección contra las inundaciones deben consistir en:
 - Diques de defensa (malecones) o terraplenes, erigidos para proteger el terreno situado detrás. Deberá preverse un margen bastante amplio de altura para el caso de que las condiciones de cimentación sean deficientes, con el fin de compensar un exceso de asiento del terraplén.
 - Muros de encauzamiento de avenidas, muelles y terraplenes construidos para proteger los asentamientos humanos.
 - Carreteras y otras vías de comunicación para el acceso al sistema de defensa, que permita el tránsito de personas y equipos durante las operaciones de defensa o para los trabajos de mantenimiento.
 - Reparación de los terraplenes, el mantenimiento de la capacidad de los cursos de agua mediante el dragado y limpieza, y la conservación de las esclusas compuertas y otros equipos.

Las **zonas indicadas como susceptibles a inundación entre Puca Puca, Taurisma y Coñec**, afectadas en el último año y años anteriores, en ambas márgenes del valle de Cotahuasi, requieren de inmediata intervención para reducir la vulnerabilidad de zonas agrícolas ante avenidas excepcionales, mediante el encauzamiento y construcción de defensas ribereñas y la mejora de las ya existentes, sobre todo en aquellas donde solo se

tiene arrimado de material faltando incorporarle material rocoso de enrocado, compactación de la zona central del material y sección típica trapezoidal para evitar la erosión lateral, así como el sembrío de bosques ribereños en las márgenes del río Cotahuasi (figura 21). La disposición morfométrica en este tipo de defensas longitudinales (muros) deberá estar acorde en lo posible con la sinuosidad del cauce natural⁶.



Figura 21. Figura esquemática de medidas a desarrollar contra inundaciones y erosión fluvial. Las longitudes estimadas son: 160 metros de enrocado en Puca Puca; 540 metros de muro de concreto combinado con enrocado, aguas arriba de puente peatonal; 1260 m (margen izquierda) y 1410 m (margen derecha) de arrimado de material compactado del lecho del río de sección trapezoidal, combinado con enrocado de talud húmedo⁷.

Se podría complementar los diques longitudinales, con espigones de roca, empotrados en el dique construido con el fin de direccionar el flujo del agua hacia el centro del cauce, previendo una mayor socavación en la uña de los diques.

⁶ Los diques longitudinales son los principales elementos de defensa para evitar las inundaciones, pero, al igual que los grandes embalses situados aguas arriba, pueden contribuir de forma decisiva a restar calidad hidrogeomorfológica a dichos espacios, por cuanto dificultan su funcionalidad natural de desbordamiento.

⁷ Material granular que conforma el cauce para la conformación de un dique trapezoidal de protección, a través del arrimado de material del lecho del río Cotahuasi, compactado con el peso y paso repetidamente de la maquina sobre el material arrimado, conformándose un dique seco semicompactado. A medida que el dique va ganando altura, el ancho se va reduciendo, dándose forma a un dique con sección transversal trapezoidal. El dique será revestido con enrocado en la cara que está en contacto con el agua (cara húmeda) con roca. Esto se hace con el fin de prevenir la erosión (remoción del material del dique por el agua del río) y prolongar la vida útil de la estructura.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. La problemática de generación de flujos de detritos en las quebradas evaluadas deriva principalmente de la conjugación de dos fenómenos naturales: alta producción de sedimentos y detritos en las secciones altas y medias de las quebradas, cuyos aportes son arrastrados por los cauces, y 2) las condiciones meteorológicas extremas que ocurren en la zona durante las lluvias estacionales y lluvias excepcionales. asociadas a anomalías climáticas o al Fenómeno de El Niño
2. La inestabilidad de los suelos coluvio-residuales, la presencia de depósitos activos e inactivos glaciares (detritos a merced de las lluvias acarreados como flujos y aquellos presentes en las zonas altas de las quebradas), además de la escasa cobertura vegetal, son características propias y similares de los sectores que componen las zonas evaluadas, que en definitiva condicionan el incremento de riesgo por flujos de detritos o huaicos en las quebradas evaluadas de Ranrata, Sihuaña, Puca Puca, Cachana e Ishcohuaico.
3. Las características observadas en Ranrata y Sihuaña (Tomepampa), en su morfología, pendiente del cauce y laderas en las zonas de cabecera, media y de depósito (abanicos o conos de deyección), así como las evidencias de flujos de detritos anteriores en la zona y depósitos de albardones, permiten determinar que representan zonas de peligro potencial de generación de flujos de detritos o huaicos. Por tanto ante la ocurrencia anunciada del fenómeno de El Niño estas zonas **se consideran con peligro inminente.**
4. Respecto a las márgenes del río Cotahuasi indicadas como muy susceptibles a erosión fluvial e inundación requieren de la construcción técnicas adecuadas de defensas ribereñas; enrocados con material disponible en la zona y material de relleno compactado. Reemplazar el muro de concreto aguas arriba del puente peatonal que une a Puca Puca y Taurisma, nuevas defensas en las zonas que están viéndose afectadas por erosión del río. Estas obras permitirán que zonas agrícolas y parte de la red vial local no se vea afectada, ante las avenidas excepcionales esperadas para la próxima temporada de lluvias y el fenómeno El Niño.
5. La zona del valle del río Cotahuasi entre Tomepampa, Puca Puca y Taurisma Coñec, por sus características geomorfológicas (llanura inundable y terrazas bajas aluviales) **se consideran muy alta susceptibilidad a la generación de procesos de inundación y erosión fluvial.** Las medidas estructurales implementadas descritas en el informe no han sido construidas adecuadamente y están siendo afectadas por las avenidas estacionales anuales.
6. Se recomienda el emplazamiento de obras conjuntamente con medidas del tipo biológico (forestación), las cuales logran afianzar su conservación en el tiempo, y la estabilización del terreno mediante el repoblamiento con vegetación autóctona, lo que a su vez restaurará la identidad natural del entorno.
7. Se sugiere realizar limpiezas periódicas de los cauces en las quebradas Ranrata y Sihuaña y Cachana; se requiere realizar una descolmatación técnica adecuada del cauce, considerando las indicaciones hechas en ancho y profundidad del cauce. El material extraído de gran volumen y dimensión puede ser utilizado como defensas en

