SECTOR ENERGÍA Y MINAS

INGEMMET

INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL

Informe Técnico Nº A6871

# MOVIMIENTOS EN MASA: DESLIZAMIENTO Y HUAICOS EN LA QUEBRADA PAIHUA

Región Lima
Provincia Huarochiri
Distrito Matucana

Diciembre

2005

VERSIÓN N° 001 CARÁTULA DE INFORME TÉCNICO - INGEMMET / 04.01.19

# INDICE

RESUMEN ..... 4

INTRODUCCIÓN ..... 5

UBICACIÓN GEOGRAFICA, EXTENSIÓN ..... 6

PELIGROS GEOLOGICOS EN LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS ..... 7

¿QUE SON LOS HUAICOS? ..... 8
¿QUE SON LOS DESLIZAMIENTOS? ..... 8
¿QUE SON LOS ABANICOS ALUVIALES? ..... 9
EL PASADO ES LA LLAVE DEL FUTURO ..... 10
¿QUE SE HIZO PARA INVESTIGAR ESTO? ..... 11

ASPECTOS GEOLÓGICOS EN LA CUENCA DE LA QUEBRADA PAIHUA .... 13
El abanico aluvial de la quebrada Paihua .....13
La Cuenca baja .....14
La Cuenca superior ..... 16

PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA .....20
El deslizamiento de Paihua .....20
Los huaicos en la quebrada Paihua .....20

¿PUDIERA OCURRIR UN DESASTRE POR HUAICOS EN MATUCANA? .....27

Volumen estimado en el huaico de 1983 .....27
Volúmenes estimados para los huaicos de la quebrada Paihua .....27
Volúmenes simulados con el modelo flo-2d .....28

SUSCEPTIBILIDAD A LOS PELIGROS .....33

Método Empleado y Elección de Variables .....33

Categorías de Susceptibilidad en el Área de Estudio .....34

**CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN** …….40

**ESTRATEGIAS PARA MITIGAR DAÑOS EN ABANICOS ALUVIALES: CASO PAIHUA – MATUCANA** …….41

**Sistemas de Alerta Temprana** …….. 42

**Monitoreo del Deslizamiento de Paihua** ……. 42

**COMUNICACIÓN CON COMUNIDADES** ……..45

**BIBLIOGRAFÍA**……..49

# MOVIMIENTOS EN MASA: DESLIZAMIENTOS Y HUAICOS EN LA QUEBRADA PAIHUA


## RESUMEN

Matucana con una población aproximada de 5800 habitantes y a 2390 m de elevación, ubicada en la margen izquierda del río Rímac sobre una terraza aluvial localizada frente a la desembocadura de la quebrada Paihua, en el flanco occidental de la Cordillera de los Andes, aproximadamente a 75 kilómetros al Este de Lima. Unida con la capital y el centro del país por la Carretera y el Ferrocarril Central. Es una de las zonas más críticas de la cuenca del río Rímac por la ocurrencia de huaicos (flujos de detritos) que comprometen seriamente su seguridad física. A lo largo del pasado reciente se conocen tres eventos principales que la afectaron, los huaicos e inundaciones de 1878, 1959 y 1983, todos ellos relacionados a precipitaciones excepcionales (fenómeno El Niño) producidos en la cuenca media y alta de la quebrada Paihua, en donde se presentan deslizamientos, caídas de rocas y huaicos en sus tributarios principales.

Basados en el cálculo de los volúmenes del huaico de 1983 y las investigaciones realizadas en el cauce, se estimó un volumen máximo de descarga total del huaico, en el amplio valle de Matucana, de aproximadamente 250 000 $m^3$. Los grandes eventos de huaicos, están condicionados a las precipitaciones regionales (intensas y prolongadas) y son las principales amenazas durante el fenómeno El Niño y el año siguiente a él.

El área de los deslizamientos activos cerca a la población de Paihua, se ha incrementado en un factor de 15 desde 1955. Aunque los deslizamientos en el pasado reciente han sido lentos y el represamiento del cauce de la quebrada no ha sido relacionado con los grandes y destructivos huaicos, no pueden dejar de ser considerados en el análisis del peligro, porque pueden incidir en eventos futuros.

El estudio permitió identificar y evaluar las principales variables ingeniero geológicas de los movimientos en masa que afectan las laderas en la cuenca de la quebrada Paihua, con la finalidad de buscar alternativas de manejo y plantear las medidas correctivas necesarias. El conocimiento técnico generado por el proyecto, fue interactuado con la población mediante talleres y charlas, recogiendo de ellos, importantes aportes.

## INTRODUCCIÓN

En la Cordillera de los Andes del Perú central, durante los meses de enero a marzo, se incrementan las precipitaciones pluviales, si estas son excepcionales, en las riberas de muchos ríos y quebradas se producen flujos de detritos, inundaciones y erosión fluvial; afectando a los poblados localizados en esos sectores.

En la margen izquierda de la cuenca media del río Rímac, se ubica Matucana, localidad por donde pasan la Carretera y el Ferrocarril Central, que une la Capital con importantes ciudades y unidades mineras del centro del país, las que generan desarrollo socio económico en la región. Frente a Matucana, en la margen derecha del río Rímac, se halla la desembocadura de la quebrada Paihua.

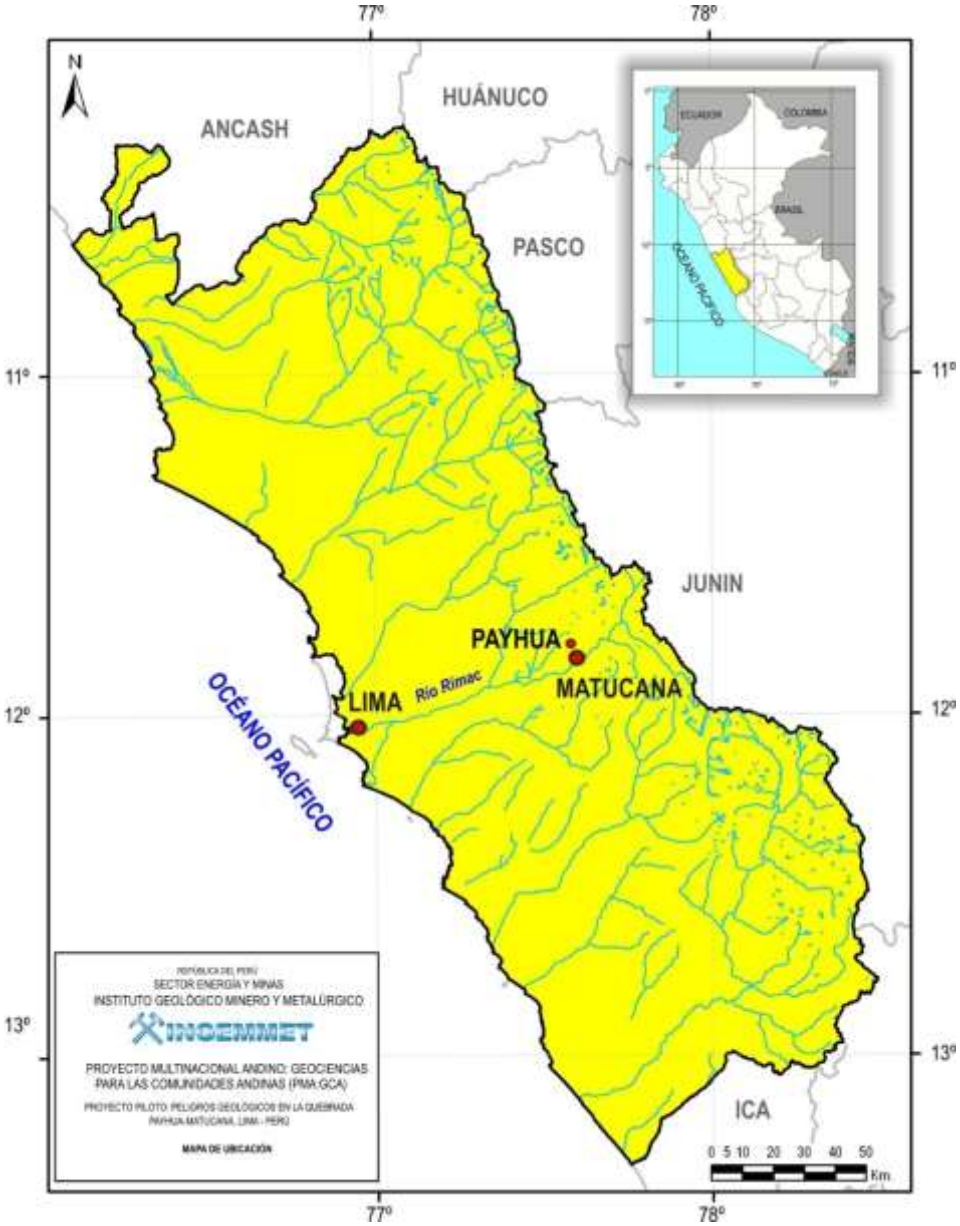
En la Quebrada Paihua se han reconocido importantes peligros geológicos tipificados como movimientos en masa: deslizamientos, caídas de rocas y huaicos; así como también erosión de laderas; los que por una parte afecta los terrenos de cultivo y por otra parte aportan gran cantidad de material detrítico a la quebrada, lo que condiciona la ocurrencia de desastres. En caso de una activación de los movimientos en masa en la cuenca es muy probable que se generen huaicos de gran magnitud que podrían incidir sobre un sector de la ciudad de Matucana, así como represar total o parcialmente el río Rímac y aumentar el daño sobre la ciudad y centros poblados situados aguas arriba y aguas abajo del Rímac, como ocurrió en el pasado.

Dada la ocurrencia de estos procesos, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), dentro del marco del Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (PMA:GCA) cuyo objetivo es de contribuir a mejorar la calidad de vida de las poblaciones andinas, creyó por conveniente efectuar este estudio, Estudio Piloto a nivel nacional, que contribuirá al mejoramiento de la calidad de vida de la población involucrada recomendando obras de mitigación ante la ocurrencia de peligros geológicos.

## UBICACIÓN GEOGRÁFICA, EXTENSIÓN

La quebrada Paihua, está ubicada en el distrito de Matucana, Provincia de Huarochirí, Región de Lima a 75 kilómetros al Este de la ciudad de Lima, geográficamente está en las coordenadas 76°22'35" y 76°24'07" de longitud Oeste del Meridiano de Greenwich; 11°46'38" y 11°50'20" de longitud Sur.

Esta quebrada pertenece a la Cuenca hidrográfica del Pacífico y confluye al río Rímac por su margen derecha, frente a la ciudad de Matucana (Mapa de Ubicación).
El área que posee es de 15.5 $km^2$ con una longitud de cauce principal de 7 km aproximadamente, presenta una pendiente promedio de 39%. La altitud mínima es de 2390 m.s.n.m. y una máxima de 4760 m.s.n.m.




## PELIGROS GEOLOGICOS EN LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Muchas poblaciones viven en o cerca de los abanicos aluviales o desembocaduras de ríos o quebradas en lugares como Chucumayo, Viso, Huaripampa, Chacamaza, entre otras. En escalas de tiempo que abarcan miles de años, los abanicos aluviales son zonas dinámicas de mucha actividad geomórfica y geodinámica. Los huaicos repentinos ocurren periódicamente en lugares como éstos, y ponen en gran riesgo a muchas comunidades, como Matucana, durante eventos de lluvia intensa y prolongada. Aunque los científicos están mejorando constantemente su capacidad de entender y delinear áreas de alto peligro natural, la expansión de la población y el aumento de la construcción han aumentado más que nunca el número de personas en riesgo.

## ¿QUE SON LOS HUAICOS?

Los huaicos o flujos de detritos son movimientos rápidos de rocas, escombros y suelos saturados de agua, que ocurren en las laderas (no canalizado) y cauces de quebradas (canalizado) cuando ocurren lluvias intensas y prolongadas. Usualmente en su trayecto se desbordan lateralmente depositándose en su parte final en forma de abanicos o cono. Por lo general, se componen de agua y material, principalmente arena, grava y piedras, pero también pueden incluir árboles y materiales fabricados por el ser humano (muebles, automóviles, casas destruidas, etc.). Usualmente, los huaicos tienen la consistencia del concreto húmedo y se mueven a velocidades superiores a los 50 Kilómetros por hora. Ver Figura 1

Figura 1: Modelo y cono de deyección de la quebrada Paihua formada por huaicos

## ¿QUE SON LOS DESLIZAMIENTOS?

Los deslizamientos son desplazamientos de tierra, rocas y sedimentos, pendiente abajo a lo largo de una superficie plana, circular o cóncava. Suceden debido a las características del suelo (dureza, filtraciones y humedad, pendiente, etc.) por lo que no son propicias para que se construyan viviendas. Ver Figura 2

La velocidad de estos movimientos varía de lenta a moderada y se acelerada generalmente con lluvias excesivas o por movimientos sísmicos. Además, se puede incrementar el riesgo de un deslizamiento si se tienen las siguientes condiciones:

- Descarga inadecuada de aguas de desecho, riego, etc., hacia los barrancos.
- Cortes en los taludes para construir viviendas, canales, caminos, etc.
- Excavación de terrenos
- Rellenos de tierra sobre laderas
- Lluvias excesivas (intensas y prolongadas)
- Rocas sueltas
- Uso inadecuado del suelo (deforestación y asentamientos)

- Ocupación de áreas de deslizamientos antiguos.

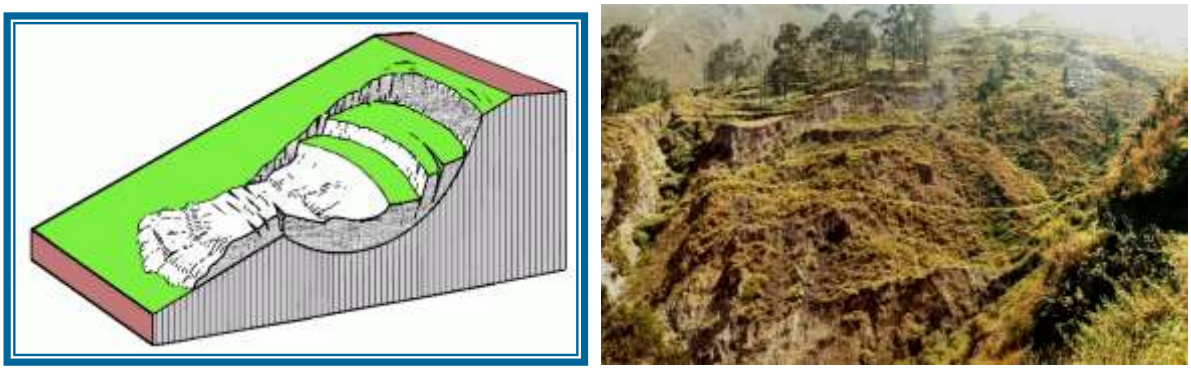


Figura 2: Modelo y deslizamiento de Paihua

## ¿QUE SON LOS ABANICOS ALUVIALES O CONOS DE DEYECCIÓN?

Los abanicos aluviales o conos de deyección son formaciones terrestres de inclinación leve en forma de cono o abanico creadas en el transcurso de miles a millones de años por la deposición de materiales erosionados en las alturas de las cuencas. Los abanicos aluviales se pueden reconocer fácilmente en ambientes áridos como en la cuenca media y baja del río Rímac, en la que se ubica la quebrada Paihua. Los abanicos aluviales pueden ser altamente activos, donde los huaicos y pueden ocurrir periódicamente y/o excepcionalmente (fenómeno El Niño). Los peligros naturales principales que se presentan en los abanicos aluviales son los huaicos, inundaciones y erosión de riberas generados mayormente por eventos de lluvia intensa y prolongada. Los huaicos en los abanicos aluviales, por lo general, ocurren con poco o ningún aviso; se mueven a gran velocidad y tienen una gran capacidad de transportar sedimentos. Matucana también puede ser afectada por inundaciones, no sólo por la crecida del río Rímac, sino como consecuencia de un huaico generado en la quebrada Paihua y el posible represamiento del río. Ver Foto 1

Los huaicos en los abanicos aluviales, pueden ocurrir súbitamente (sin tiempo para emitir avisos), moverse a gran velocidad, y transportar enormes cantidades de sedimentos y detritos. La inundación con los sedimentos y/o detritos (materiales) comienzan normalmente en el punto más alto donde el huaico puede confinarse por los valles y montañas, y luego se extiende inundando con gran amplitud (aunque no necesariamente profunda). Estas se caracterizan por la energía que poseen, suficiente para transportar sedimentos gruesos y grandes bloques de rocas. El depósito abrupto de materiales (sedimentos, detritos, bloques, árboles, basura, etc.) durante un huaico puede alterar y/o taponar el cauce y crear nuevos canales de flujo con direcciones inciertas. La incertidumbre es lo que hace que los eventos de huaicos en los abanicos aluviales sean extremadamente peligrosos.

