

REPÚBLICA DEL PERÚ  
SECTOR ENERGÍA Y MINAS  
INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO  
INGEMMET

INFORME TECNICO

**EVALUACION GEOLOGICA Y GEODINAMICA EN LA QUEBRADA  
CHICÓN: ALUVIÓN DEL 17 DE OCTUBRE DEL 2010 QUE AFECTÓ  
URUBAMBA-CUSCO**

Por:

Víctor Carlotto

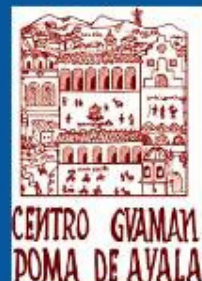
José Cárdenas  
Ronald Concha  
Igor Astete

Boris Del Castillo  
Briant Garcia  
Verónica Tito

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN  
ANTONIO ABAD DEL CUSCO



Noviembre 2010  
LIMA - PERÚ



## **EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEODINÁMICA EN LA QUEBRADA CHICÓN: ALUVIÓN DEL 17 DE OCTUBRE DEL 2010 QUE AFECTÓ URUBAMBA-CUSCO**

### **RESUMEN**

En la quebrada Chicón del distrito de Urubamba, provincia de Urubamba, el día domingo 17 de octubre del 2010 ocurrió un aluvión, producto de un desprendimiento de una pequeña masa (100 x 30m) del borde meridional del glaciar del Chicón, que llegó a la ciudad de Urubamba alrededor de las 23.35 hrs. El desprendimiento de este bloque de hielo provocó el rebalse de una pequeña laguna (100 x 100m) a 4870 msnm. Este rebalse incrementó el caudal de un pequeño riachuelo, lo que a su vez provocó el rebalse de la laguna Pucacocha (100 x 60m), que se halla al borde de una planicie de retroceso glaciar y al inicio de un talud de fuerte pendiente. Las aguas rebalsadas erosionaron el material morrénico compuesto de bloques y gravas de rocas, arcillas, limos y arenas, que se halla colgado en la ladera de pendiente muy alta (> 60°). La erosión de este material, por la gran cantidad de agua, originó un flujo de detritos (aluvión) que descendió por la Ladera Norte hasta la quebrada Occororuyoc donde se depositó gran parte del volumen aluviónico y dejando pasar la parte líquida con sedimentos finos (Flujos de lodo). Los flujos de lodo continuaron por la parte baja de la quebrada Occororuyoc, erosionando y formando otros nuevos aluviones de pequeña dimensión, los cuales fueron avanzando y depositándose por tramos hasta la ciudad de Urubamba. Los pequeños aluviones a su paso por la quebrada Chicón, afectaron numerosas viviendas y puentes en las localidades de Yanaconas, Chichubamba y San Isidro de Chicón. En la ciudad de Urubamba afectó principalmente la Avenida Ramón Castilla, colmatando totalmente una parte del canal sobre el que discurre el río Tullumayo, inundando las viviendas, así como depositando material aluviónico en la pista, en el Jr. Arica y algunas calles transversales a estas, llegando incluso a una esquina de la Plaza de Armas. Este fenómeno afectó unas 300 viviendas, inundó tierras de cultivo y hay más de 1,200 damnificados.

La causa principal tiene que ver con los cambios climáticos que están produciendo el retroceso de los glaciares, tal como se aprecia en las reconstrucciones realizadas para este nevado, y que en los últimos 10 años ha retrocedido localmente 50 m. Los retrocesos se dan con desprendimiento de bloques de hielo de los bordes del nevado, los cuales cuando están cerca de lagunas, producen rebalses como ha sido el caso del aluvión de 1942 y el reciente del 17 de octubre, que afectaron Urubamba.

De acuerdo al estudio del nevado Chicón, se seguirán produciendo desprendimientos de diferentes tamaños y erosión de material morrénico, algunos de los cuales pueden producir aluviones, que en la mayoría de los casos serán pequeños. Sin embargo, la existencia de la planicie de Occororuyoc, constituye un dissipador natural donde se depositará la mayor parte de los aluviones, constituyendo un protector natural. A pesar de existir la planicie de Occororuyoc, flujos de lodos lograrán pasar la misma y pueden ocasionar otros nuevos aluviones a lo largo de la parte baja de Occororuyoc y de la quebrada Chicón, llegando a Urubamba, como los ocurridos los años 1942 y 2010.

En base a los estudios se recomienda realizar el monitoreo del retroceso glaciar de los nevados Chicón y del Pumahuancca, las lagunas, así como de las zonas susceptibles a generar aluviones, incluyendo las morrenas. Se debe considerar la posibilidad de construir sistemas de alerta temprana y preparación de población en caso de otros aluviones y también sismos. Por otro lado, se debe ensanchar el cauce del río Chicón, principalmente cerca a las comunidades; así como el río Tullumayo, incluyendo la canalización de la Avenida Mariscal Castilla, para que pueda conducir los aluviones futuros.

# EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEODINÁMICA EN LA QUEBRADA CHICÓN: ALUVIÓN DEL 17 DE OCTUBRE DEL 2010 QUE AFECTÓ URUBAMBA-CUSCO

## 1. INTRODUCCION

En la quebrada Chicón del distrito de Urubamba, provincia de Urubamba, el día domingo 17 de Octubre del 2010 alrededor de las 23.35 hrs ocurrió un evento geodinámico de movimientos en masa. En el nevado Chicón el desprendimiento de un bloque de hielo provocó el rebalse de una pequeña laguna a 4870 msnm. Este rebalse incrementó el caudal de un pequeño riachuelo que nace de esta lagunilla y la conecta con la laguna Pucacocha a 4670 msnm. La laguna Pucacocha también rebalsó luego de superar su capacidad normal. Es a partir de la desembocadura de esta laguna, el que coincide con el cambio brusco de pendiente, que las aguas rebalsadas empiezan a erosionar las gravas con bloques de material morrénico, las que se hallan colgadas en la ladera de pendiente muy alta ( $> 60^\circ$ ). La erosión de este material, por la gran cantidad de agua, originó un flujo de detritos (aluvión) que descendió por la Ladera Norte hasta la quebrada Occororuyoc donde se depositó gran parte del volumen aluviónico. Sin embargo, la parte líquida con sedimentos finos siguió su camino por la quebrada hasta alcanzar la quebrada de Chicón, donde producto de nuevas erosiones da lugar a otros aluviones menores que llegan hasta la ciudad de Urubamba. Es en su paso por la quebrada de Chicón, que destruye numerosas viviendas en las localidades de Yanacona, Chichubamba y San Isidro de Chicón. En Urubamba afectó principalmente la Avenida Ramón Castilla, el Jr. Arica y las calles transversales a estas, llegando incluso a una esquina de la Plaza de Armas. Este fenómeno afectó unas 300 viviendas, destruyó tierras de cultivo, y hay más de 1,200 damnificados.