los márgenes a fin de evitar el desborde y generación de albardones evitando que perjudiquen o afecten áreas urbanas (caso Tomepampa), áreas agrícolas y viales (caso Cachana y Puca Puca). Para efectuar esta labor se requiere de un levantamiento topográfico a fin de diseñar adecuadamente las obras que se proyecten a nivel de cauce y laderas.

8. Para el sector de Ishcohuaico, cauce cercano a la zona del proyecto de construcción del nuevo hospital de Cotahuasi, se requerirá igualmente de un encauzamiento adecuado que permita el paso de huaicos, combinado con defensas en ambos márgenes.
9. Se deberá eliminar cada cierto período el material sólido pre-aterrado en las obras de control a fin de conservar su capacidad volumétrica de retención, para el caso de construcción de diques o presas transversales que se proyecten en las quebradas Ranrata, Sihuaña u otras.
10. El sector de Coñec-Taurisma es morfológicamente afectado por inundación-erosión fluvial por encontrarse gran parte dentro de la llanura inundable del río Cotahuasi. Adicionalmente la presencia de filtraciones genera bofedales en la zona haciéndola no utilizable como zona agrícola.
11. En todos los casos de intervención de medidas estructurales se requerirá de apoyo técnico calificado para el dimensionamiento de obras y la mejor selección a realizar; para el caso de muros de gaviones, enrocados o material compactado y arrimado o espigones (para inundaciones o erosión fluvial) o para el caso de encauzamiento y defensa para flujos de detritos, presas transversales, disipadores de energía, forestación para la disminución de erosión, etc., en las quebradas señalizadas como de peligro alto a la ocurrencia de flujos de detritos.
12. Debido a las condiciones geológico-geomorfológicas y de riesgo, Tomepampa merece un análisis especial por ser un evento periódico y que anteriormente ha causado daños como se pudo observar en campo, de las versiones de las autoridades y lugareños, y de las interpretaciones geológicas obtenidas. Debe efectuarse en un corto o medio plazo, un estudio detallado de las microcuencas de Ranrata y Sihuaña, debiendo trabajarse a nivel de microcuencas para solucionar el problema que anualmente se repite con las lluvias estacionales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Instituto Nacional de Vías de Colombia. (1998). Manual de Estabilidad de taludes - Geotecnia Vial. Colombia, 340 p.

Olchanski, 1973; Dávila, D. (1984) - Mapa Geológico del cuadrángulo de Cotahuasi a escala 1:100,000. Actualizado por Lajo, A., Díaz, J. & Barreda, M. (2001). Instituto geológico Minero y Metalúrgico.

Seminara, G. & Tubino, M. (1992) – Weakly nonlinear theory of regular meanders. *J. Fluid. Mech.* 244: 257-288

Valderrama, L., Galindo, J. & Montenegro, E. (1964) – Reconocimiento forestal del departamento de Cundinamarca. Departamento agrológico, IGAC, Bogotá, Colombia.