Foto 1: Abanico aluvial de la quebrada Paihua, Matucana y la Carretera Central. Vista hacia el Este.

## EL PASADO ES LA LLAVE DEL FUTURO

Los deslizamientos, huaicos e inundaciones no son los únicos eventos que han ocurrido en esta región de Matucana. Los estudios realizados en el área, tanto en la identificación de áreas potencialmente activas, movimientos en masa ocurridos en las décadas pasadas, así como eventos "antiguos o prehistóricos" revelan un record de ocurrencia de deslizamientos, huaicos e inundaciones (Foto 2).

Foto 2: Materiales depositados por eventos (huaicos) prehistóricos en la quebrada Paihua, obsérvese el tamaño de los bloques.

Grandes flujos de detritos (huaicos) en la quebrada Paihua bloquearon al río Rímac desviándolo a través de Matucana en 1878, febrero de 1959 y marzo de 1983. El embalse creado por los depósitos de huaico, permanecieron por cuatro días hasta que fue dinamitado para regresar al río Rímac a su antiguo cauce. Algunos eventos menores que no causaron daños a Matucana ocurrieron en 1941, 1950 y 1985, pero las fechas específicas son inciertas. No existe información confiable de los huaicos antes de 1941.

Los huaicos de gran magnitud como los de 1878, 1959 y 1983, generados por lluvias excepcionales en la cuenca (fenómeno El Niño), han bajado por la quebrada Paihua represando el río Rímac y desviando sus aguas hacia Matucana. El evento de 1878 la inundó afectando el municipio, la casa Huayma y los barrios de abajo y de arriba; el flujo de 1959 la destruyó en un 90%, causando graves pérdidas humanas y materiales, y el evento de 1983 inundo la ciudad, afectando el sistema sanitario, destruyendo algunas viviendas, animales, terrenos de cultivo, puentes, Carretera y Ferrocarril Central. Como consecuencia de estos eventos el curso del río Rímac, en este sector, está controlado en su margen izquierda por un muro y un terraplén (dique), confinándolo hacia su margen derecha. Algunos sectores de Matucana tienen una elevación menor a la del lecho del río.

## ¿QUÉ SE HIZO PARA INVESTIGAR ESTO?

Los principales objetivos del presente estudio han sido investigar los peligros por deslizamientos en la cuenca de la quebrada Paihua y evaluar la escala de las amenazas por huaicos e inundaciones que afectarían la localidad de Matucana, carretera central, etc. Esta evaluación incluye la estimación del volumen máximo del huaico que podría acarrear la quebrada Paihua.

- Se completó un mapa de inventario de los deslizamientos del terreno a escala 1:10.000, muy importante debido a sus incidencias sobre el canal de la quebrada Paihua y la posibilidad de generar presas temporales.

- Los deslizamientos mayores de la cuenca fueron investigados con el fin de determinar sus patrones geológicos y geomorfológicos y las condiciones previas al fallamiento de la vertiente.

- Trabajos de arqueología para determinar la edad aproximada de los eventos prehistóricos.

- Un control de puntos detallado del terreno, fue realizado a lo largo de la microcuenca usando la tecnología del Sistema de Posicionamiento Global

(GPS); esto facilitó la creación de un modelo de elevación digital (MED) que permitió realizar una modelación para un huaico futuro.

- Se analizó fotografías aéreas de archivo con el fin de determinar la magnitud de los huaicos antiguos, identificar los depósitos de éstos y los cambios en el tiempo de la extensión y actividad de otros deslizamientos.

- Reconocimiento de los rellenos de sedimentos a lo largo del canal de la quebrada a través de la mitad de la parte baja de la cuenca.

- Se tomaron muestras de suelos, las cuales se enviaron al laboratorio (ensayos estándar de suelos y mineralogía de arcillas).

- Análisis de los registros de lluvias (datos del SENAMHI), para determinar las condiciones previas al huaico de 1983 y para ver si estas condiciones se repitieron en los años siguientes sin la generación de huaicos.

- Secciones topográficas y geodinámicas para evaluar la dinámica y volúmenes de los flujos de detritos utilizando el modelo Flo-2D.

- Entrevistas a los pobladores más antiguos con el fin de conocer dónde y cuándo se presentaron los huaicos incluyendo el lugar donde se generaron, las condiciones climáticas en ese momento e intensidades de los eventos.

- Se han realizado, además, con participación de la Municipalidad de Huarochiri, Centro de Prevención de Desastres - PREDES, INGEMMET y la comunidad organizada, actividades de información, difusión y capacitación de la población en el tema de los peligros geológicos y desastres (Fotos 3 y 4).

Foto 3 y 4: Trabajos de campo y Talleres con la comunidad organizada.

Los resultados de estos trabajos se detallan a continuación:

**Aspectos geológicos en la cuenca de la quebrada Paihua**

La cuenca de la quebrada Paihua puede ser dividida en tres sectores: abanico, cuenca baja y cuenca alta, teniendo en cuenta su morfología, basamento rocoso y depósitos superficiales.

El abanico proluvial de la quebrada Paihua:

El abanico de la quebrada Paihua tiene un área aproximada de 7,5 hectáreas y termina en un escarpe entre cinco a seis metros donde es truncado por el río Rímac (Ver mapa Geomorfológico). Este tiene una inclinación promedio de unos 8°. La quebrada Paihua ha excavado un profundo cañón, de unos 20 metros de ancho y ocho metros de profundidad (foto 5a), a través del abanico. Los afloramientos naturales a lo largo de los escarpes revelan que el abanico de la quebrada está compuesto por depósitos masivos de huaicos de tamaño de cantos rodados mezclados con sedimentos fluviales secundarios. Los huaicos prehistóricos cubrieron una gran área del abanico con profundidades entre dos a tres metros. La ausencia de suelos enterrados u otros indicadores de espacios de tiempo entre los eventos sugieren que el abanico es geológicamente activo y que sus materiales han sido formados en los últimos 10,000 años.

Los afloramientos a lo largo de los escarpes revelan que el abanico está compuesto por depósitos masivos de cantos rodados mezclados con sedimentos areno limosos. (Foto 5b). En la actualidad esta ocupado ampliamente por tierras de cultivo.

Foto 5a: Vista del cañón provocado por la erosión fluvial, de unos 20 metros de ancho y ocho metros de profundidad en el abanico de la quebrada Paihua.

Foto 5b: Vista del abanico aluvial de la quebrada Paihua, se observa los eventos históricos de huaicos; así como Matucana, Carretera Central, terrenos de cultivo y el estadio de Matucana a la derecha.

La Cuenca baja:

Se estrecha desde aproximadamente un Kilómetro aguas arriba de la población de Paihua hasta la cabeza del abanico proluvial de la quebrada. Las laderas presentan rocas expuestas fracturadas y depósitos coluvio/residuales (Ver mapa Litológico). En las áreas adyacentes al cañón, se distinguen remanentes erosionados de depósitos antiguos de huaicos y/o flujos, así como los complejos de huaicos actuales y depósitos de las caídas de roca, derrumbes, etc. Estos terrenos han sido modificados por los andenes usados en las actividades agrícolas y éstas son irrigadas por pequeños canales abiertos hasta una elevación de 3.500 msnm. Ver Fotos 6.

Foto 6: Vista de la cuenca baja de la quebrada Paihua; márgenes con acumulación de depósitos de huaicos y/o flujos antiguos, terraceados para la construcción de andenes para la agricultura. En la vista izquierda una zona de derrumbe al pie de la localidad de Paihua.

El basamento rocoso consiste en rocas volcánicas fracturadas. Las áreas continuas más activas de deslizamientos ocurren a lo largo de la extensión del

cañón adyacente al poblado de Paihua, cerca de 2,2 Kilómetros al Norte y a 1.000 metros por encima de la población de Matucana. Esto es lo que se describe como el "Complejo de Deslizamientos de Paihua".

Aproximadamente 16 hectáreas de deslizamientos de rocas y detritos, y de abanicos de caídas de rocas, derrumbes y deslizamientos, que incluyen antiguos huaicos y partes de abanicos activos de huaicos, limitan aproximadamente un kilómetro del canal de la quebrada Paihua. Esta extensión es la mayor contribuyente de sedimento grueso y fino al canal de la quebrada en la microcuenca. Estos deslizamientos localmente bloquearon a la quebrada en el pasado y tienen el potencial de crear una gran inundación si el taponamiento por un deslizamiento es ancho y lo suficientemente rápido para embalsar la quebrada y formar un lago temporal.

Además, tres barrancos que se están expandiendo rápidamente, dentro de un abanico de detritos y huaicos, encima de la población de Paihua, produjeron los huaicos en 1983. Los huaicos de la quebrada Munaico (Foto 7 y 8), el mayor de estas quebradas activas o cárcavas, fue la última fuente del huaico de 1983, de acuerdo con las investigaciones realizadas que concuerdan con la versión de los residentes de Paihua.

Fotos 7 y 8: Sistema de quebradas activas, quebrada Munaico, su reactivación provocó huaico de marzo de 1983.

La última causa de la inestabilidad de las laderas a lo largo del cañón de aproximadamente 70 m de profundidad de la quebrada Paihua, es la reactivación progresiva de partes del complejo de deslizamientos, inmediatamente al Este de la población de Paihua. Esta reactivación comenzó en algún momento después de 1955 (según la comparación de fotos aéreas entre 1955 y 1983). Una aparente zona de desgarre de este deslizamiento es de aproximadamente 20 metros de

ancho y es visible a lo largo del sendero que conecta a la población de Paihua con la población de San Juan de Allauca.

Cuenca superior

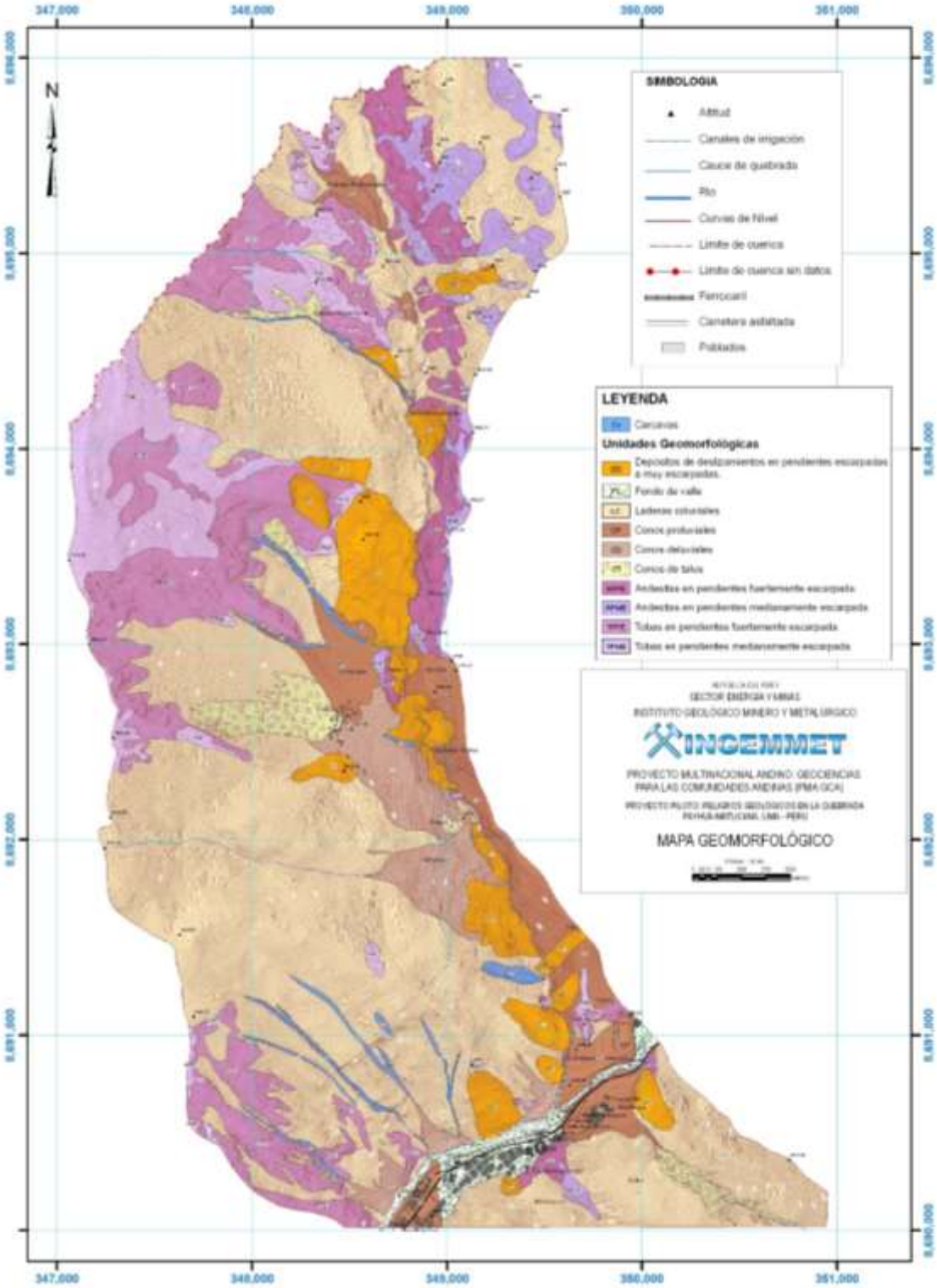
En el costado oriental la una vertiente superior es escarpada, cerro compuesto por rocas de andesitas (Ver Foto 9, Mapa Litológico). Los andenes agrícolas se extienden hasta las crestas de las colinas a lo largo del costado oriental de la cuenca. Evidencias arqueológicas, e informaciones históricas, muestran que estas terrazas existieron antes de la llegada de los españoles, e incluso, pre-Inca (aprox. 1.200 a 1.400 D.C.). La conservación de estos andenes a través de las laderas escarpadas de los tributarios, muestran que éstas han sido estables durante los últimos 600 a 800 años.