El día 23 de octubre del 2010 un equipo de geólogos del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico-INGEMMET, de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco-UNSAAC y el Centro Guamán Poma de Ayala, realizaron el diagnóstico y evaluación de este evento geodinámico, logrando identificar las causas que lo originaron y a partir del cual se propone algunas recomendaciones.

## 2. UBICACIÓN

Urubamba se halla en el límite del Altiplano con la Cordillera Oriental en el sur del Perú. Al norte de la ciudad las montañas y los nevados Chicón (5530 msnm.) y Pumahuancca (5330 msnm.) se localizan en plena Cordillera Oriental. Estos dos nevados tienen, aguas abajo, dos quebradas principales denominadas igualmente Chicón y Pumahuancca, en cuyas desembocaduras al llegar al río Vilcanota, forman dos conos aluviales donde se ubica la ciudad de Urubamba. Estos dos conos aluviales se han formado por diferentes aluviones muy antiguos, en relación al retroceso de los glaciares de los nevados antes mencionados. La ciudad de Urubamba se halla en la margen derecha del río Vilcanota a una altitud de 2850 msnm (Fig. 1).

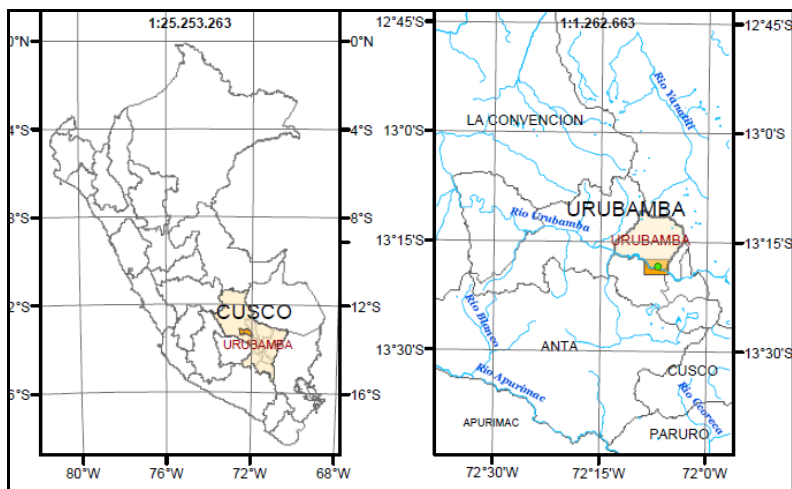


Fig. 1. Ubicación de la zona de estudio.

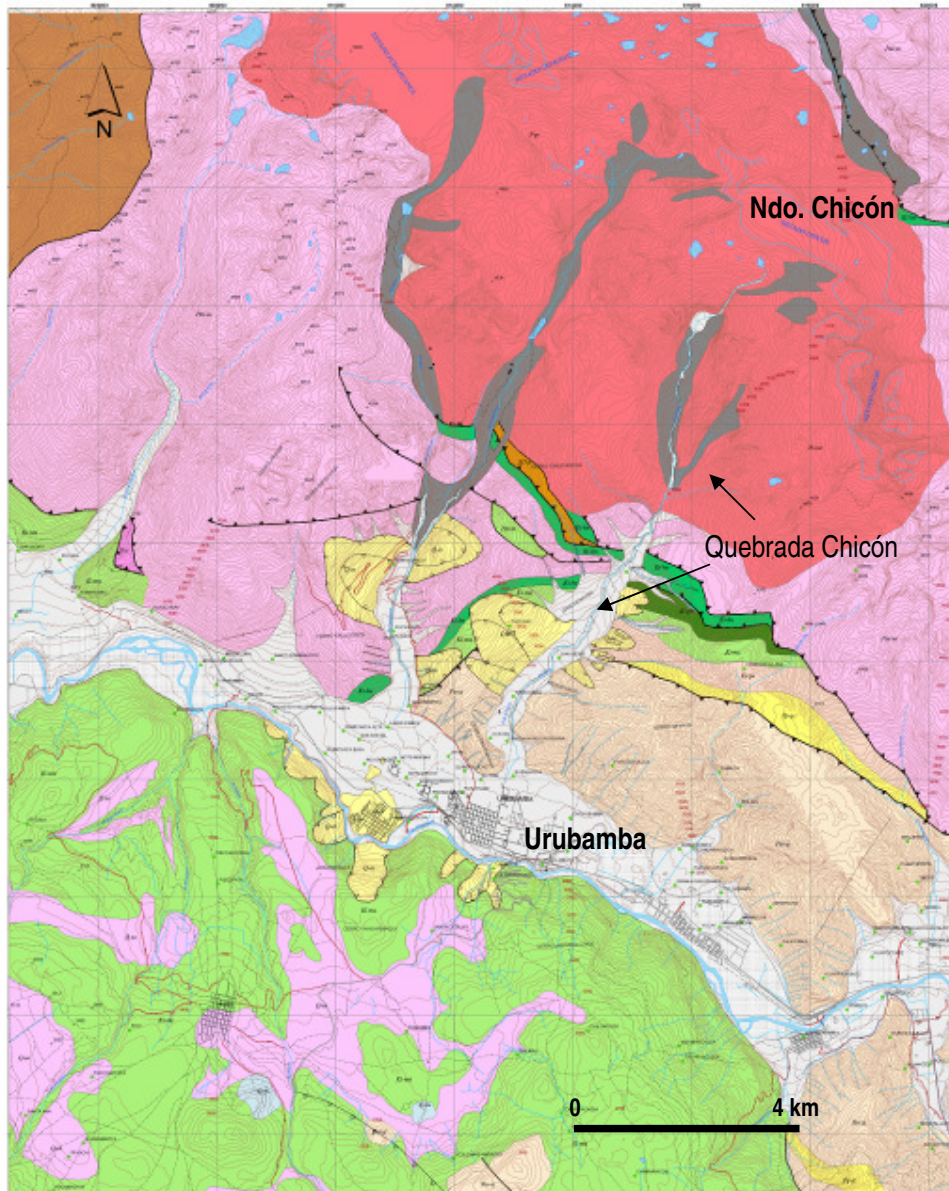
### 3. GEOLOGIA

La geología de la zona de estudio está caracterizada principalmente por la presencia del macizo de Urubamba, que es un afloramiento importante de granitos sobre el cual se ha desarrollado el nevado de Chicón. Estas rocas se hallan fracturadas y en parte intemperizadas. Esto ha facilitado el trabajo de los glaciares generando morrenas que es la materia prima de los aluviones formados en Urubamba.

Entre el río Vilcanota y los afloramientos graníticos del Chicón, los cerros y laderas presentan diferentes tipos de litología como son las rocas volcánicas del Grupo Mitu, las areniscas de la Formación Huancañé, las lutitas del Grupo Yuncapaypata, areniscas y limolitas de las formaciones Quilque-Chilca, las areniscas rojas del Grupo San Jerónimo y depósitos cuaternarios (Fig. 2).

Como depósitos cuaternarios resaltan los **Depósitos morrénicos** que se ubican al pie del nevado Chicón; se trata de acumulaciones de bloques y gravas en una matriz limo-arenosa. Su comportamiento no es estable cuando se halla en zonas de pendiente fuerte y solo necesitan de bastante agua o aludes para formar aluviones. Luego los **Depósitos coluviales**, se forman en zonas de ladera y están conformados por una mezcla de limos y gravas; se incluyen los depósitos de deslizamientos en las laderas de los cerros. Los **Depósitos aluviales** corresponden a los conos aluviales, los que se hallan en la desembocadura del Chicón y Pumahuanca, sobre el cual se ha fundado la ciudad de Urubamba. Están constituidos por bloques y gravas envueltas por una matriz arcillo-arenosa. Estos conos aluviales muestran la actividad geodinámica pasada y presente de las quebradas y están relacionadas a los aluviones. Los **Depósitos fluviales** se presentan en el piso de valle o cauce del río Chicón y están conformados por bancos de gravas y arenas.





**LEYENDA**

<i>Q-co</i>	DEPOSITOS COLUVIALES	
<i>Q-al</i>	DEPOSITOS ALUVIALES	
<i>Q-fl</i>	DEPOSITOS FLUVIALES	
<i>Q-g</i>	DEPOSITOS GLACIARES	
<i>Q-sa</i>	FORMACION SAN SEBASTIAN	
<i>Q-ru</i>	FORMACION RUMICOLCA	
<i>Np-cc</i>	FORMACION CHINCHEROS	
<i>Pco-sj</i>	GRUPO SAN JERONIMO	
<i>Pp-qc</i>	FORMACION QUILQUE Y CHILCA	
<i>Ks-pu</i>	FORMACION PUQUIN	
<i>Ki-ma</i>	FORMACION MARAS	
<i>Kj-pb</i>	FORMACION PAUCARBAMBA	
<i>Kl-hu</i>	FORMACION HUANCANE	
<i>PsTi-m</i>	GRUPO MITU	<i>P-gr</i> INTRUSIVOS PERMIANOS
<i>Pi-c</i>	GRUPO COPACABANA	
<i>SD-p</i>	FORMACION PAUCARTAMBO	
<i>Om-sj</i>	FORMACION SAN JOSE	

Fig. 2. Mapa geológico de Urubamba y del nevado Chicón (Carlotto et al., 1996).

#### 4. GEOMORFOLOGIA

La zona de estudio se halla en plena Cordillera Oriental, resaltando el nevado de Chicón y las quebradas que nacen de estos relieves como las quebradas Occororuyoc y Chicón (Fig. 3), que se unen y bajan hasta la ciudad de Urubamba, en cuya desembocadura se halla asentada.

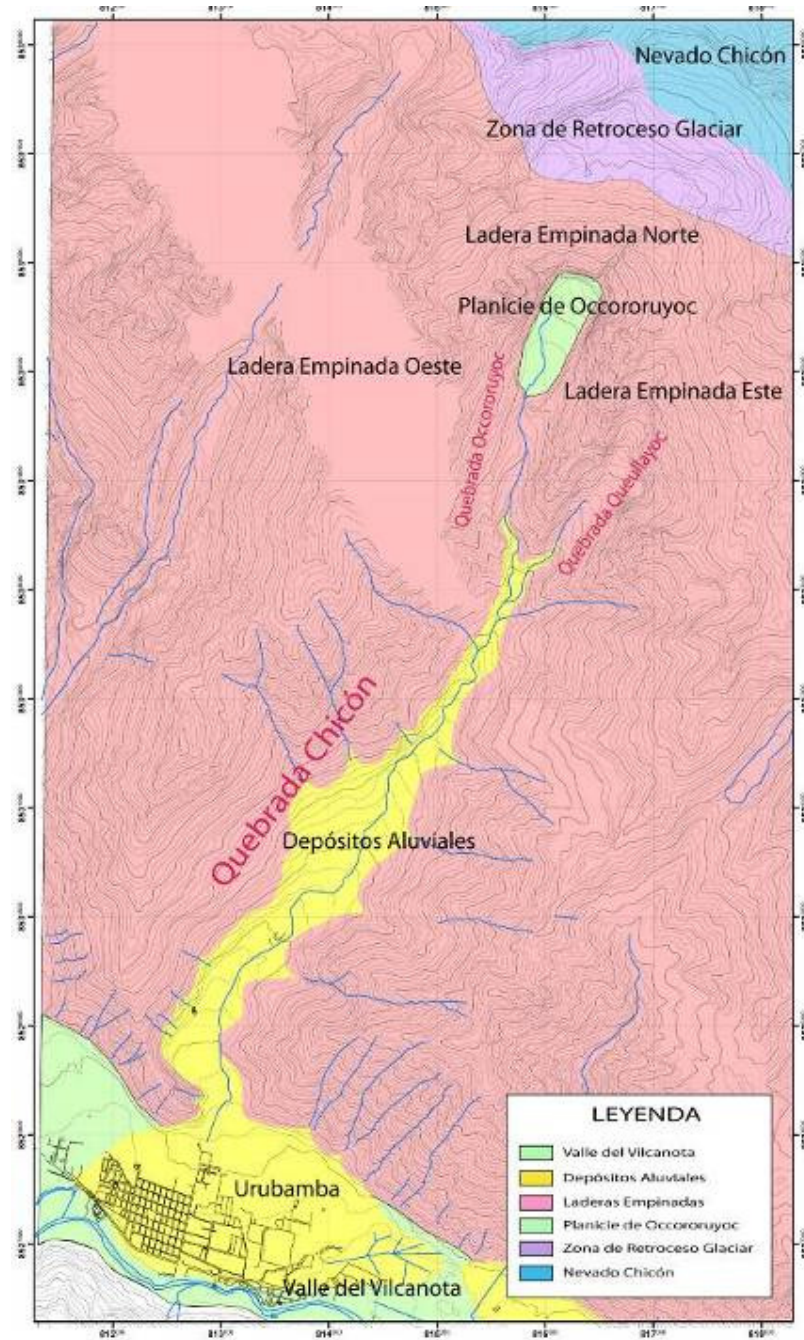


Fig. 3. Mapa geomorfológico de la zona de estudio.



#### 4.1. NEVADO CHICON

El nevado Chicón tiene cumbres que alcanzan los 5530 msnm. Es un nevado de aproximadamente 5 km de largo en la dirección NO-SE y ancho promedio menor a 1 km, que muestra evidencias de retroceso glaciar. El año 1963 tenía lenguas que llegaban incluso hasta los 4700 msnm., pero mantenía un promedio de 4800 msnm. Sin embargo el año 1991, se ven los efectos de retroceso, donde algunas lenguas alcanzan los 4800 msnm, pero el promedio es de 4825 msnm. Para el año 2000 hay un retroceso de 20 a 25 m, con un promedio en la zona de estudio que sube a 4825. Para el año 2010, en la zona estudiada, se ve que hay una disminución local de alrededor 50 m y actualmente el límite de nieves se localiza a 4875 msnm. Esto nos indica un promedio de retroceso glaciar que puede variar de 20 a 25 m por cada 10 años, aunque los últimos años ha sido casi de 50 m (Fig. 4).