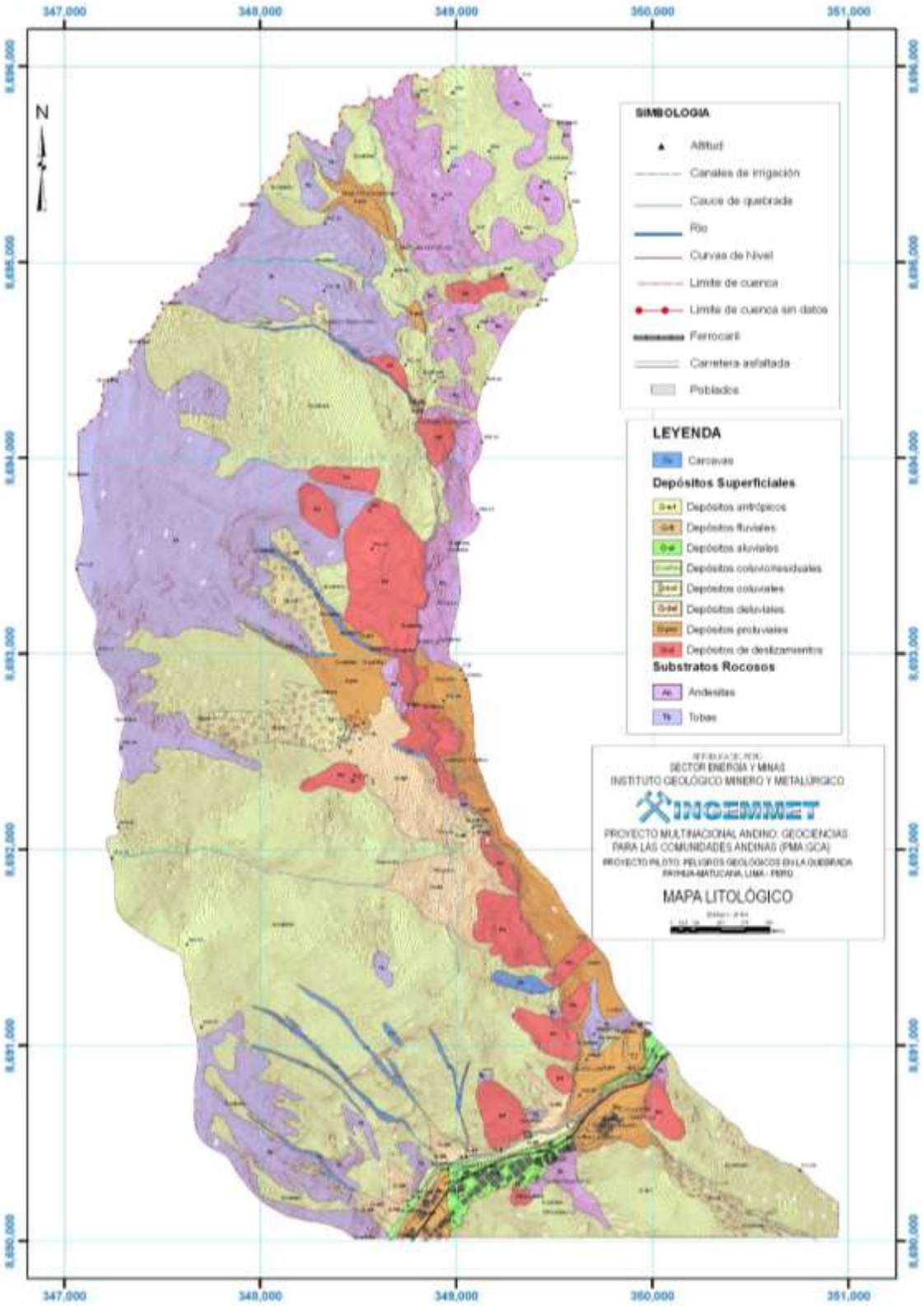
Foto 9: Vista de un sector de la cuenca superior de la quebrada Paihua; terrenos escarpados

Los deslizamientos en la parte superior de la cuenca están confinados a caída de rocas, derrumbes y deslizamiento en roca donde los escarpes de andesitas han fallado a lo largo de los planos de fracturas o límites de los huaicos. Estos pudieron ser datados entre 600 a 800 años, donde han removido los andenes pre-hispánicas, quizás detonados por sísmos.

La parte superior de la cuenca es cortada por cinco tributarios entre Mancho, Shallapuquio y la cabecera. Los depósitos en abanico de estas series de tributarios y vertientes adyacentes han sido modificados para generar andenes para la agricultura (Ver Fotos 10 y 11). Los barrancos de estos tributarios son la principal fuente de sedimentos para los flujos de detritos en la cuenca alta y, al menos uno de ellos, fue la fuente de los materiales del flujo de detritos de 1959, de acuerdo con las investigaciones e información de los residentes de la población de Paihua.

Fotos 10 y 11: Dos vistas de depósitos de huaico en la cuenca superior de la quebrada Paihua. Es probable que de esta zona se originó el huaico de 1959 (Sector de Moya).


347,000
348,000
349,000
350,000
351,000
N
SIMBOLOGIA
Altitud
Canales de irrigación
Cauce de quebrada
Río
Curvas de Nivel
Límite de cuenca
Límite de cuenca sin datos
Ferrocarril
Carretera asfaltada
Poblados
LEYENDA
Carcavas
Unidades Geomorfológicas
Depósitos de deslizamientos en pendientes escarpadas a muy escarpadas.
Fondo de valle
Laderas colluviales
Conos aluviales
Conos deluviales
Conos de talus
Andesitas en pendientes fuertemente escarpada
Andesitas en pendientes medianamente escarpada
Tobas en pendientes fuertemente escarpada
Tobas en pendientes medianamente escarpada
SECTOR ENERGIA Y MINAS
INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO
INGEMMET
PROYECTO MULTINACIONAL ANDINO: GEOCIENCIAS PARA LAS COMUNIDADES ANDINAS (PMAGCA)
MAPA GEOMORFOLÓGICO


347,000
348,000
349,000
350,000
351,000
8,696,000
8,695,000
8,694,000
8,693,000
8,692,000
8,691,000
8,690,000
N
SIMBOLOGIA
Altitud
Canales de irrigación
Cauce de quebrada
Río
Curvas de Nivel
Limite de cuenca
Limite de cuenca sin datos
Ferrocarril
Carretera asfaltada
Poblados
LEYENDA
Canavas
Depósitos Superficiales
Depósitos antrópicos
Depósitos fluviales
Depósitos aluviales
Depósitos coluvioresiduales
Depósitos coluviales
Depósitos deluviales
Depósitos proluviales
Depósitos de deslizamientos
Substratos Rocosos
Andesitas
Tobas
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO
INGEMMET
PROYECTO MULTINACIONAL ANDINO: GEOCIENCIAS PARA LAS COMUNIDADES ANDINAS (PMA:GCA)
MAPA LITOLÓGICO

## PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA

En la Quebrada Paihua se han reconocido importantes peligros geológicos tipificados como movimientos en masa: huaicos, deslizamientos, derrumbes, caídas de rocas; así como también erosión de laderas; los que por una parte afecta los terrenos de cultivo y por otra parte aportan gran cantidad de material detrítico al cauce de la quebrada, lo que condiciona la ocurrencia de desastres.

En los trabajos de campo se han cartografiado un total de 32 deslizamientos activos e inactivos, de los cuales uno de ellos es el más importante es por ello que se le ha denominado "Deslizamiento Paihua", cuyas características se describe a continuación:

### El deslizamiento de Paihua

El análisis de fotografías aéreas de los años 1951, 1955, 1962 y 1983, así como de una imagen Quickbird (2004), permitió identificar áreas de deslizamientos activos e inactivos (Ver mapa de Movimientos en masa y Mapa de Actividad de los Movimientos en Masa). Los deslizamientos fueron clasificados como activos si se encontró algún rasgo de desgarre en el terreno o si se encontraron daños en las terrazas agrícolas (andenes) entre las secuencias sucesivas de las fotos aéreas.

Las áreas con deslizamientos activos, para cada serie de fotografías aéreas, fueron delineadas y determinadas sus superficies. Estos resultados se asociaron con los relatos de los testigos presénciales de los huaicos ocurridos en la cuenca, con el fin de reconstruir los cambios en la actividad de los deslizamientos y documentar cuándo y dónde ocurrieron estos.

El área total de deslizamientos activos e inactivos en la cuenca de la quebrada Paihua ha permanecido aproximadamente constante en cerca de 890 hectáreas, mientras que el incremento más dramático en las áreas de deslizamientos se dio en la reactivación de una parte del "Complejo de deslizamientos de Paihua" (Foto 12). Los deslizamientos activos pasaron de ser menores de 0,4 hectáreas en 1955 a 5,8 hectáreas en 2004. Evidencias de campo indican que otras 4,6 hectáreas podrían ser removidas según la inclinación y caída de árboles y/o desplazamientos en los canales de irrigación.

Foto 12: Vista de la zona de deslizamiento activo cerca de la localidad de Paihua. Apréciese las escarpas y saltos de terreno.

Ignorando a esta zona cuestionable, el área de deslizamiento activo dentro del complejo de deslizamientos de Paihua, se ha incrementado en un factor de 15 aproximadamente desde 1955. Los deslizamientos activos ubicados inmediatamente aguas abajo de este complejo, en la misma margen derecha del cañón (occidental), también se han incrementado dramáticamente.

Las evidencias de campo muestran que los movimientos en el pie del complejo de deslizamientos de Paihua bloquearon el canal de la quebrada Paihua, en épocas recientes, con un espesor de aproximadamente de 4 m. Sin embargo no hay evidencia que relacione directamente este represamiento con los huaicos de 1959 ó 1983.

**Los huaicos en la quebrada Paihua**

El clima a la altura de Matucana es templado y seco: la temperatura máxima en el día varía desde los 27° C durante el verano (mediados de diciembre a marzo) a los 19°C durante el invierno (mediados de junio a septiembre), con una temperatura media anual de 15.3°C. La temperatura decrece progresivamente con la altitud: las temperaturas por debajo del punto de congelamiento se presentan cada noche en las elevaciones superiores a los 4.300 m.s.n.m. y estacionalmente hasta los 3.700 metros. El promedio de precipitación anual total es de 239 mm en Matucana. Cerca del 70% de esta precipitación cae entre enero y marzo y prácticamente no llueve entre mayo y septiembre. Sin embargo, los patrones de

lluvia son desorganizados por los eventos climáticos de El Niño. Durante estos eventos la humedad del aire del Océano Pacífico se mueve hacia el Este dentro de los Andes Occidentales trayendo lluvias fuertes que comúnmente disparan la actividad de los deslizamientos incluyendo a los Huaicos.
Estos eventos han ocurrido durante unos tres a siete años a lo largo de los últimos 50 años: 1957-58, 1965-66, 1972-73, 1976-77, 1982-83, 1986-87, 1991-93, 1997-98 (Fig. 4). Los huaicos destructivos ocurren en la cuenca predominantemente en los años de El Niño. El evento de 1959 ocurrió al año siguiente de El Niño de 1957-58.

Las descargas de la quebrada Paihua y el río Rímac varían enormemente con la intensidad de la lluvia. La mayoría del flujo de la quebrada Paihua es desviado a los canales de irrigación abasteciendo a los andenes de los alrededores de Paihua y San Juan de Allauca durante los períodos secos. Muy poca agua llega al río Rímac, desde la quebrada Paihua, durante los meses secos.
El drenaje continuo al río Rímac solo ocurre durante los meses lluviosos de enero a abril.

Los valores de retorno de 20, 50 y 100 años fueron calculados y computados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) a través de análisis de la información sobre precipitación total en 24 horas de 18 estaciones climáticas de la región. Los valores analizados y las descargas pico son presentados en la Tabla 1.

**Tabla 1**

Descargas pico estimadas para la Quebrada Paihua según las intensidades de la precipitación en 24 horas

| **Período de retorno (años)** | **20** | **50** | **100** |
|---|---|---|---|
| **Precipitación en 24 horas (mm)** | 38.2 | 47.5 | 50.3 |
| **Descarga ($m^3/s$)** | 3.2 | 7.1 | 8.4 |

Del análisis de datos de la estación hidrológica de San Mateo (15 Km aguas arriba de Matucana), la descarga mensual promedio del río Rímac varía entre 20 a 27 $m^3$/segundo durante los meses lluviosos (febrero y marzo) cuando los huaicos pueden presentarse y taponar al río Rímac. (JICA, 1988)

El evento destructivo de 1959 fue antes de la instalación de una estación climática en Matucana en 1964. La información de las condiciones anteriores se logró solamente con la descripción de los testigos. No hubo lluvias en el día del

evento en 1959, pero había llovido en la parte alta de la cuenca de la quebrada Paihua. Un antiguo residente de la población de Paihua manifestó que el huaico de 1959 inició en la parte alta de la cuenca y no en los alrededores de la población de Paihua. No hubo observaciones directas de la intensidad de la lluvia en esa parte de la cuenca antes de la ocurrencia del flujo. El Huaico destruyó la estructura de toma de agua para la irrigación a lo largo de 1 Km. en la quebrada Paihua, aguas arriba del complejo de deslizamientos de Paihua.

El estudio de las fotos aéreas de 1962 no mostró evidencia alguna de que los deslizamientos o huaicos en la cuenca baja, incluyendo las quebradas de Munaico, situadas en la margen derecha de la quebrada y aguas arriba de Paihua, hayan contribuido al huaico de 1959. Esto es consistente con las descripciones orales acerca del inicio de los huaicos en la cuenca superior.

Los registros climáticos para las 24 horas del 3 de marzo de 1983 muestran que solamente cayó una ligera lluvia en Matucana (Fig. 6). Los datos de más de un mes antes y después de este evento indican sólo una lluvia excepcional el 22 de febrero.

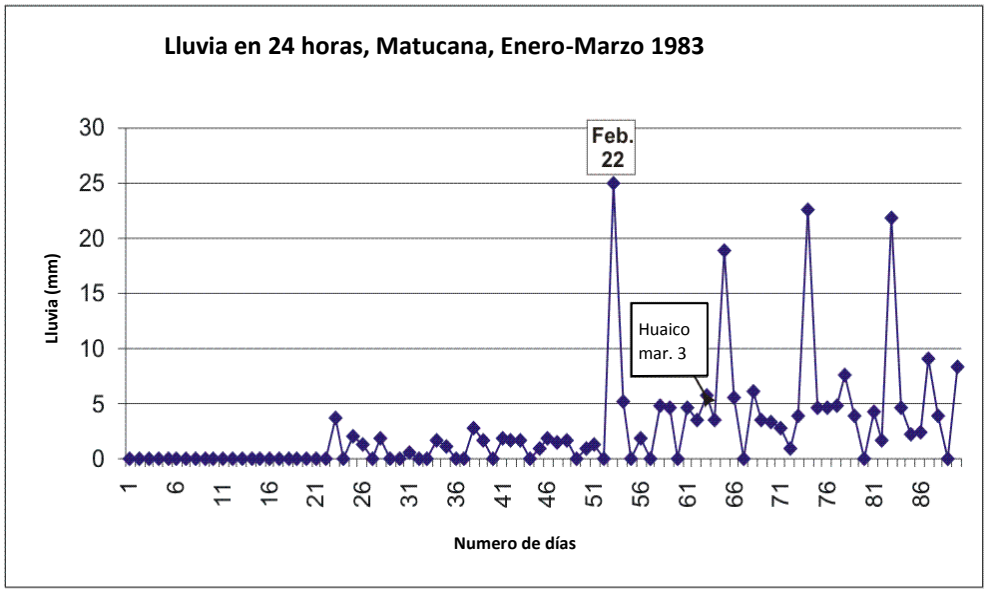



Figura 3: Precipitación total diaria en Matucana entre el 1 de enero al 31 de marzo de 1983 (1 de enero es día 1). La precipitación acumulada al día del huaico (día 64) fue de 58,7 mm caídos en los 12 días anteriores, incluyendo el 22 de febrero, uno de los días más lluviosos jamás registrado en Matucana. Ningún otro flujo de detritos ocurrió ese año a pesar de una precipitación adicional de 154,7 mm caídos en los 30 días siguientes.