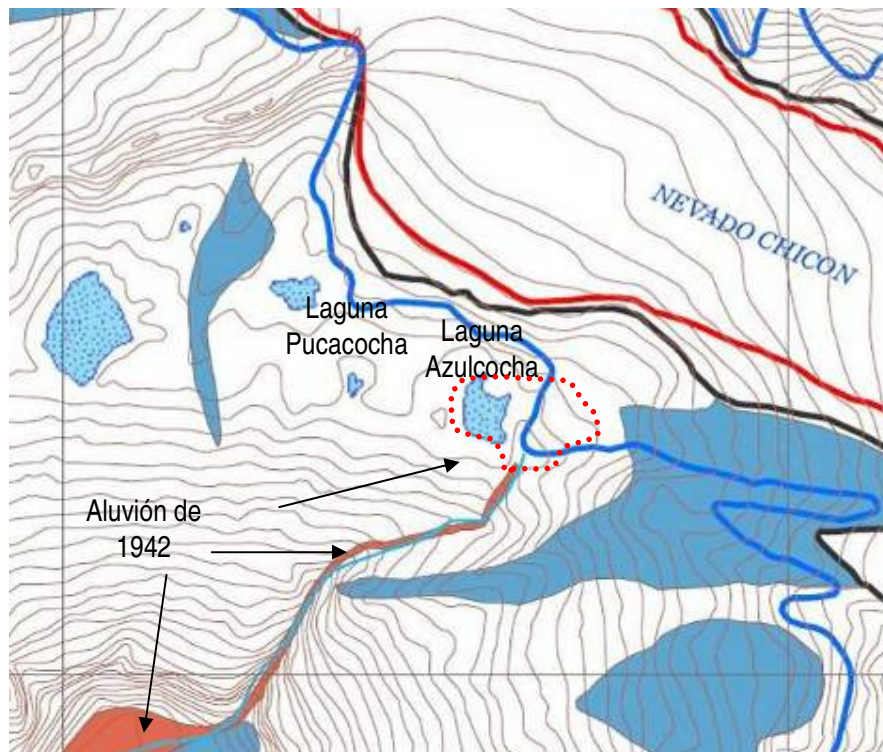


Fig. 4: Evidencias del retroceso glaciar para los años 1963 (línea azul), 1971 (línea negra) y 2000 (línea roja) (Carlotto, 2005).

#### 4.2. PLANICIE DE RETROCESO GLACIAR

Se localiza entre el límite actual de los glaciares es decir de 4875 msnm hasta el cambio de pendiente con las Laderas Empinadas, en este caso la ladera norte a 4675 msnm. Tiene un desnivel de 200 en solo 700 m de longitud. En general se trata de una pequeña planicie con afloramientos de granitos que muestran estriaciones producto del avance y retroceso glaciar. Además aquí se pueden encontrar bloques sueltos de rocas producto del retroceso glaciar. En esta planicie se tienen varias lagunas de pequeñas dimensiones, que son debidas al retroceso glaciar y la topografía algo plana. Es justamente al límite del nevado con esta planicie de retroceso, que se ha producido el desprendimiento de un pequeño borde del glaciar (100 x30 m) sobre una laguna en vías de formación que incluso no tiene nombre. Es decir que aquí se ve claramente los efectos del retroceso glaciar (Fig. 5).



Fig. 5. Imágenes satélites que muestran el retroceso glaciar dejando una planicie con formación de lagunas. Izquierda imagen del año 2004 y derecha imagen del año 2007. Punto Naranja corresponde a laguna s/n que se originó por el retroceso glaciar y que rebalzó el 17 de octubre del 2010.

#### 4.3. LADERA EMPINADA NORTE

Se localiza entre el límite sur de la Planicie de Retroceso Glaciar (4675 msnm) y el piso de valle de la quebrada Occororuyoc (4000 msnm) (Foto 1), haciendo un desnivel de 675 m, en solo 900 m de longitud, lo que da una pendiente mayor a 60°.

Aquí afloran granitos y en algunos lugares quedan depósitos morrénicos de gravas y bloques. Esto se aprecia particularmente desde la desembocadura de la laguna Pucacocha hasta media ladera. Es este material morrénico que ha sido erosionado por las aguas del rebalse de la laguna Pucacocha y ha formado el aluvión del 17 de octubre del 2010.



Foto 1. Ladera Norte por donde bajo el aluvión del 17 de octubre del 2010.



#### 4.4. QUEBRADA OCCORORUYOC

Esta quebrada se halla bajo las lagunas Pucacocha y Azulcocha, cuyas desembocaduras se unen y forman el cauce del riachuelo Occororuyoc que nace en la Ladera Empinada Norte. Luego en la parte baja, es decir, el piso de la quebrada Occororuyoc, se divide en dos tramos: una planicie o piso de valle casi plano al inicio y otra con mayor pendiente en la parte baja.

##### Planicie Occororuyoc

La planicie Occororuyoc corresponde al piso de un valle en forma de U, típicamente glaciario que tiene una orientación NE-SO, una forma ovalada a rectangular con aproximadamente 1.1 km de largo por 400 m de ancho. Se desarrolla a una altura que va de los 4000 a los 3850 msnm, haciendo un desnivel de 150 metros, aunque con más pendiente cerca del Talud Norte y más plano al sur, cerca a los 3850 msnm. Esto se debe a que al norte hay un sistema de conos aluviales producto de aluviones antiguos y en particular del año 1942. Sobre este cono se ha desarrollado el cono aluvial del aluvión del 17 de octubre del 2010.

Este valle está rodeado por rocas ígneas intrusivas graníticas, sin embargo hacia el sur el valle se cierra por medio de depósitos de morrenas laterales y parte por morrenas frontales, dejando una salida de 30 m.



Foto 2. Ladera Norte y Planicie de Occororuyoc donde se ha depositado la mayor parte del aluvión del 17 de octubre del 2010.

##### Parte Baja

Desde los 3850 msnm y luego de pasar una morrena frontal (Foto 2), el valle tiene una forma en U que se va convirtiendo en V y se hace más estrecha, en una longitud de 1.7 km hasta la intersección con la quebrada Chicón a 3550 msnm. La pendiente promedio de 10 a 15°. Aquí el cauce de la quebrada corta depósitos morrénicos del fondo de la quebrada e incluso restos del aluvión de 1942. Se trata en general de depósitos aluviales antiguos compuestos por gravas con bloques de granitos y una matriz limo-arenosa.

El 17 de Octubre del 2010, es en esta parte que se originan nuevos aluviones producto del paso de agua y lodo, que no se depositó en la planicie de Occororuyoc.



Foto 3. Planicie y parte baja de la quebrada Occororuyoc.

#### 4.5. QUEBRADA CHICON

Esta quebrada nace cerca del nevado Chicón a 4500 msnm y va hasta la desembocadura con el río Vilcanota a 2850 msnm. La quebrada Occororuyoc es un afluente por la margen derecha. Es a partir de esta confluencia a 3550 msnm, que la quebrada Chicón tiene una longitud de 5 km hasta la ciudad de Urubamba. Aquí la quebrada es relativamente amplia (Foto 4), con una pendiente moderada a baja, donde se han desarrollado depósitos aluviales antiguos o pequeñas terrazas fluviales. En algunas partes, el río Chicón presenta pequeños meandros y en algunos tramos se nota que está encauzado. Sin embargo, el 17 de octubre, el aluvión que siguió por este cauce, en algunos lugares se desbordó, afectando casas y terrenos de cultivo como en San Isidro y Yanaconas.



Foto 4: Quebrada Chicón que tiene un piso de valle más amplio.

#### 4.6. CONO ALUVIAL DE URUBAMBA

El río Chicón es un afluente del río Vilcanota en su margen derecha. En la desembocadura de esta quebrada, sobre depósitos de varios conos aluviales muy antiguos se emplaza la ciudad de Urubamba, así como las zonas de expansión y terrenos agrícolas.

El cono aluvial de Urubamba está formado por las desembocaduras de los ríos Chicón y Pumahuancca (Foto 5). Este cono o abanico es el resultado de la superposición de varios aluviones procedentes de las quebradas Chicón y Pumahuancca antes de fundarse la ciudad. Este cono aluvial está conformado por bloques y gravas en una matriz de arcilla-limo-arena. Es de amplia extensión y baja pendiente.

El cono aluvial se extiende desde la cota aproximada de 2850 msnm, que corresponde al límite con el río Vilcanota, hasta las partes bajas de las laderas de los cerros que circundan a la ciudad y corresponde a la cota de 2950 msnm. Desde el punto de vista urbanístico, esta unidad geomorfológica es importante porque debido a sus grandes extensiones, ha permitido el crecimiento de la ciudad de Urubamba.



Foto 5: Conos aluviales de Pumahuanca y Chicón sobre las cuales se encuentra la ciudad de Urubamba.

## 5. GEODINÁMICA EXTERNA

Se hace una descripción de aluvión ocurrido el 17 de octubre del 2010, incluyendo las causas y los efectos. Para una mejor descripción se ha construido un mapa (Fig. 7) y la zona afectada se ha dividido en varios tramos:

### 5.1. TRAMO I: NEVADO CHICÓN – PLANICIE DE OCCORORUYOC

#### Desprendimiento de un bloque de hielo del glaciar y rebalse de la laguna s/n

Las evidencias de campo muestran que a una altura de 4875 msnm, un bloque de hielo de aproximadamente 100 x 30 m del borde del glaciar del nevado Chicón, se desprendió y cayó a una pequeña laguna s/n que se está formando, producto del deshielo del nevado. Esto ocasionó el rebalse de esta laguna de aproximadamente 100 x 100 m. Aparentemente este rebalse no fue violento, ya que la laguna s/n está rodeado de rocas graníticas con alturas que no lo permitieron. El agua del rebalse discurrió por un conducto subterráneo (túnel), que se encuentra entre la laguna, los afloramientos rocosos y en el borde no desprendido del glaciar (Foto 6). Este conducto ya existente previamente y también en vías de formación, drenó las aguas por un pequeño riachuelo, hasta la laguna Pucacocha situada a 4770 msnm.





Foto 6: Bloque de hielo desprendido del nevado Chicón; observándose en la parte baja, el conducto (Flecha) por donde desfogó el agua producida por el rebalse.

Producto de la caída del bloque de hielo a la laguna s/n, no solo se produjo el rebalse de esta, sino también la fragmentación en bloques menores de hielo que están flotando sobre la laguna o que se hallan al borde sobre terreno fijo (Fotos 7 y 8). Algunos de los bloques tienen diámetros de más de 2 m.



Fotos 7 y 8: Bloques fragmentados y dispersos sobre la laguna s/n y en los bordes.

#### **Aumento de caudal del cauce entre la laguna s/n y la laguna Pucacocha**

Desde el túnel natural por donde desagua la laguna s/n (Foto 6) hasta la laguna Pucacocha (100 x 60 m) (Fig. 6) hay un recorrido de aproximadamente 800 m de un riachuelo que normalmente tiene un caudal de algunos litros/seg, pero que el día del desprendimiento del bloque de nieve, fue mucho mayor (Foto 9) pero no tanto como para producir algún flujo aluviónico, ya que no hay evidencias de remoción ni transporte de material (Foto 10).



Fig. 6: Recorrido del rebalse de la laguna s/n que drenan sus aguas a la laguna Pucacocha. Imagen tomada antes del 2010 y posiblemente 2004?



Foto 9: Túnel de salida de agua de la laguna s/n y canal natural de conducción de las aguas.





Foto 10: Canal de recorrido entre la laguna s/n y la laguna Pucacocha.

### **Desborde de la laguna Pucacocha y erosión de material morrénico en la Ladera Norte**

La laguna Pucacocha está situada a una altura media de 4670 msnm y su desembocadura coincide con el cambio de pendiente entre la planicie de retroceso glaciar y la ladera empinada norte (Fotos 11 y 12). Cuando las aguas del rebalse de la laguna s/n llegaron a la laguna Pucacocha, esta fue rebasada rápidamente, ya que el caudal fue mayor al normal. Las aguas desembocaron pendiente abajo y erosionaron el material morrénico (bloques, gravas, arenas y arcillas sueltas) presente en la ladera, formando el aluvión principal que bajó a velocidad alta por esta ladera, erosionando continuamente y aumentando su masa.



Fotos 11 y 12. Laguna Pucacocha en cuyos bordes se aprecia evidencias del mayor caudal que sufrieron. Además se aprecia la desembocadura que coincide con el cambio de pendiente.

En la ladera empinada norte, se tiene una masa de morrenas donde la pendiente es muy alta y el comportamiento mecánico de los depósitos morrénicos es malo, es decir están casi sueltos, lo que ha favorecido la erosión (Fotos 13 y 14) y en consecuencia la formación del aluvión. Las morrenas son evidencias del retroceso del Chicón. El aluvión desarrollado en la Ladera Norte se ha depositado en la Planicie de Occoruyoc (Foto 15).





Fotos 13 y 14. Material morrénico en la ladera empinada que ha favorecido la erosión y la formación del aluvión del 17 de octubre del 2010.



Foto 15. Ladera Norte y más abajo la planicie de Occororuyoc donde se ha depositado la mayor parte del aluvión.