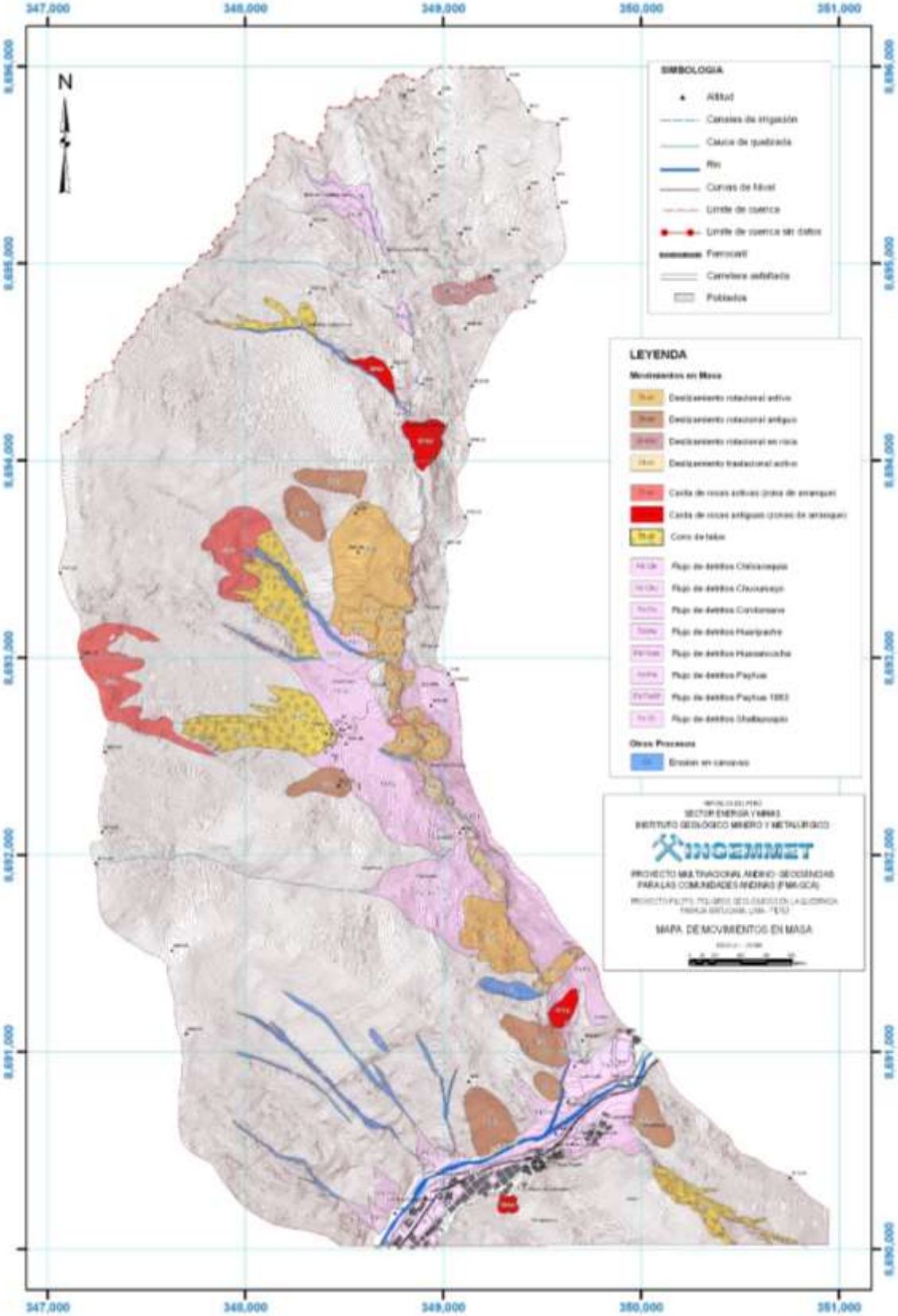
Sólo tres precipitaciones totales en 24 horas, durante el período registrado, excedieron la precipitación del 22 de febrero de 1983 (la mayor de 30 mm). Ningún huaico fue asociado con alguno de estos eventos en el área de

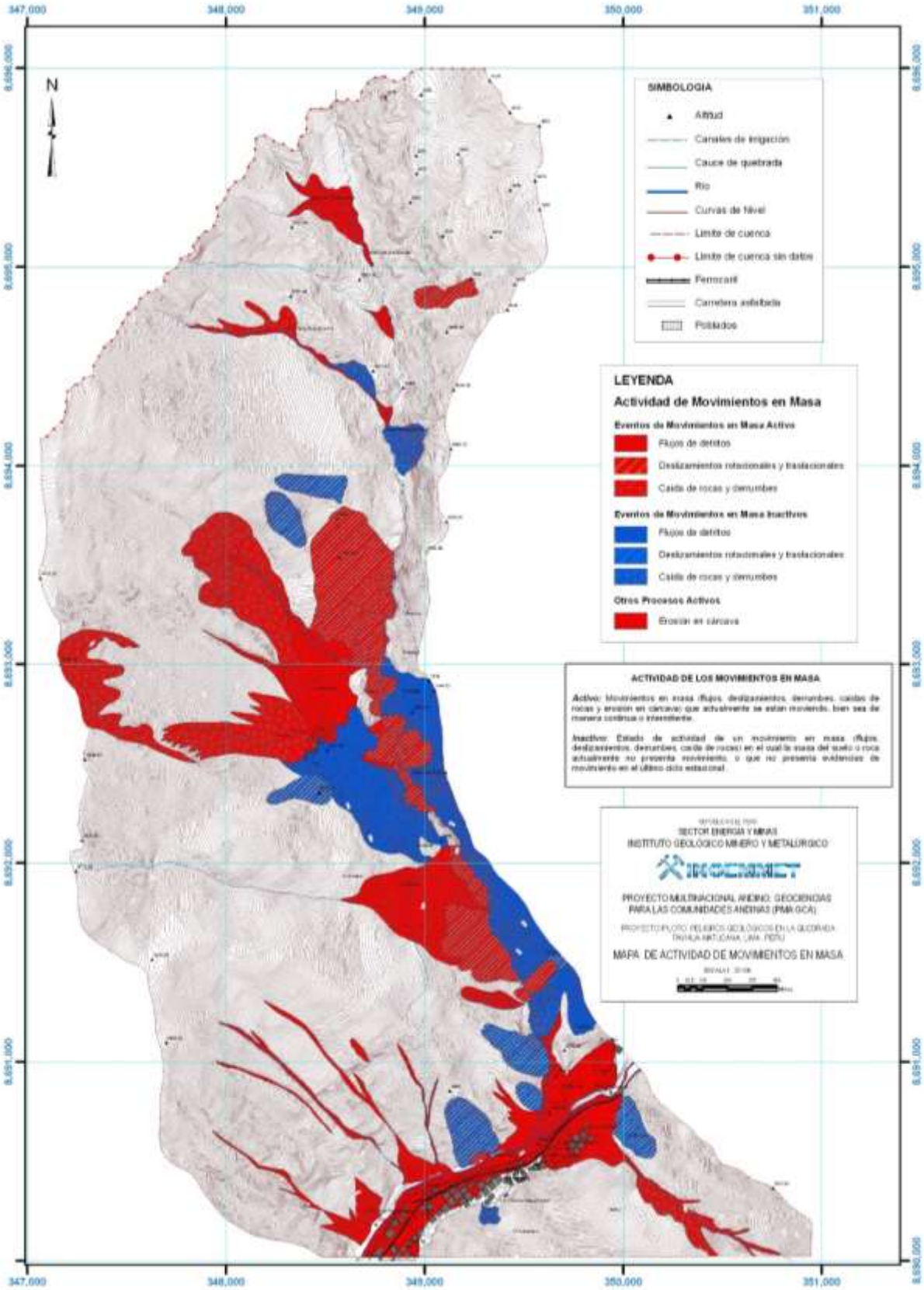
Matucana. Los testigos indican que los Huaicos en el canal principal fueron generados por un huaico en las quebradas Munaico el cual entró al cauce e incorporó, el agua de un reservorio pequeño para la irrigación. Los sedimentos de estos huaicos son muy visibles en la cobertura de las fotos aéreas de 1983 junto con los depósitos frescos de las demás quebradas. Los huaicos de Munaico pudieron haber represado temporalmente la quebrada Paihua o saturado el canal de sedimentos incluyendo el pie del complejo de deslizamientos de Paihua, el cual estuvo activo durante 1983.

El origen de los Huaicos de 1983 en la quebrada Munaico y no en la parte superior de la cuenca, es consistente con el testimonio de un residente de la población de Paihua, quien recalcó que la entrada del canal de irrigación (aguas arriba de la confluencia de la quebrada Munaico) no fue dañada en 1983, pero fue reubicada después del evento de 1959. Si el huaico hubiera atravesado a la entrada del canal de irrigación en 1983, éste hubiera sido destruido. Esta estructura es vital para la agricultura de las poblaciones de Paihua y San Juan de Allauca y su destrucción habría sido notada si esto hubiera ocurrido. El huaico de 1983 fue seguido por tres precipitaciones significativas espaciadas en intervalos de aproximadamente 1 semana (Figura 3). Sin embargo, no se reportó ningún huaico en Matucana.

Se sabe que ningún huaico ha ocurrido en la cuenca de la quebrada Paihua durante El Niño de 1997 – 1998. Los huaicos ocurrieron el 13 de abril de 1998 en las cuencas de las Quebradas Viso y Chucumayo, pero ninguno en la cuenca de la quebrada Paihua. El huaico de la quebrada Viso destruyó a la población de Tambo de Viso e importantes tramos de la Carretera Central y el Ferrocarril Central. No se reportó ninguna precipitación fuerte correlacionable con la estación de Matucana. Sin embargo, las fotografías de la quebrada Viso tomadas inmediatamente después del huaico, se muestra como un torrente lodoso, indicativo de una precipitación significativa en la divisoria de aguas.

La deficiencia en la correlación entre las precipitaciones en Matucana y los eventos de los huaicos durante la estación lluviosa sugieren que los registros en Matucana no reflejan los eventos de precipitación que disparan los huaicos dentro de las tierras altas que la rodean. Tentativamente, concluimos que los flujos de detritos en las cuencas de la quebrada Paihua y adyacentes, son detonados por lluvias intensas locales que son controladas por la orografía local más que por las lluvias regionales de larga duración que son documentadas en los registros de precipitaciones de 24 horas de Matucana.


347,000
348,000
349,000
350,000
351,000
8,696,000
8,695,000
8,694,000
8,693,000
8,692,000
8,691,000
8,690,000
N
SIMBOLOGIA
Altitud
Canales de irrigación
Cauce de quebrada
Río
Curvas de Nivel
Límite de cuenca
Límite de cuenca sin datos
Ferrocarril
Carretera asfaltada
Poblados
LEYENDA
Movimientos en Masa
Deslizamiento rotacional activo
Deslizamiento rotacional antiguo
Deslizamiento rotacional en roca
Deslizamiento traslacional activo
Caída de rocas activas (zona de arranque)
Caída de rocas antiguas (zonas de arranque)
Cono de talus
Flujo de detritos Chiscaceguia
Flujo de detritos Chucuruayo
Flujo de detritos Condoreane
Flujo de detritos Huaripache
Flujo de detritos Huasancocha
Flujo de detritos Paytuas
Flujo de detritos Paytuas 1993
Flujo de detritos Shallapuquio
Otros Procesos
Erosión en cárcavas
SECTOR ENERGIA Y MINAS
INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO
INGEMMET
PROYECTO MULTINACIONAL ANDINO: GEOCIENCIAS PARA LAS COMUNIDADES ANDINAS (PMA-GCA)
MAPA DE MOVIMIENTOS EN MASA


347,000
348,000
349,000
350,000
351,000
8,696,000
8,695,000
8,694,000
8,693,000
8,692,000
8,691,000
8,690,000
N
SIMBOLOGIA
Altitud
Canales de irrigación
Cauce de quebrada
Rio
Curvas de Nivel
Limite de cuenca
Limite de cuenca sin datos
Ferrocarril
Carretera asfaltada
Poblados
LEYENDA
Actividad de Movimientos en Masa
Eventos de Movimientos en Masa Activos
Flujos de detritos
Deslizamientos rotacionales y traslacionales
Caida de rocas y derrumbes
Eventos de Movimientos en Masa Inactivos
Flujos de detritos
Deslizamientos rotacionales y traslacionales
Caida de rocas y derrumbes
Otros Procesos Activos
Erosión en cárcava
ACTIVIDAD DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA
Activo: Movimientos en masa (flujos, deslizamientos, derrumbes, caidas de rocas y erosión en cárcava) que actualmente se estan moviendo, bien sea de manera continua o intermitente.
Inactivo: Estado de actividad de un movimiento en masa (flujos, deslizamientos, derrumbes, caida de rocas) en el cual la masa del suelo o roca actualmente no presenta movimiento, o que no presenta evidencias de movimiento en el último ciclo estacional.
SECTOR ENERGIA Y MINAS
INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALURGICO
INGEMMET
PROYECTO MULTINACIONAL ANDINO: GEOCIENCIAS PARA LAS COMUNIDADES ANDINAS (PMA-GCA)
MAPA DE ACTIVIDAD DE MOVIMIENTOS EN MASA

## ¿PUDIERA OCURRIR UN DESASTRE POR HUAICOS EN MATUCANA?

Por lo general, los huaicos comienzan en laderas de montañas de terreno árido o seco, salvo en épocas de lluvias. Las excavaciones para construir carreteras y otras estructuras pueden aumentar la probabilidad de que ocurran huaicos, aún en laderas de leve inclinación. Aunque los huaicos se originan normalmente en laderas empinadas, luego que un huaico comienza a moverse puede viajar largas distancias por laderas de leve inclinación. Áreas aguas abajo como los cauces de los ríos y quebradas, el fondo de los cañones y los abanicos aluviales (conos de deyección) son particularmente vulnerables durante eventos de lluvias fuertes y prolongadas (fenómeno El Niño). Los huaicos tienen un potencial de pérdida extrema de de vidas y daños a la propiedad en sus respectivos abanicos aluviales y áreas aledañas (Matucana).

### Volumen estimado en el huaico de 1983

Los depósitos del huaico de 1983 son evidentes al observar las fotos aéreas (tomadas tres meses después del evento). Los depósitos del huaico aparecen sobre el abanico de la quebrada Paihua y también sobre el abanico parcialmente ocupado por la población de Paihua, aguas abajo de las cárcavas de la margen derecha. El espesor de estos depósitos es de alrededor de 1,5 m sobre el abanico de la quebrada y cerca de 1 m sobre el abanico de la población de Paihua. La extensión de los depósitos en la llanura aluvial del río Rímac, aguas abajo del abanico de la quebrada Paihua, no es evidente en las fotografías, y si lo fuera, el espesor del depósito podría sólo ser imaginado, pues la llanura aluvial fue extensamente modificada después de 1983 cuando se construyó el terraplén para elevar la Carretera Central. Los resultados de las investigaciones realizadas nos da un volumen estimado del huaico de 117.000 $m^3$. Se sabe que el flujo de 1983 se ha originado en la cárcava Munaico. Las cárcavas aguas arriba también produjeron flujos de detritos, pero estos fueron totalmente contenidos en los abanicos adyacentes a la población de Paihua.

### Volúmenes estimados para los huaicos de la quebrada Paihua

Los volúmenes de los huaicos producidos por las cárcavas de la margen derecha representan el volumen de los sedimentos de los huaicos que serían introducidos dentro del cauce principal de la quebrada Paihua. Los volúmenes estimados de material se presentan en la Tabla 2:

**Tabla 2**

Tasa de producción de sedimentos de las quebradas Munaico

| | | |
|---|---|---|
| **Tasa de producción ($m^3/km^2$)** | 106 000 | 39 000 |
| **Volumen ($m^3$)** | 248 040 | 91 260 |

Un volumen adicional no calculado será aumentado a estas cifras a través de la movilización de los materiales del caucel y de los deslizamientos. Un reconocimiento de la extensión accesible del cauce de la quebrada entre la cabecera del abanico de la quebrada y del área de la población de Paihua, fue llevado a cabo con el fin de determinar el volumen almacenado en el canal y que pudo ser movilizado por un huaico.