### **El aluvión en zona de la Ladera Empinada Norte y su llegada a la planicie de Occororuyoc**

La masa aluvial compuesta por un flujo con limo arenoso, con bloques y gravas viajó a alta velocidad por la ladera empinada norte, hasta llegar a la planicie de Occororuyoc donde pierde velocidad y empieza a depositarse formando un cono aluvial. Este nuevo cono aluvial formado el día 17 de octubre lo hace sobre una parte del cono aluvial formado el año 1942 (Foto 16) y que fue consecuencia de otro aluvión. En efecto, el aluvión de 1942 fue de mayores dimensiones y tuvo que ver con el rebalse de la laguna Azulcocha (Foto 17) por la caída de un borde del glaciar. El rebalse erosionó una masa morrénica de grandes dimensiones (Foto 18), mayores al erosionado el 17 de octubre del 2010.



Foto 16: Cono aluvial antiguo formado el año 1942 y al lado izquierdo el aluvión del 17 de octubre, y que es de menor tamaño.



Fotos 17 y 18: Laguna Azulcocha y morrenas erosionadas en 1942, los que dieron lugar a la formación del aluvión de ese año. Nótese la cicatriz del material erosionado (derecha)

## 5.2. TRAMO II: PLANICIE DE OCCORORUYOC

El cambio de pendiente entre la Ladera Norte y la planicie de Occororuyoc, corresponde a la cota 4000 msnm donde el aluvión se canaliza en una longitud aproximada de 400 metros (Foto 19). Luego el material se deposita formando el cono aluvial por sedimentación de flujo de detritos en un área aproximada de 450x400 metros (Foto 20). Encima del material aluviónico del flujo de detritos se tiene una capa muy delgada de lodo que es producto de la llegada de otros flujos más finos (Foto 21).





Foto 19: Canal por donde circuló el flujo aluviónico del 17 de octubre y luego la formación del cono aluvial por pérdida de velocidad.



Foto 20: Flujo de detritos con desborde de flujo de lodo en el cono aluvial de la planicie de Occororuyoc.



Foto 21: En la margen derecha de la planicie de Occororuyoc con flujo de detritos y en la margen izquierda con flujo de lodo.



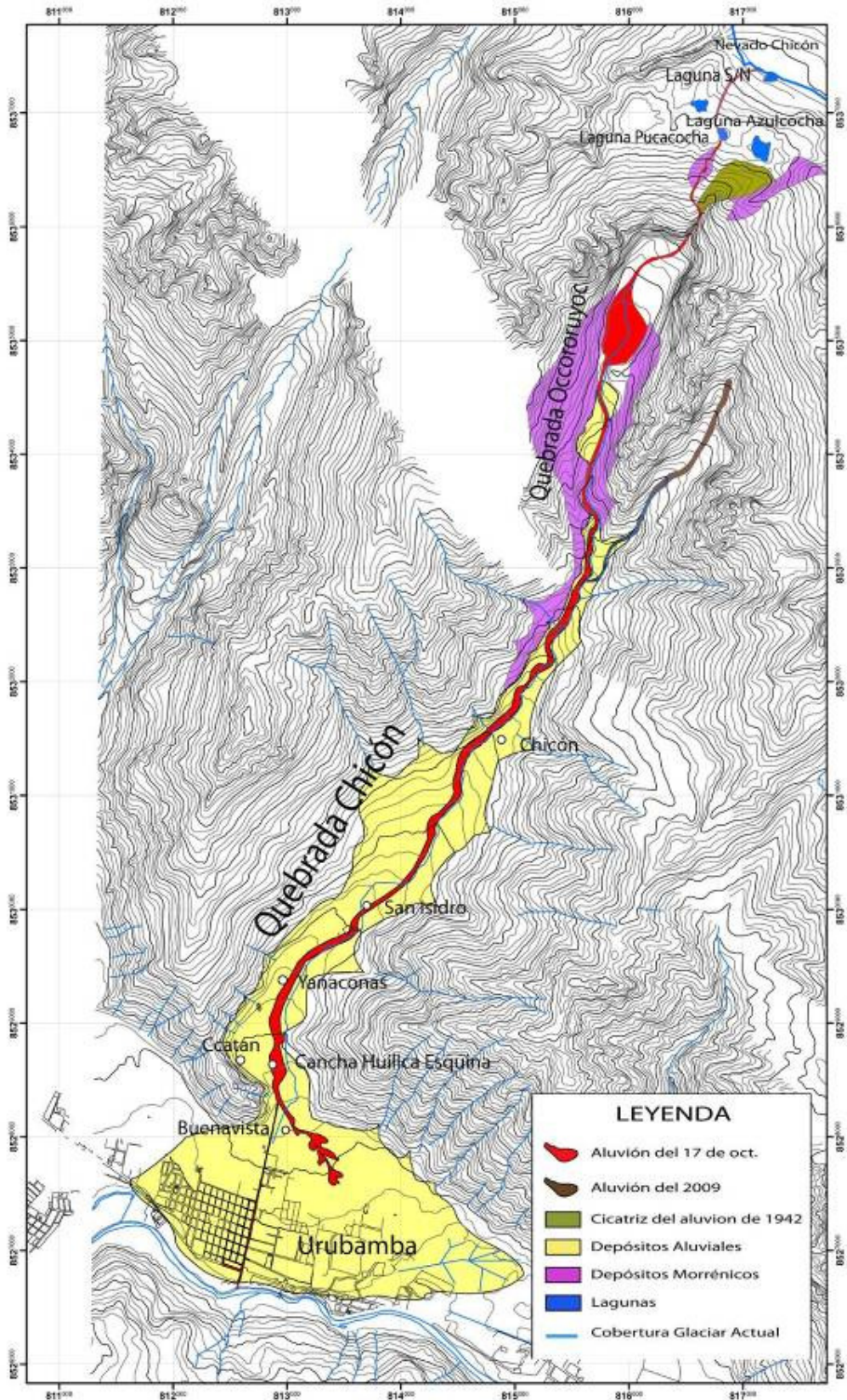


Fig. 7. Mapa geodinámico de las quebradas Occororuyoc y Chicón mostrando el aluvión (rojo) del 17 de octubre del 2010

### 5.3. TRAMO III: PARTE BAJA DE LA QUEBRADA OCCORORUYOC

Después del primer depósito de relleno en la planicie de Occororuyoc, la masa se comporta como un flujo de lodo que llega a una altura de 80 cm a la salida de la planicie a 3850 msnm (Foto 22). Luego el flujo de lodo sigue una quebrada profunda con un cauce muy estrecho y que erosiona los materiales aluviales antiguos y morrenas, así como activa derrumbes en las márgenes de la quebrada (Foto 23). Esto quiere decir que a partir de este lugar se generan nuevos aluviones, los que son favorecidos por la pendiente fuerte de la quebrada y la presencia de materia morrénico y aluvial antiguo.



Foto 22: Salida de la planicie con rastros de flujo de lodo que erosiona y va a formar un nuevo flujo de detritos sobre el río Occororuyoc.



Foto 23: Márgenes del río Occororuyoc erosionados por el nuevo flujo aluviónico que se va creando en este sector

En la parte baja de la quebrada Occororuyoc se han identificado 3 zonas de relleno de material aluvial de flujos de detritos, los que están relacionados a una menor pendiente (Foto 24), o de áreas relativamente planas. Las zonas de relleno de las Fotos 25 y 26, están acompañadas de



rebalse de flujo de lodos. Así mismo, se aprecia que donde hay curvaturas cerradas en el río, allí se ha producido zonas de erosión acompañadas de desbordes de flujos de lodo, que llegan hasta una altura de 2 metros.



Foto 24: Planicie aluvial antigua, donde se sitúa un primer relleno de material aluvial reciente.



Foto 25: Segunda zona de relleno de material del aluvial del 17 de octubre del 2010.



Foto 26: Tercera zona de relleno de material aluvial del 17 de octubre del 2010.



#### 5.4. TRAMO IV: QUEBRADA CHICÓN

Para la mejor descripción del flujo aluviónico, la quebrada Chicón se ha dividido en dos tramos: la primera desde la confluencia de los ríos Occororuyoc y Chicón (Foto 27) hasta el lugar denominado Chicón; luego desde Chicón hasta Cancha Huillca Esquina (Foto 28).



Foto 27: A la izquierda quebrada Occororuyoc y a la derecha quebrada Chicón. Nótese la parte de cauce erosionado y la terraza reciente producto del aluvión del 17 de octubre del 2010.



Foto 28: A la izquierda el poblado de Chicón y al fondo en la parte baja, el cerro Tantamarca. En la parte baja se ubica el sitio Cancha Huillca Esquina.

#### Confluencia de los ríos Occororuyoc y Chicón - Poblado Chicón

Este tramo se caracteriza tener el piso de valle más amplio que la quebrada Occororuyoc, sin embargo se conserva con una pendiente alta a moderada. Esta parte tienen grandes rellenos de material aluvial antiguo de flujos de detritos, compuesto de bloques de más de 3 metros de diámetro que se encuentran superficialmente (Foto 29) y además gravas en una matriz arcillo-limo-arenoso, producto de la actividad de los aluviones originados en el nevado Chicón en épocas pasadas.

Debido a la pendiente alta, el ultimo aluvión erosionó pequeñas terrazas fluviales y aluviales antiguas, pero también produjo desbordes de flujos de lodo que llegan de 2 a 2.5 metros de altura (Foto 30).



Foto 29: Piso de valle Chicón con grandes bloques de roca en la superficie.



Foto 30: Erosión y desborde de flujo de lodo del aluvión del 17 de octubre del 2010

### **Poblado Chicón - Cancha Huilca Esquina**

El segundo tramo se caracteriza por tener el piso de valle ancho y de menor pendiente, donde se han desarrollado buenos terrenos para la agricultura. En este tramo la masa aluvial de los flujos de detritos del 17 de octubre, erosionó las márgenes del río Chicón que está conformada por pequeñas terrazas fluviales y depósitos aluviales distales antiguos (Foto 31).



Foto 31: Márgenes con material aluvial antiguo del río Chicón, erosionadas por el aluvión del 17 de octubre del 2010.

Igualmente estos flujos de detritos se depositaron en varios lugares debido a la existencia de pequeños puentes que impidieron su paso (Foto 32). En efecto se han construido muchos puentes pequeños sobre el río Chicón, que aproximadamente tienen una longitud promedio de 7 metros y una altura promedio de 2.5 metros. Estos puentes son áreas de estrechamiento del cauce y represamiento, y como consecuencia, en estos sitios hubo en primer lugar la erosión por efecto del desborde del flujo aluviónico (Foto 33) y posteriormente, la colmatación del flujo de detritos (Foto 34).



Foto 32: Puente destruido (extremo izquierdo de la foto), con relleno de flujo de detritos, mostrando además desborde de flujo de lodo y aguas abajo con huellas de erosión.



Foto 33: Puente con margen erosionada-



Foto 34: Relleno del aluvión en San Isidro.



Se han observado hasta 6 puentes que se encuentran parcialmente colmatados que en su mayoría tienen las bases erosionadas. Las zonas con desbordes de flujos de lodos y a veces flujos de detritos se presentan también en las curvas que forman los ríos, en los estrechamientos del cauce del río (Foto 35) y en los estrechamientos que ha sufrido la canalización inca (Foto 36). Esta mecánica de rellenos de aluvión en el cauce del río Chicón es constante a lo largo de este tramo. Por ejemplo en Yanaconas, por la colmatación de un puente, el desborde del flujo de lodo en la margen izquierda afectó un condominio (Foto 37).



Fotos 35 y 36: Estrechamiento del canal del río (izquierda) y de la canalización inca (derecha) por ampliación de la carretera- En ambos casos hay erosión y desborde de flujo de detritos (aluvión del 17 de Octubre del 2010).



Foto 37: Desborde del flujo de lodo (aluvión del 17 de octubre del 2010) que afectó un condominio en la quebrada Chicón.

Por otro lado, en este tramo, en los poblados de San Isidro y Yanaconas, el flujo aluviónico ha destruido algunas viviendas (Foto 38), así como han sido arrasados o inundados terrenos de cultivo (Foto 39). Igualmente, la carretera de Urubamba hacia Chicón ha sufrido inundación por el flujo de detritos.



Foto 38: Vivienda destruida por el reciente aluvión.



Foto 39: Terreno de cultivo inundado por el flujo de lodo.

#### **5.4. TRAMO V: CONO ALUVIAL DE URUBAMBA**

Este último tramo corresponde al cono aluvial del Chicón. En Yanaconas debido a la existencia de una bocatoma de agua (Foto 40), parte del flujo aluviónico (flujo de detritos) se depositó y la otra parte siguió su recorrido, el que se repartió por un canal hacia la zona de Chichubamba y otra hacia la ciudad de Urubamba. Este flujo se encauzó por el canal inca, pero que debido a sus dimensiones pequeñas fue superado por el caudal del aluvión, produciendo un rebalse hacia la carretera (Foto 41) que se encuentra en la margen izquierda, hasta un puente. Luego la carretera pasa a la margen derecha del río Cachimayo.



Foto 40: Bocatoma colmatado con el flujo aluviónico reciente.



Foto 41: Carretera inundada por flujo aluviónico de detritos y de lodo.

En el tramo de Yanaconas al puente, el aluvión destruyó viviendas, colmató el canal e inundó la carretera hacia Chicón. Desde el puente, la quebrada se profundiza y el flujo aluviónico se encauzó sin afectar la carretera (Foto 42), sin embargo aproximadamente 500 metros aguas arriba del cementerio, ocurrió un represamiento de material aluvial de flujo de detritos debido a la presencia de bloques de 1 metro depositados en el canal. Este represamiento se evidencia por el rastro de lodo dejado en la pared de la margen izquierda del río, que llegó hasta los 4 metros de altura (Foto 43).





Foto 42: Tramo de la quebrada Chicón donde el flujo aluviónico se canalizó.



Foto 43. Último sitio de represamiento del aluvión y evidencias del flujo de lodo.