**Volúmenes simulados con el modelo Flo-2D**

Una segunda estimación de la descarga de los huaicos de la cuenca de la quebrada Paihua, fue realizada usando el modelo Flo-2D® (Flo-2D Software Inc.). Un modelo de elevación digital – MED (ver Figura) preparado para este propósito fue empleado como parte del modelo. El producto del modelo, asume los valores de precipitación de 24 horas, para un período de retorno de 100, 50 y 20 años, como los eventos detonadores. En la Tabla 3 se presentan los volúmenes simulados por el Flo-2D.

**Tabla 3**

Volúmenes simulados por Flo-2D para la quebrada Paihua

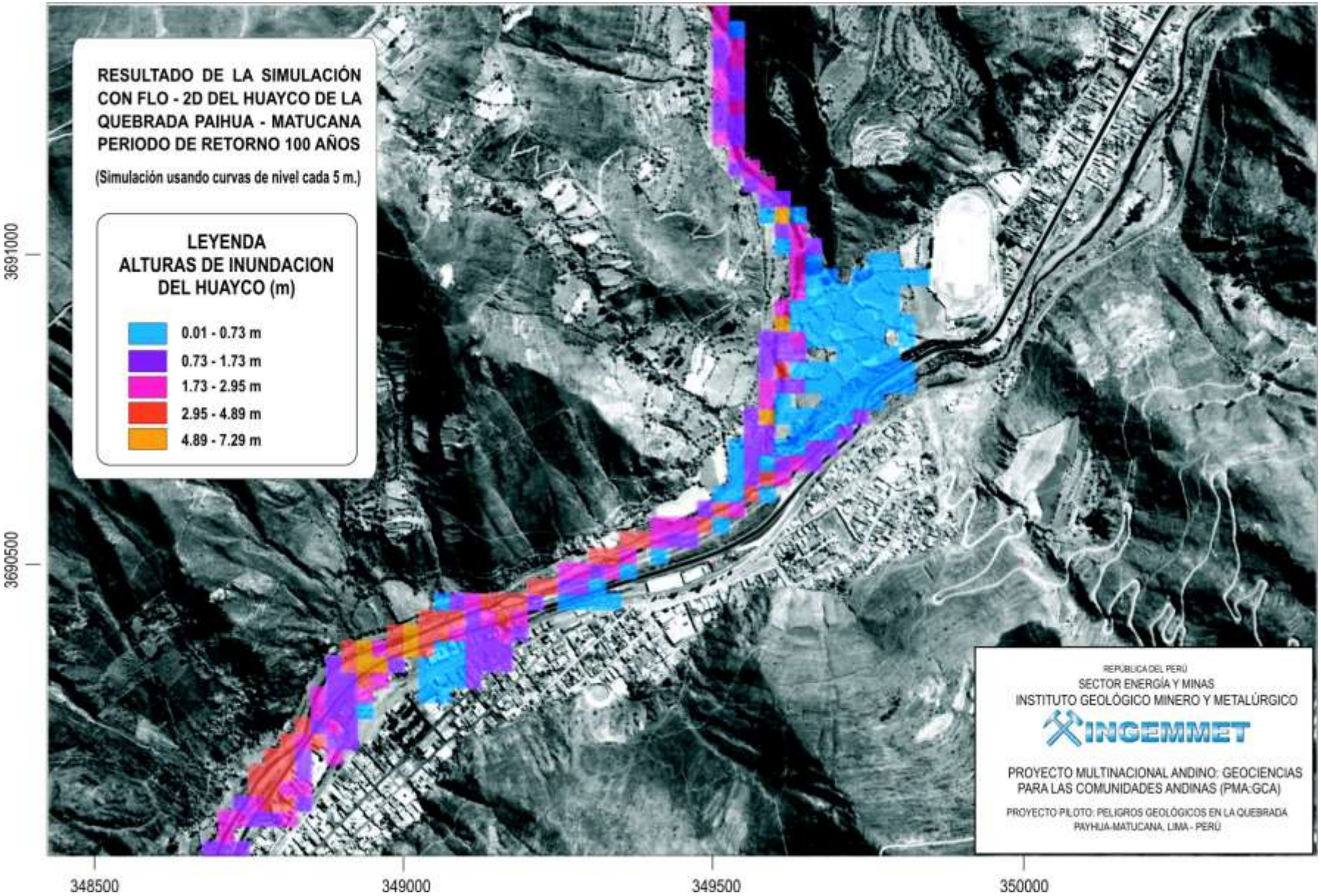
| | | | |
|---|---|---|---|
| **Precipitación máxima en 24 horas (mm)** | 50, 3 | 47,5 | 38,2 |
| **Periodo de retorno (años)** | 100 | 50 | 20 |
| **Total ($m^3$)** | 263 458 | 214 015 | 74 202 |

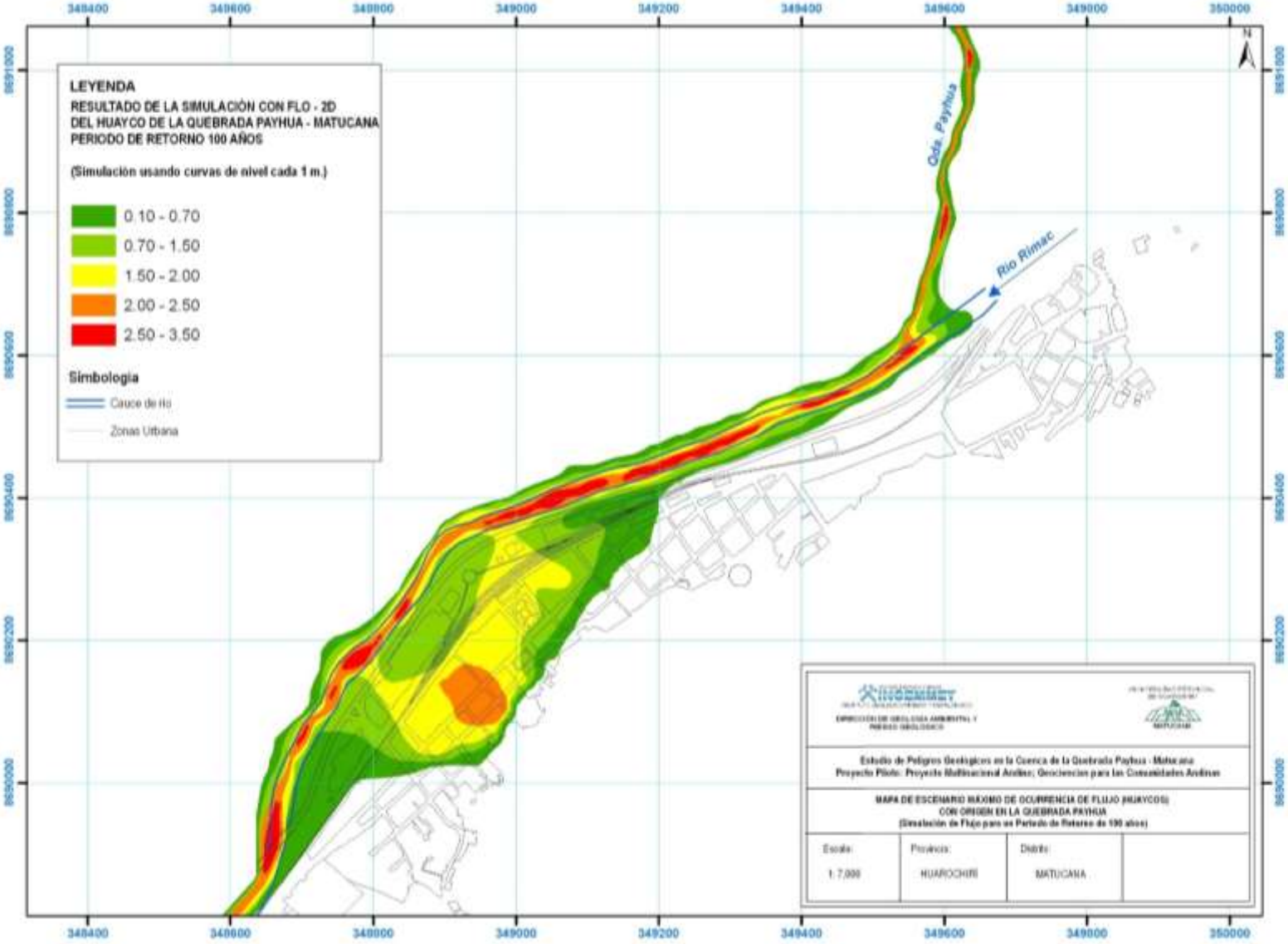
Consideramos el volumen de 248 040 $m^3$ como el límite superior estimado para los volúmenes extremos de los huaicos descargados de las cárcavas de la parte alta en la cuenca de la quebrada Paihua. El modelo Flo-2D utiliza para el cálculo intensidades de lluvia, los sedimentos o materiales del cauce principal, así como el modelo de elevación digital específico, para la cuenca. Cualquiera de los dos valores de descarga sería considerado como un valor extremo que exceden a los huaicos de 1959 y 1983. Un evento en el rango de los 250 000 $m^3$ cubriría completamente el abanico de la quebrada Paihua con espesores de hasta 7.0 m.

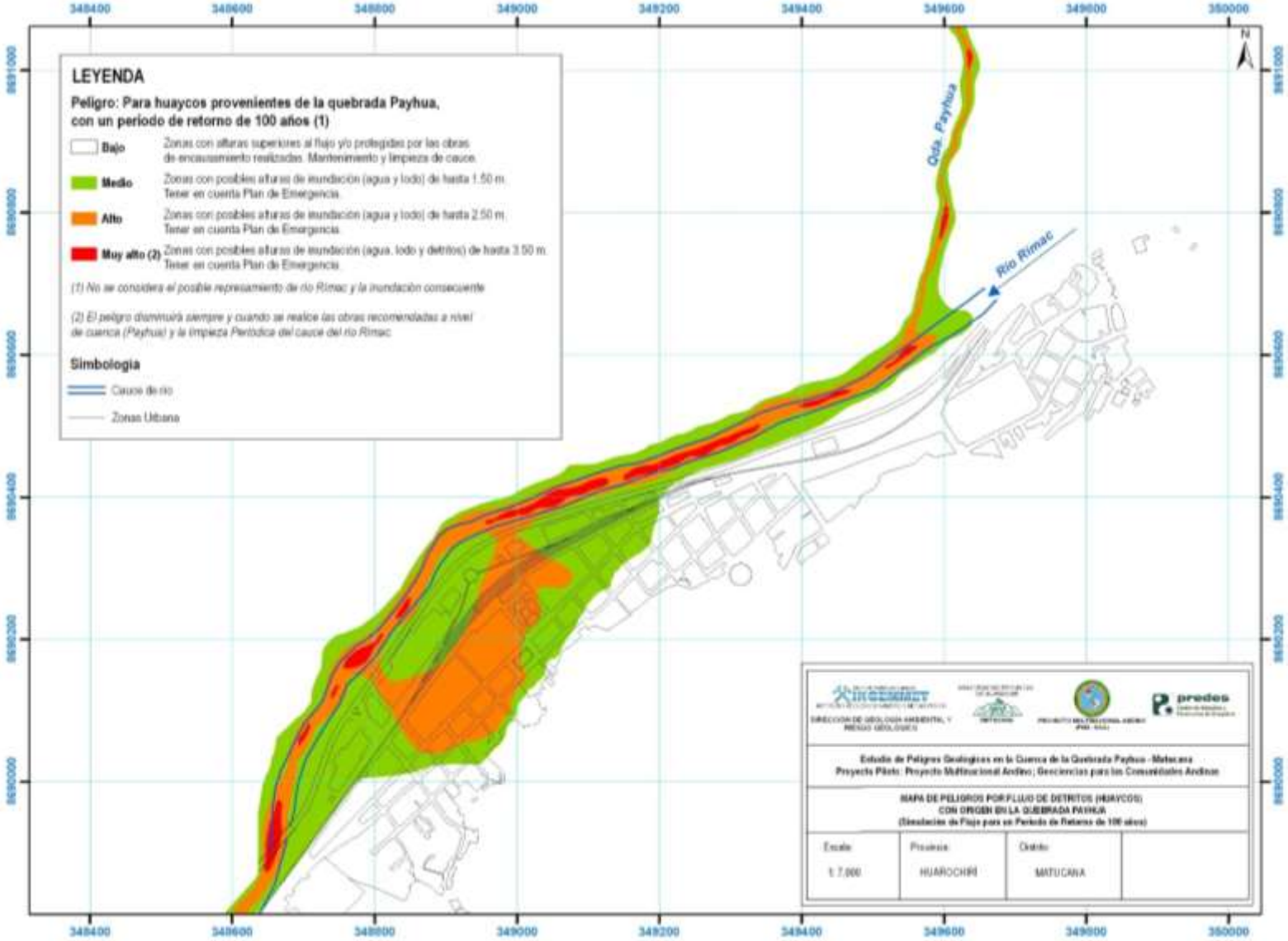
En realidad, la mayoría del flujo viajaría más allá del abanico, taponaría el río Rímac y cubriría llanura de inundación adyacente incluyendo sectores de Matucana. Ver Figura.

La posibilidad de que ocurra un evento de magnitud similar existe en otras partes del mundo, donde el desarrollo extensivo ha invadido los abanicos aluviales. Si no se planifican cuidadosamente las comunidades, los impactos de estos tipos de desastres tienen gran posibilidad de aumentar en el futuro. Establecer comunidades y otro tipo de infraestructura en abanicos aluviales ha convertido procesos hidrológicos naturales de gran intensidad en eventos letales de gran magnitud.

El Secretario General de las Naciones Unidos, Kofi Annan, "*El término 'desastre natural' es cada vez menos apropiado. En realidad, el comportamiento humano transforma los peligros naturales en lo que debería llamarse desastre no-natural".*


RESULTADO DE LA SIMULACIÓN CON FLO - 2D DEL HUAYCO DE LA QUEBRADA PAIHUA - MATUCANA PERIODO DE RETORNO 100 AÑOS
(Simulación usando curvas de nivel cada 5 m.)
LEYENDA
ALTURAS DE INUNDACION DEL HUAYCO (m)
0.01 - 0.73 m
0.73 - 1.73 m
1.73 - 2.95 m
2.95 - 4.89 m
4.89 - 7.29 m
3691000
3690500
348500
349000
349500
350000
REPÚBLICA DEL PERÚ
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO
INGEMMET
PROYECTO MULTINACIONAL ANDINO: GEOCIENCIAS PARA LAS COMUNIDADES ANDINAS (PMA:GCA)
PROYECTO PILOTO: PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA QUEBRADA PAYHUA-MATUCANA, LIMA - PERÚ


LEYENDA
RESULTADO DE LA SIMULACIÓN CON FLO - 2D
DEL HUAYCO DE LA QUEBRADA PAYHUA - MATUCANA
PERIODO DE RETORNO 100 AÑOS
(Simulación usando curvas de nivel cada 1 m.)
0.10 - 0.70
0.70 - 1.50
1.50 - 2.00
2.00 - 2.50
2.50 - 3.50
Simbologia
Cauce de rio
Zonas Urbana
Qda. Payhua
Rio Rimac
N
348400
348600
348800
349000
349200
349400
349600
349800
350000
8591000
8590800
8590600
8590400
8590200
8590000
Estudio de Peligros Geológicos en la Cuenca de la Quebrada Payhua - Matucana
Proyecto Piloto: Proyecto Multinacional Andino; Geociencias para las Comunidades Andinas
MAPA DE ESCENARIO MAXIMO DE OCURRENCIA DE FLUJO (HUAYCOS)
CON ORIGEN EN LA QUEBRADA PAYHUA
(Simulación de Flujo para un Periodo de Retorno de 100 años)
Escala:
1: 7,000
Provincia:
HUAROCHIRI
Distrito:
MATUCANA


LEYENDA
Peligro: Para huaycos provenientes de la quebrada Payhua, con un periodo de retorno de 100 años (1)
Bajo
Zonas con alturas superiores al flujo y/o protegidas por las obras de encauzamiento realizadas. Mantenimiento y limpieza de cauce.
Medio
Zonas con posibles alturas de inundación (agua y lodo) de hasta 1.50 m. Tener en cuenta Plan de Emergencia.
Alto
Zonas con posibles alturas de inundación (agua y lodo) de hasta 2.50 m. Tener en cuenta Plan de Emergencia.
Muy alto (2)
Zonas con posibles alturas de inundación (agua, lodo y detritos) de hasta 3.50 m. Tener en cuenta Plan de Emergencia.
(1) No se considera el posible represamiento de río Rimac y la inundación consecuente
(2) El peligro disminuirá siempre y cuando se realice las obras recomendadas a nivel de cuenca (Payhua) y la limpieza Periódica del cauce del río Rimac
Simbologia
Cauce de río
Zonas Urbana
Qda. Payhua
Río Rimac
N
348400
348600
348800
349000
349200
349400
349600
349800
350000
8690000
8690200
8690400
8690600
8690800
8691000
predes
Estudio de Peligros Geológicos en la Cuenca de la Quebrada Payhua - Matucana
Proyecto Piloto: Proyecto Multinacional Andino; Geociencias para las Comunidades Andinas
MAPA DE PELIGROS POR FLUJO DE DETRITOS (HUAYCOS)
CON ORIGEN EN LA QUEBRADA PAYHUA
(Simulación de Flujo para un Periodo de Retorno de 100 años)
Escala
1: 7,000
Provincia
HUAROCHIRÍ
Distrito
MATUCANA

## SUSCEPTIBILIDAD A LOS PELIGROS

La susceptibilidad está definida como la posibilidad de que una zona sea afectada por un determinado proceso geológico (movimiento en masa), expresada en grados cualitativos y relativos. Los factores que controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos geodinámicos, pueden ser intrínsecos o externos. El elemento más efectivo de representación referente a la peligrosidad de una zona, región o cuenca, es el mapa de susceptibilidad. Su uso es adecuado para planificadores, ingenieros, científicos y técnicos, encargados en general de labores de prevención y gestión de desastres.

Existen diversas formas de elaborar mapas de susceptibilidad a los movimientos en masa, los más usados son los mapas de inventario, en la cual se reconocen las áreas donde ocurren o han ocurrido eventos, y que pueden volver a sufrirlos; los mapas de factores, en la que se identifican las áreas donde confluyen determinados factores que condicionan su ocurrencia en una determinada área, aunque éstos no hayan ocurrido, pudiendo suceder en un futuro. En el último caso, la metodología se basa en la preparación de mapas temáticos de factores condicionantes, y en la superposición de estos, estableciendo el grado de susceptibilidad en función del peso asignado a cada uno de los factores considerados. Los mapas se preparan con ayuda de Sistemas de Información Geográfica (SIG), estableciendo bases de datos asociadas que se interrelacionan.

Las limitaciones que presentan los mapas de susceptibilidad es que predicen las áreas donde pueden ocurrir movimientos en masa, pero no la fecha ni si este ocurra, ni la totalidad de estas; indican una posibilidad de ocurrencia en base al análisis de factores condicionantes; asimismo requieren de un conocimiento del área a evaluar; sus límites deberán interpretarse como una referencia y no como valores absolutos

### Método Empleado y Elección de Variables

En el presente trabajo, se utilizó el método basado en la categorización y ponderación de factores. Cada factor o variable corresponde a un mapa temático, que se combina con los otros, obteniendo una zonificación de la susceptibilidad en grados cualitativos.

Los factores o variables utilizados para el análisis de susceptibilidad a los movimientos en masa son los siguientes: Litología, Actividad de los Movimientos en

Masa, Pendiente, Uso del suelo y Elevación de los terrenos (Ver tabla N° 4), los cuales se han analizado individualmente su grado de susceptibilidad

TABLA 4

**PONDERACIÓN DE LAS VARIABLES EN EL ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA**

| VARIABLE | CARÁCTERÍSTICA | OBTENCIÓN | PESO |
|---|---|---|---|
| Litología | Se estima la inestabilidad de los terrenos en función a las características litológicas de las unidades diferenciadas (substrato rocoso y depósitos superficiales). | En base a la cartografía hecha en campo a escala 1:5,000 (Mapa Litológico). | 2.4 |
| Actividad de los Movimientos en Masa | Se caracteriza por el estado actual de los movimientos en masa: activo o inactivos. | En base inventario y mapa de movimientos en masa cartografiados en campo (Mapa de Actividad de los Movimientos en Masa) | 2.2 |
| Pendiente | Rangos de pendiente de los terrenos, expresado en grados (0° a 90°). | Modelo Digital de elevaciones, elaborado con SIG a partir de mapas topográficas a escala 1:5,000 con equidistancia de curvas cada 5 m (Mapa de Pendiente de los terrenos). | 1.5 |
| Uso de suelo y Cobertura Vegetal | Diferentes tipos de vegetación natural y cultivos. Se estima en forma cualitativa de acuerdo a la presencia o ausencia de cobertura vegetal. Se incluyen las áreas urbanas. | A partir de las observaciones hechas en campo e interpretación de Imagen satelital Quickbird a escala 1: 10,000 (Mapa Uso de sueloo). | 1.0 |
| Elevación de de los terrenos | Rangos de elevación de los terrenos dividida en 05 rangos con diferencia de altura de 500 m (2380 a 4500 msnm). | Elaborado con SIG a partir de mapas topográficas a escala 1:5,000 con equidistancia de curvas cada 5 m (Mapa de Elevación de los terrenos). | 0.85 |

**Categorías de Susceptibilidad en el Área de Estudio**

ALTA SUSCEPTIBILIDAD: Con el 10 % del área de la cuenca

Generalmente ocupan laderas con pendientes escarpadas a muy escarpadas (mayor a 27°). Fueron localizadas principalmente en depósitos de deslizamientos activos, como se observa en el deslizamiento Paihua. Son áreas poco estables y muy susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa como deslizamientos, derrumbes, desprendimientos de roca, flujos; así como a procesos de erosión de laderas.

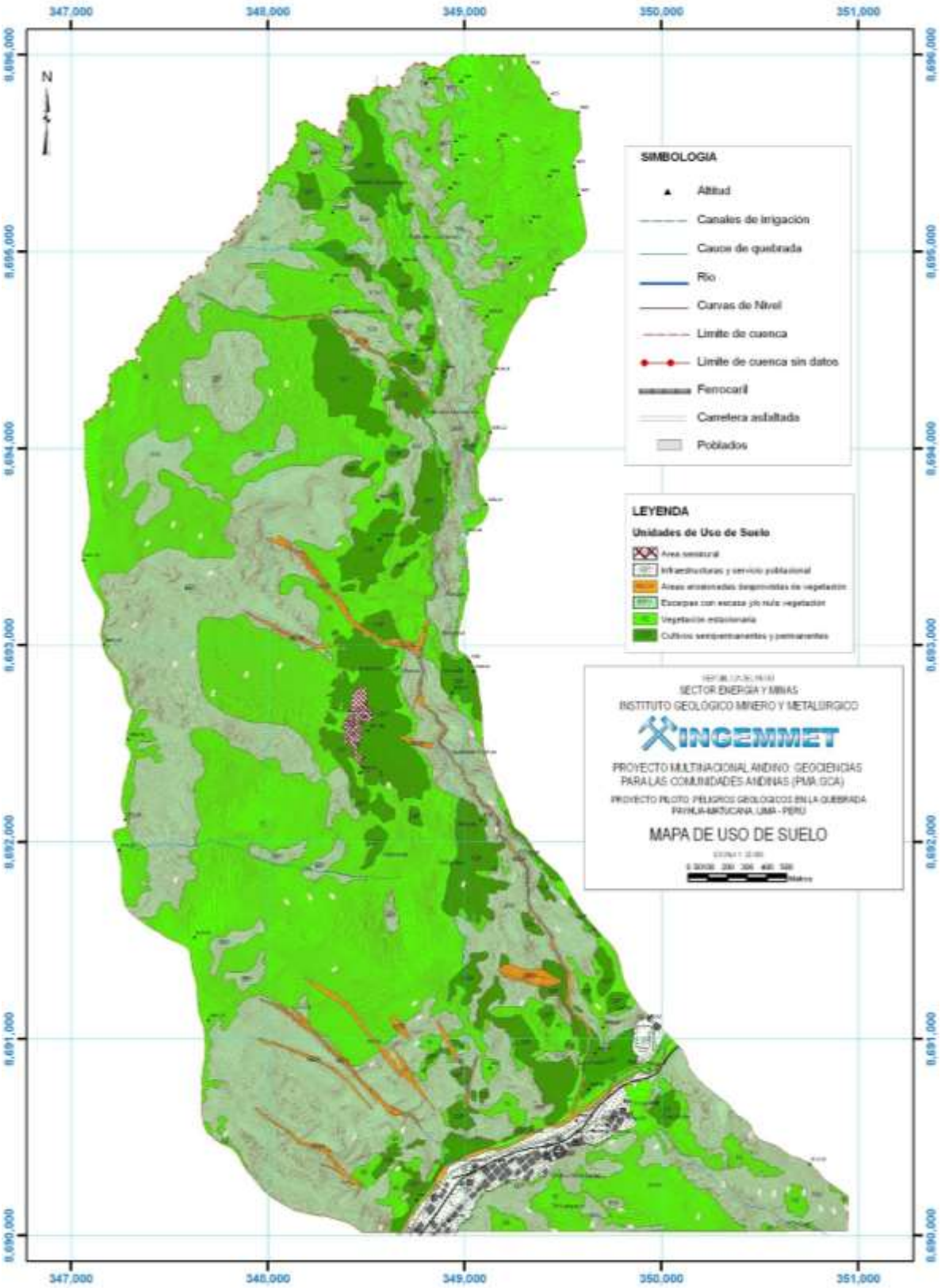
MODERADA SUSCEPTIBILIDAD: 72% del área de la cuenca

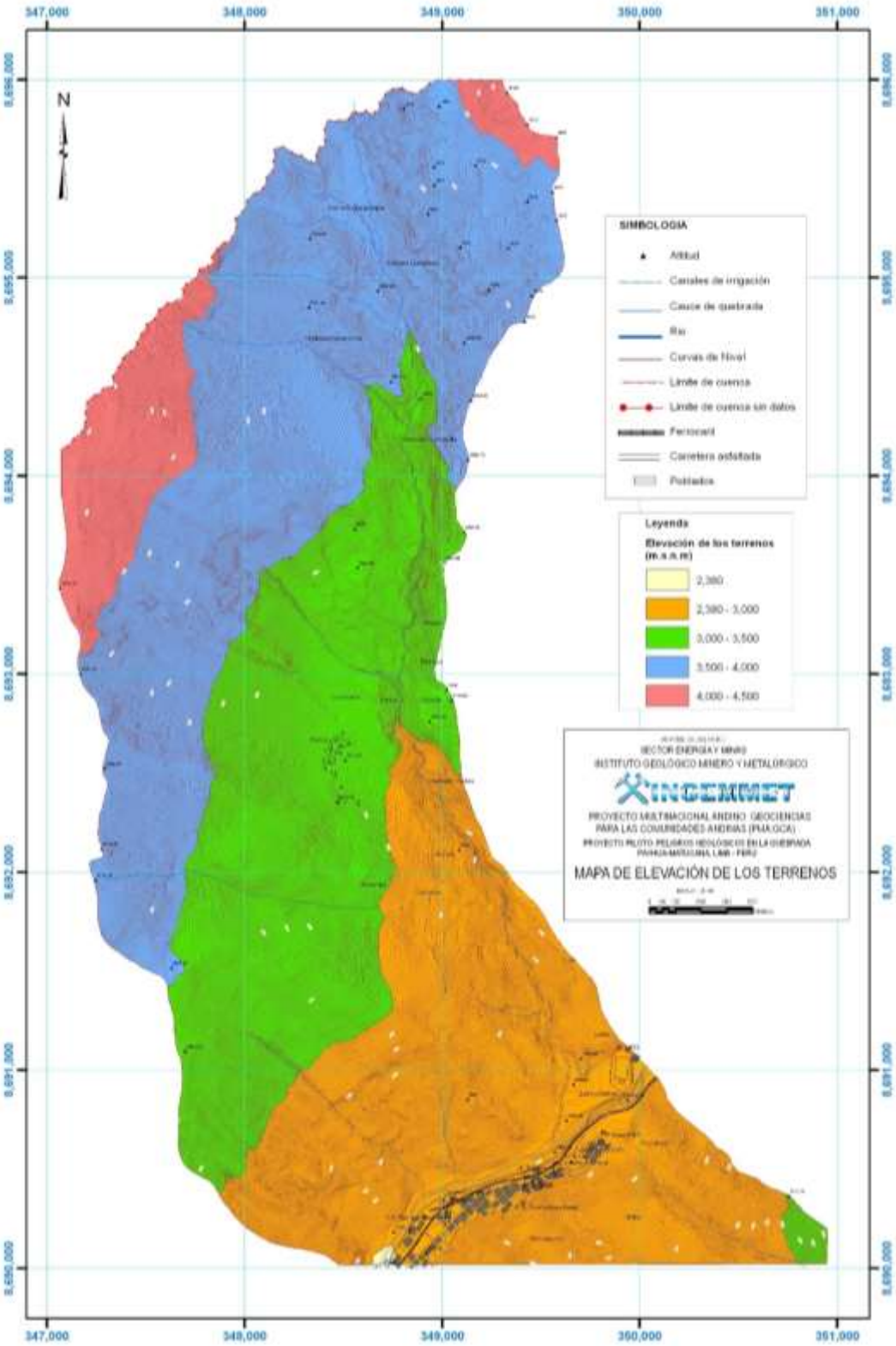
Laderas con algunas zonas inestables, con pendientes que varían entre moderadamente fuerte a muy escarpada (mayor a 6°), predominando las pendientes moderadamente escarpada (27° a 35°), se dan principalmente en rocas