Luego de pasar el sitio de represamiento, la altura del desembalse solo llega a los dos metros, este hecho provocó que solo pasaran bloques con un promedio de 50 cm, gravas, arenas, limos y arcillas, que se canalizaron por la quebrada y llegaron hasta la canalización de la avenida Mariscal Castilla, que empieza en el cementerio (Foto 44). De este sitio el aluvión siguió su recorrido por el canal, hasta el puente del Jirón Zavala que sirvió como obstáculo para el libre paso del flujo de detritos, formándose un represamiento y la colmatación total del canal hasta el puente del colegio San Luis Gonzaga de Urubamba (retroceso de colmatación) (Fotos 45).

Posteriormente, parte del flujo aluviónico se desbordó por ambos márgenes de la canalización y circularon por la avenida Mariscal Castilla (Foto 46 y Fig. 8), desbordando en la margen derecha en el tramo del Jirón Zavala y el Jirón Comercio, como flujos de lodo y gravas hasta el jirón Arica y luego como flujos de lodo hasta el Jirón Grau. Luego en el tramo entre el Jirón Comercio y la Avenida Circunvalación, el flujo de detritos llegó hasta el Jirón San Ignacio y como flujo de lodo hasta el Jirón Grau (Fig. 8). Mientras en la margen izquierda el flujo de lodo inundó las viviendas colindantes con la avenida principal, sin embargo en el Jirón Comercio y las Avenidas 9 de Diciembre (Foto 47) y Convención, el flujo de lodo desbordó y llegó hasta aproximadamente 20





Foto 45: Canalización de la Av. Mariscal Castilla completamente colmatado por retroceso.



Foto 46: Rastros de flujo de detritos en la parte baja de la Av. Mariscal Castilla.





Foto 47: Avenida 9 de diciembre inundada por flujo de detritos y lodo.



Foto 48: Avenida Circunvalación inundado por flujo de lodo.

## CONCLUSIONES

En la quebrada Chicón del distrito de Urubamba, provincia de Urubamba, el día domingo 17 de Octubre del 2010 ocurrió un aluvión, producto de un desprendimiento de una pequeña masa (100 x 30m) del borde meridional del glaciar del Chicón, que llegó a la ciudad de Urubamba alrededor de las 23.35 hrs.

El desprendimiento de un bloque de hielo provocó el rebalse de una pequeña laguna (100 x 100m) a 4870 msnm. Este rebalse incrementó el caudal de un pequeño riachuelo que a su vez provocó el rebalse de la laguna Pucacocha (100 x 60m), que se halla al borde de una planicie o zona denominada de retroceso glaciar y al inicio de un talud de fuerte pendiente.

Las aguas rebalsadas erosionaron el material morrénico compuesto de bloques y gravas de rocas, arcillas, limos y arenas, que se halla colgado en la ladera de pendiente muy alta (> 60°). La erosión de este material, por la gran cantidad de agua, originó un flujo de detritos (aluvión) que descendió por la Ladera Norte hasta la quebrada Occororuyoc donde se depositó gran parte del volumen aluviónico y dejando pasar la parte líquida con sedimentos finos (Flujos de lodo).

Los flujos de lodo continuaron por la parte baja de la quebrada Occororuyoc, erosionando y formando otros nuevos aluviones de pequeña dimensión, los cuales fueron avanzando y depositándose por tramos hasta la ciudad de Urubamba.

Los pequeños aluviones a su paso por la quebrada Chicón, afectaron numerosas viviendas y puentes en las localidades de Yanaconas, Chichubamba y San Isidro de Chicón. En la ciudad de Urubamba afectó principalmente la Avenida Ramón Castilla, colmatando totalmente una parte del canal, inundando con flujo de lodo las viviendas ubicadas en ambos márgenes del río Cachimayo, así como depositando material aluviónico en la pista, en el Jr. Arica y algunas calles transversales a estas, llegando incluso a una esquina de la Plaza de Armas. Este fenómeno afectó unas 300 viviendas, inundó tierras de cultivo y hay más de 1,200 damnificados.

La causa principal tiene que ver con los cambios climáticos, que están produciendo el retroceso de los glaciares, tal como se aprecia en las reconstrucciones realizadas para este nevado, que en los últimos 10 años ha retrocedido localmente 50 m.

Los retrocesos en este caso, se dan con desprendimiento de bloques de hielo de los bordes del nevado, los cuales cuando están cerca de lagunas, producen rebalses como ha sido el caso del aluvión de 1942 y el reciente del 17 de octubre, que afectaron Urubamba.

De acuerdo al estudio del nevado Chicón, se seguirán produciendo desprendimientos de diferentes tamaños y erosión de material morrénico, algunos de los cuales pueden producir aluviones que en la mayoría de los casos serán pequeños. Sin embargo, la existencia de la planicie de Occororuyoc, constituye un dissipador natural donde se depositarán la mayor parte de los aluviones constituyendo un protector natural.

A pesar de existir la planicie de Occororuyoc, flujos de lodos lograrán pasar la misma y pueden ocasionar otros nuevos aluviones a lo largo de la parte baja de Occororuyoc y de la quebrada Chicón llegando a Urubamba, como los ocurridos los años 1942 y 2010.

## RECOMENDACIONES

Realizar el monitoreo constante del retroceso glaciar de los nevados Chicón y del vecino Pumahuancca, las lagunas, así como de las zonas susceptibles a generar aluviones, incluyendo las morrenas..

Se debe considerar la posibilidad de construir sistemas de alerta temprana y preparación de población en caso de otros aluviones y también sismos, teniendo en cuenta que la región es sísmicamente activa.

Dentro los aspectos técnicos, se debe ensanchar el cauce del río Chicón, principalmente cerca a las comunidades; así como el río Tullumayo, incluyendo la canalización de la Avenida Mariscal Castilla, para que pueda conducir los aluviones. Además, se debe considerar la canalización abierta total de la avenida antes mencionada.

Los puentes deben tener dimensiones que permitan el paso de los aluviones al menos los de pequeña dimensión como los ocurridos en 1942 y del presente año.

Todos los estudios a realizarse deben estar dentro del Plan de Ordenamiento Territorial del distrito de Urubamba.

Lima, 02 de Noviembre del 2010



Víctor Carlotto Caillaux



José Cárdenas Roque

## BIBLIOGRAFÍA

Carlotto, V., Gil, W., Cárdenas, J., & Chávez, R. (1996). Geología de los cuadrángulos de Urubamba y Calca. Hojas 27-r y 27-s. Inst. Geol. Min. Metal. Bol. Ser. A: Carta Geol. Nac., 65, 245 p.

Carlotto, V. (2005). Estudios Mapa de peligros de la ciudad de Urubamba. Informe Final. Proyecto Indeci – Pnud Per / 02/ 051. Ciudades Sostenibles, 79p.

AGRADECIMIENTOS. A las autoridades de Urubamba que apoyaron el trabajo de campo, al Alcalde Sr. Edy Cuellar y al Gobernador Sr. Hernan Delgado. A los estudiantes de la UNSAAC Jaime Zárate, Raúl Zela y Yadira Alagón por su colaboración en los trabajos de campo.