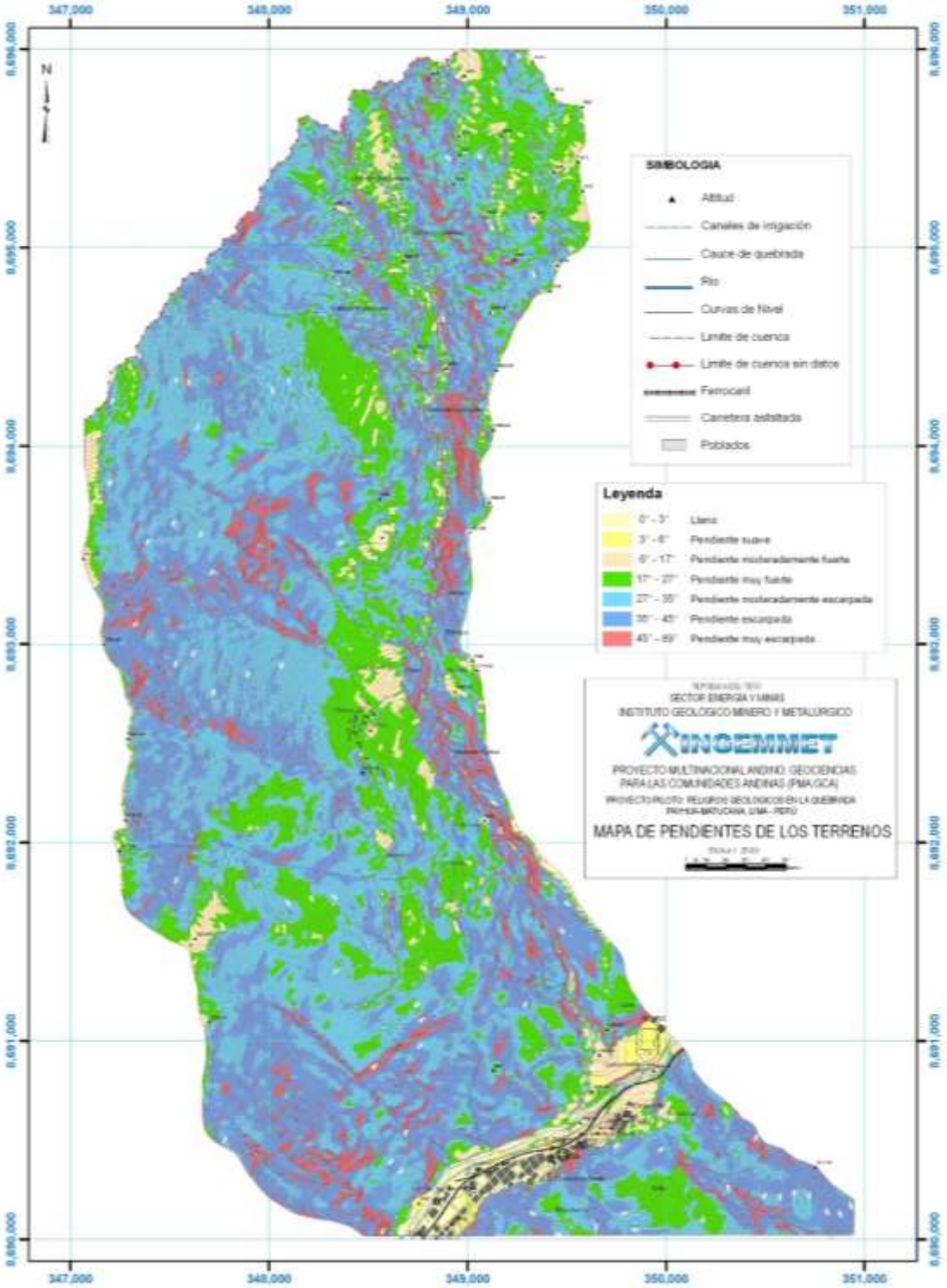
volcánicas sedimentarias intensamente fracturadas y cubiertas por depósitos coluvio residuales.

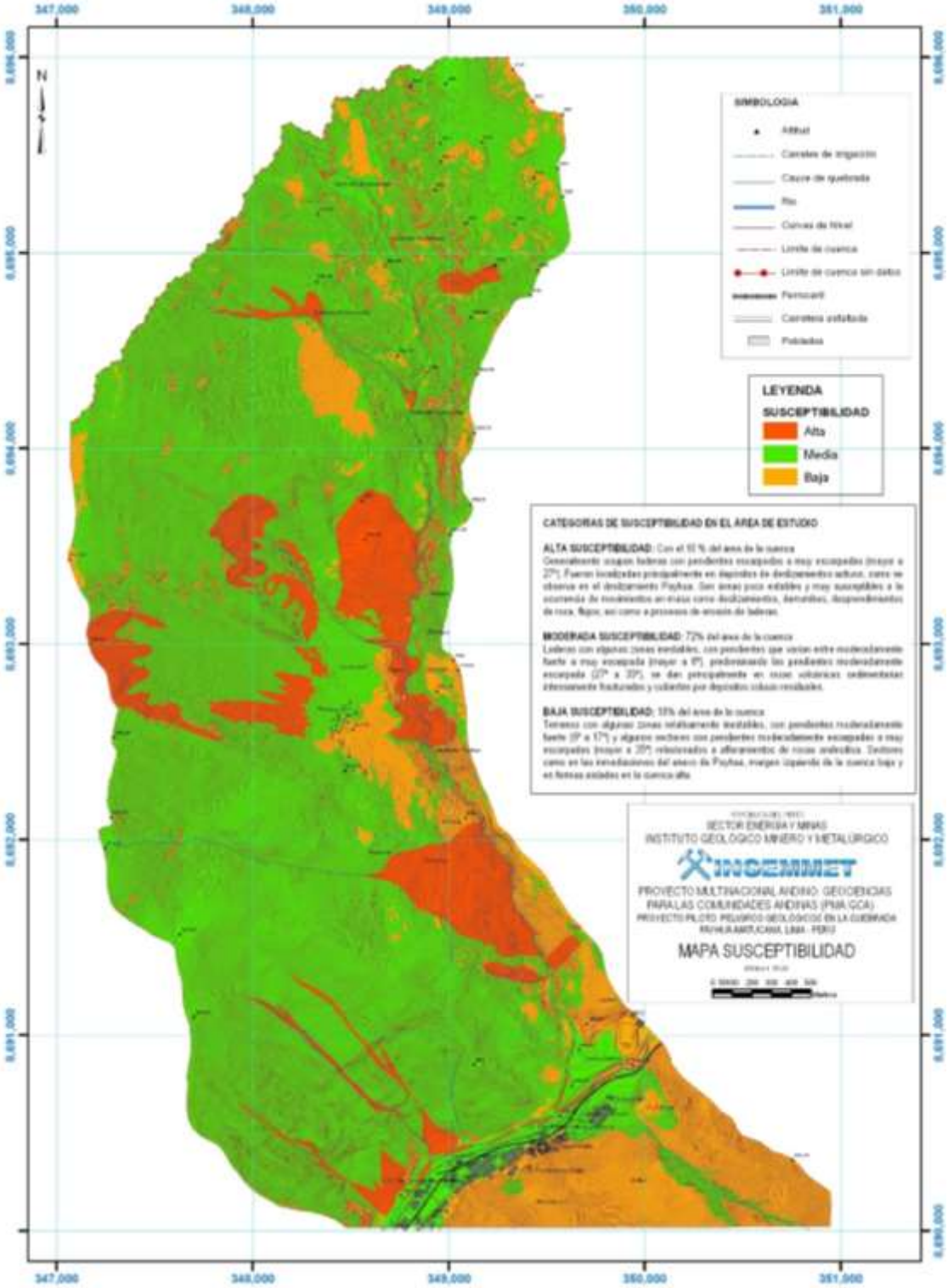
BAJA SUSCEPTIBILIDAD: 18% del área de la cuenca

Terrenos con algunas zonas relativamente inestables, con pendientes moderadamente fuerte (6° a 17°) y algunos sectores con pendientes moderadamente escarpadas a muy escarpadas (mayor a 35°) relacionados a afloramientos de rocas andesítica. Sectores como en las inmediaciones del anexo de Paihua, margen izquierda de la cuenca baja y en formas aisladas en la cuenca alta.


347,000
348,000
349,000
350,000
351,000
8,696,000
8,695,000
8,694,000
8,693,000
8,692,000
8,691,000
8,690,000
N
SIMBOLOGIA
Altitud
Canales de irrigación
Cauce de quebrada
Rio
Curvas de Nivel
Limite de cuenca
Limite de cuenca sin datos
Ferrocarril
Carretera asfaltada
Poblados
LEYENDA
Unidades de Uso de Suelo
SECTOR ENERGIA Y MINAS
INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO
INGEMMET
PROYECTO MULTINACIONAL ANDINO: GEOCIENCIAS PARA LAS COMUNIDADES ANDINAS (PMA:GCA)
MAPA DE USO DE SUELO


347,000
348,000
349,000
350,000
351,000
8,696,000
8,695,000
8,694,000
8,693,000
8,692,000
8,691,000
8,690,000
N
SIMBOLOGIA
Altitud
Canales de irrigación
Cauce de quebrada
Río
Curvas de Nivel
Límite de cuenca
Límite de cuenca sin datos
Ferrocarril
Carretera asfaltada
Poblados
Leyenda
Elevación de los terrenos (m.s.n.m)
2,380
2,380 - 3,000
3,000 - 3,500
3,500 - 4,000
4,000 - 4,500
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO
INGEMMET
PROYECTO MULTINACIONAL ANDINO: GEOCIENCIAS PARA LAS COMUNIDADES ANDINAS (PMAGCA)
MAPA DE ELEVACIÓN DE LOS TERRENOS


347,000
348,000
349,000
350,000
351,000
8,696,000
8,695,000
8,694,000
8,693,000
8,692,000
8,691,000
8,690,000
N
SIMBOLOGIA
Altitud
Canales de irrigación
Cauce de quebrada
Río
Curvas de Nivel
Límite de cuenca
Límite de cuenca sin datos
Ferrocarril
Carretera asfaltada
Poblados
Leyenda
0° - 3°
Llano
3° - 6°
Pendiente suave
6° - 17°
Pendiente moderadamente fuerte
17° - 27°
Pendiente muy fuerte
27° - 35°
Pendiente moderadamente escarpada
35° - 45°
Pendiente escarpada
45° - 59°
Pendiente muy escarpada
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO
INGEMMET
PROYECTO MULTINACIONAL ANDINO: GEOCIENCIAS PARA LAS COMUNIDADES ANDINAS (PMA-GCA)
MAPA DE PENDIENTES DE LOS TERRENOS


347,000
348,000
349,000
350,000
351,000
N
SIMBOLOGIA
Altitud
Canales de irrigación
Cauce de quebrada
Río
Curvas de Nivel
Límite de cuenca
Límite de cuenca sin datos
Ferrocarril
Carretera asfaltada
Poblados
LEYENDA
SUSCEPTIBILIDAD
Alta
Media
Baja
CATEGORIAS DE SUSCEPTIBILIDAD EN EL AREA DE ESTUDIO
ALTA SUSCEPTIBILIDAD:
MODERADA SUSCEPTIBILIDAD: 72% del área de la cuenca
BAJA SUSCEPTIBILIDAD:
SECTOR ENERGIA Y MINAS
INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO
INGEMMET
PROYECTO MULTINACIONAL ANDINO: GEOCIENCIAS
PARA LAS COMUNIDADES ANDINAS (PMA GCA)
MAPA SUSCEPTIBILIDAD

## CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

Los deslizamientos activos dentro del "Complejo de deslizamientos de Paihua" tienen el potencial de bloquear la quebrada y convertirse en la fuente de huaicos por medio del taponamiento y rompimiento del embalse originado por los deslizamientos. Las evidencias de campo indican que ya han ocurrido taponamientos pequeños en el canal.

Aunque el movimiento de los deslizamientos activos en la cuenca de la quebrada Paihua aparentemente es lento, es posible tener una aceleración en dichos desplazamientos. De igual forma, un evento sería posible durante el año de mayor precipitación de "El Niño", cuando las presiones de poros serían muy altas en el complejo de deslizamientos. Las descargas máximas estimadas de los huaicos discutidos anteriormente, no necesariamente se aplicarían a un evento similar. Consecuentemente, un monitoreo detallado de la actividad de este deslizamiento es una necesidad.

La extrapolación de valores de la producción de los grandes huaicos medidos dentro de la quebrada Paihua, estima un evento máximo de huaicos de alrededor de 250.000 $m^3$. Esto sería un huaico extraño, disparado por precipitación y que involucre toda la cuenca.

Los huaicos mayores a los históricos han ocurrido, según las investigaciones de los afloramientos, a lo lago del abanico de la quebrada Paihua. Pero no es posible determinar el volumen total de estos flujos basados en los limitados afloramientos, ni pueden ser determinados dentro de estos grandes huaicos, si fueron disparados por una precipitación intensa en toda la cuenca o por el rompimiento de un embalse causado por un deslizamiento. La interpretación de los huaicos históricos, la información de campo y de las fotografías aéreas, indica que es más probable que los huaicos posteriores se originarán en sectores aislados de la cuenca y no simultáneamente a través de ella, según los eventos históricos de flujos de detritos.

La reactivación progresiva del complejo de deslizamientos del poblado de Paihua en los pasados 50 años, es una preocupación mayor. Una aceleración máxima de este complejo podría taponar a la quebrada y causar una ruptura del embalse y su consecuente flujo. El volumen máximo estimado para el huaico (250.000 $m^3$) no se tiene en cuenta como un evento posible. El monitoreo del complejo de deslizamientos de Paihua es obligatorio. Aunque el movimiento del deslizamiento en el pasado reciente ha sido lento, en este caso los eventos anteriores no pueden ser relacionados como premonitorios confiables de futuros fenómenos.

## ESTRATEGIAS PARA MITIGAR DAÑOS EN ABANICOS ALUVIALES: CASO PAIHUA - MATUCANA

Para proteger las vidas humanas y la propiedad, se pueden utilizar tres estrategias:

1) medidas estructurales a gran escala para el control de los materiales que acarrean los huaicos, como represas, diques de contención, etc.;
2) forestación, reforestación, zanjas de drenaje, y
3) eludir el área afectada.

Dado que el potencial de amenaza de deslizamiento y generación de huaicos en la quebrada Paihua que afecten la localidad de Matucana es alta, se recomienda realizar tareas o medidas de mitigación a corto y largo plazo. Entre estas podemos mencionar las siguientes (Ver Figura 5):

- Construcción de canales o zanjas de infiltración en las cabeceras de las quebradas, con prioridad en las que se localizan en la margen derecha de la quebrada Paihua, aguas arriba de Paihua; como Munaico, Patipunco, Yauripuquio, Champuico, Pachina, Yerbacocha, Oxapampa etc.
- Reforestación de la cuenca alta y sectores inestables de la cuenca media con plantas nativas como: rengo, quishuar negro, quenual, talhuis, que se mantienen largo tiempo sin agua y afirman el suelo.
- Limpieza en los diques de contención construidos anteriormente, construcción de por lo menos dos diques de contención adicionales en la cuenca baja, cerca de la desembocadura; y en la cuenca media, aguas abajo de la confluencia con la quebrada Munaico.
- Mejorar el sistema de riego en la cuenca de la quebrada Paihua.
- Evitar el sobre pastoreo.
- Limpieza en el cauce de la quebrada Paihua y en el río Rímac, aguas arriba y abajo de la Matucana.

La reglamentación en el uso de la tierra puede utilizarse para reducir los riesgos, al limitar el tipo o la cantidad de desarrollo en áreas de alto riesgo. Las áreas susceptibles a eventos peligrosos pueden ser utilizadas como parques y áreas para el pastoreo de ganado. En las áreas de alto riesgo donde sea inevitable el desarrollo y la reconstrucción, construir una vivienda de manera que el largo de este quede orientado en forma paralela a la dirección del flujo, minimizará el ancho de la vivienda expuesta al huaico. Además, orientar las calles paralelas a la dirección descendiente del flujo permite que las calles sirvan de canales secundarios en caso de inundación por huaicos, lo cual limitaría los posibles daños

a las estructuras. El estudio continuo, los avisos de peligro, la toma de conciencia de la población y el desalojo del área son estrategias no estructurales para mitigar los daños y así reducir la pérdida potencial de vidas. Los sistemas de avisos tempranos basados en los pronósticos del tiempo e información sobre la precipitación de lluvia, pueden mejorar significativamente las respuestas de los manejadores de emergencias para alertar y desalojar comunidades amenazadas.

**Sistemas de Alerta Temprana**

El monitoreo y la comunicación son elementos muy importantes en el manejo de estados de alerta. Para nuestro caso debe establecerse un Sistema de Alerta Temprana (SAT) orientado a la prevención de amenazas por deslizamiento en las cuales el mecanismo detonante es la lluvia.

Este SAT deberá estar integrado por personas y organizaciones equipadas que permitan manejar la amenaza y tomar medidas de respuesta inmediata ante la eventualidad de un desastre, por ello el objetivo principal del SAT deberá ser el de salvar vidas y reducir lo daños, o en todo caso tomar medidas adecuadas para minimizar los daños. Es importante contar con buenos y modernos equipos de comunicación y organizarse para el mejor uso de los mismos.

Se tendrá en cuenta la importancia de los datos de pluviométricos de la estación de Matucana o de otra a instalarse en las alturas de la localidad de Paihua. Los valores de precipitación máxima calculada (Tabla 3) serán usados como parámetros de referencia para el sistema de alerta.

**Monitoreo del Deslizamiento de Paihua**

Si bien el proceso de avance del deslizamiento con el tiempo, se realiza a una velocidad muy lenta, estas pueden cambiar espontáneamente tanto por sismos, como por saturación por lluvias. Para esto, se está proyectando el monitoreo periódico del deslizamiento usando el Sistema de Posicionamiento Global Diferencial (dGPS). Estos cambios por pequeños que sean deben ser comunicados a los técnicos y especialistas de Defensa Civil y la Dirección de Geología Ambiental de INGEMMET.

Luego de la presentación de este Informe sencillo y de la Guía de Gestión Local de Peligros Geológicos, se trabajará, después de finalizado el Curso de "Simulación de Flujos de detritos o huaicos en Flo-2D" programado para el mes de Febrero de 2006, con el Mapa definitivo de Amenazas de Matucana. Así mismo en marzo se entregará el Informe Técnico Definitivo a las autoridades de Matucana e iniciar, en convenio con el Colegio de Ingenieros del Perú (CIP), trabajos de detalle en las obras de mitigación recomendadas (topografía al detalle, mecánica de suelos y diseño). INGEMMET conjuntamente con PREDES y la Municipalidad de Matucana están comprometidos con el seguimiento del estudio hasta la construcción de las obras recomendadas

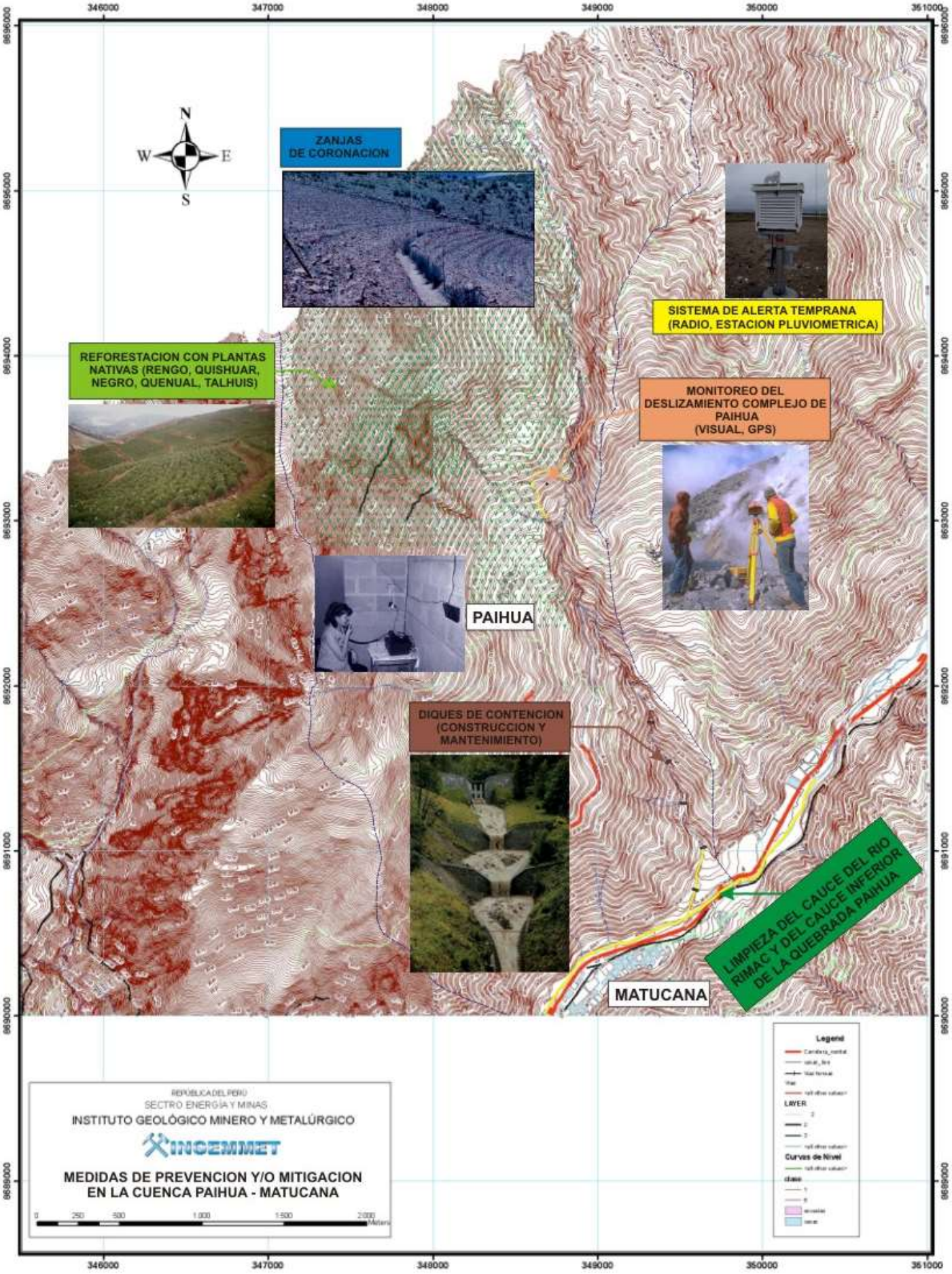

ZANJAS DE CORONACION
SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA (RADIO, ESTACION PLUVIOMETRICA)
REFORESTACION CON PLANTAS NATIVAS (RENGO, QUISHUAR, NEGRO, QUENUAL, TALHUIS)
MONITOREO DEL DESLIZAMIENTO COMPLEJO DE PAIHUA (VISUAL, GPS)
PAIHUA
DIQUES DE CONTENCION (CONSTRUCCION Y MANTENIMIENTO)
LIMPIEZA DEL CAUCE DEL RIO RIMAC Y DEL CAUCE INFERIOR DE LA QUEBRADA PAIHUA
MATUCANA
N
S
E
W
346000
347000
348000
349000
350000
351000
REPUBLICA DEL PERU
SECTRO ENERGIA Y MINAS
INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO
INGEMMET
MEDIDAS DE PREVENCION Y/O MITIGACION EN LA CUENCA PAIHUA - MATUCANA
Legend
LAYER
Curvas de Nivel

FIGURA Nº 5

N
Hospital
I.E. Miguel Grau
Nº 20568
CEMENTERIO
ZONA SEGURA
TEMPORAL
Línea férrea
Parque
infantil
UGEL -15
Huarochiri
Comisaría de
Matucana
PNP
Coso
Toros
Plaza
Independencia
Jirón Ica
ZONA SEGURA TEMPORAL
I. E. T. San Juan
Bautista
Iglesia
Municipalidad
Centro Cívico
Base Defensa Civil
I. E. I. Rosa
Alarco
Plaza Grau
I.E.I. Nº 129
San Juanito
Río Rímac
Carretera Central
ZONA SEGURA TEMPORAL
ZONA DE CONCENTRACIÓN
TEMPORAL
Los Olivos
Qda. Chucumayo
Puente
Matucana
Parque
Chupete
I. E. Julio C. Tello
Rutas de evacuación en caso de
huaycos e inundación
en la ciudad de Matucana
MUNICIPALIDAD PROVINCIAL
DE HUAROCHIRÍ
MATUCANA
INGEMMET
PROYECTO MULTINACIONAL ANDINO
predes
INDECI

## COMUNICACIÓN CON COMUNIDADES

Una de las actividades del Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, dentro del sub proyecto Comunicación con Comunidades es sociabilizar la información creada con el propósito de involucrar a las autoridades, planificadores y la comunidad en general.

No siempre es suficiente producir y diseminar mapas y documentos científicos para lograr impactos positivos y tangibles en las comunidades que se busca servir. Frecuentemente, los documentos bien intencionados científicos y organizaciones terminar en gavetas polvorientas de anaqueles olvidados.

En este sentido, liderado por profesionales del INGEMMET, en setiembre del 2005, la Municipalidad Provincial de Huarochirí, el Centro de Prevención de Desastres - PREDES y el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – INGEMMET, firmaron un Convenio de Cooperación Interinstitucional en donde acordaron realizar acciones en beneficio de la ciudad de Matucana. Foto 13.

El convenio se suscribió en el marco del "Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (PMA-GCA) que tiene como objetivo mejorar la calidad de vida de los pobladores en las regiones andinas, así como reducir el impacto negativo de los peligros geológicos.

*Foto 13: Firma del convenio de Cooperación Interinstitucional entre INGEMMET, PREDES y la Municipalidad Provincial de Huarochirí – Matucana.*

**Objetivo**

Vincular el Estudio de la quebrada de Paihua, con la comunidad beneficiaria para que conozcan su desarrollo, participen con sus propuestas y lo hagan suyo.

Capacitar a actores locales en conceptos básicos de prevención de desastres y su relación con la geología, en base a los estudios y proyectos elaborados por la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET.

Informar y difundir los objetivos y alcances del PMA:GCA y el "Estudio de Riesgo Geológico en la ciudad de Matucana"

**Actividades Desarrolladas**

1) Capacitación a actores locales sobre conceptos básicos de prevención de desastres y su relación con la geología

Se organizó concurso de dibujo escolar para alumnos de primer año de educación secundaria: con el lema "Prevenimos Riesgos para Proteger la Vida"; se capacitaron en temas de prevención a alumnos de segundo, tercero y cuarto de secundaria de los dos colegios locales; capacitación a mujeres organizadas en los Comedores Populares y Comités de Vasos de Leche; capacitación a Jóvenes del distrito, liderados por Jóvenes Voluntarios (JOVOS).

*Foto 14: Dibujo ganador del concurso, elaborado por el alumno Leonardo Campos del Colegio Julio C. Tello de Matucana*

2) Información y Difusión de los objetivos y alcances del "Estudio de Peligros Geológico en la Quebrada Paihua"

Se organizaron Talleres para las autoridades líderes, miembros del Comité de Defensa Civil de Matucana, y la Comunidad Campesina de Paihua para informarles sobre los avances del proyecto, recoger propuestas, presentar los resultados y recomendaciones al Estudio

Se difundió las actividades y resultados del proyecto a través de Radio Matucana, TV- Matucana y otros medios de comunicación local.

3) Taller: "Identificación de Materiales de Difusión para el Estudio de los Peligros Geológicos en la Quebrada Paihua"

El taller se realizó con el objetivo de generar materiales de divulgación para la prevención frente a la ocurrencia de huaicos en Matucana, al evento asistieron Autoridades, funcionarios de instituciones públicas y privadas, representantes de comunidades Campesinas, organizaciones sociales de base, Jóvenes Voluntarios (JOVOS), Alumnos y Docentes de las Escuelas, Brigadistas Defensa Civil. Los mismo que, por mayoría acordaron elaborar los medios de difusión como son banderolas, afiches y murales (piedras pintadas en el camino de ascenso a Paihua).
Antes de elaborar las frases que irán en los materiales de difusión se hicieron las siguientes interrogantes: ¿Qué contenidos queremos difundir en relación a los huaicos? ¿A quién comunicar los mensajes? ¿Como lo vamos a hacer? ¿Cómo lo vamos a presentar? ¿Quiénes lo van a hacer?.

Una vez respondidas las interrogantes el material quedó como se muestra:

*Foto 15: Banderola diseñada con la participación de la Población de Matucana.*

*Foto 16: Afiche diseñado con la participación de la Población de Matucana.*

**Lecciones Aprendidas**

- Participación y compromiso de la comunidad, es fundamental para la sostenibilidad de la propuesta
- Es necesario reunir a los tres grupos de acción: La comunidad afectada, las instituciones del conocimiento y los entes ejecutores (autoridades, instituciones públicas y privadas, etc.)
- La interacción con la comunidad posibilita una producción colectiva y no individual.
- Cada comunero se siente parte del trabajo.

**BIBLIOGRAFIA**

BOVIS, M.J. & JAKOB, M. 1999. The role of debris supply conditions in predicting debris flow activity. *Earth surface processes and landforms.* **24**, 1039-1054.

CASTILLO NAVARRO, L.F, 2005. Simulación del flujo de detritos de la Quebrada Paihua, en Matucana, Lima-Perú. *Instituto para la Mitigación de Efectos del Fenómeno del Niño (IMEFEN-CISMID) Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería Lima – Perú,* 13 p.

FIDEL SMOLL, L., GUZMAN MARTINEZ, A, ZEGARRA LOO, J., VILCHEZ MATA, M., COLQUE TULA, J. AND JACKSON, L.E. JR. 2005. Investigation of the origin and magnitude of debris flows from the Paihua Creek basin, Matucana area, Huarochirí Province, Peru. In Hungr, O, Fell, R., Couture, R. and Eberhardt, E. (eds.) *Landslide risk management,* A.A. Balekema, Leiden, Netherlands, p. 467-473.

FIDEL L., ZEGARRA J., VILCHEZ M., LEONARDO CASTILLO, & L. JACKSON – Evolution of landslide activity, and the origin of debris flows in the El Niño affected Paihua Creek Basin, Matucana area, Huarochiri, Peru, 1951 – 2004. In Proceedings, International Association for Engineering Geology and the Environment, 2006 meeting. Nottingham, United Kingdom. In press

GREGORY-WODZICKI, K.M. 2000. Uplift history of the central and northern Andes: a review. *Geological Society of America Bulletin,* **112**, 1091-1105.

HOWES, D. & KENK, E. 1997. Terrain Classification System for British Columbia, Version 2 http://srmwww.gov.bc.ca/risc/pubs/teecolo/terclass/index.html

HUNGR, O., MORGAN, G.C., & KELLERHALLS, R. 1984. Quatitative analysis of debris torrent hazards for design of remedial measures. *Canadian Geotechnical Journal,* **21**, 663-677.

HUNGR, O, EVANS, S.G., BOVIS, M., & HUTCHISON, J.N. 2001. Review of the classification of landslides of the flow type. *Environmental and engineering geoscience,* **4**, p. 231-228.

JAKOB, M. 2005. Debris flow hazard analysis. In M. Jakob and O. Hungr (eds.). *Debris flow hazards and related phenomena.* Praxis Publishing, Chichester, UK, 411-438.

JAKOB, M. & JORDAN, P. 2001. Design flood estimates in mountain streams. *Canadian Journal of civil engineering,* **28**, 425–439.

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA) 1988. *Final report for the master plan study on the disaster prevention project in the Rimac River basin.* Japan International Cooperation agency, Tokyo, 6 volumes.

INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO 1995. *Geología del Perú*. Ministerio de Energía y Minas. 177 p.

KUROIWA, J. 2002. Reducción de desastres: viviendo en armonía con naturaleza. CECOSAMI, Lima, 429 p.

MARTINEZ VARGAS, A. & MEDINA RENGITO, J. 2000. Evaluación de la amenaza y vulnerabilidad de Matucana. PREDES, Lima, 18 p.

UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS 2000. Hydrologic modeling system HEC-HMS version 2.0. United States Army Corps of Engineers, Hydrologic Research Center, Davis, California.