

## **RESULTADOS DEL TALLER INTERNACIONAL DE DESLIZAMIENTOS EN MACHU PICCHU, (CUSCO-PERÚ)**

Víctor Carlotto<sup>1,2</sup>, José Cárdenas<sup>2</sup> & Lionel Fidel<sup>1</sup>

<sup>1</sup>INGEMMET, Av. Canadá 1470, San Borja, Lima: vcarlotto@ingemmet.gob.pe

<sup>2</sup>Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Av. de la cultura, s/n Cusco cardenasroque@gmail.com

### **INTRODUCCIÓN**

Los días 12 y 13 de septiembre del 2005 se realizó en Machu Picchu Pueblo (Aguas Calientes) el Taller Internacional sobre Deslizamientos en Machu Picchu – Perú, organizado por el Consorcio Internacional de Deslizamientos (ICL), Instituto Nacional de Cultura (INC), Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA), Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) y la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC). En este taller se presentaron los resultados de los diferentes proyectos de investigación que vienen realizando las misiones japonesa, peruano-canadiense, italiana, checa y eslovaca.

Los resultados indican que en la Ciudadela Inca de Machu Picchu existen fenómenos geodinámicos, sin embargo no existe riesgo a gran escala sino fenómenos superficiales menores que deben ser monitoreados y tratados adecuadamente. Estas conclusiones en forma resumida expresa inexistencia de deslizamientos profundos y de grandes dimensiones que destruirían la Ciudadela Inca de Machu Picchu y que previamente había sido planteada por el profesor Sassa el año 2000. Desde esa época no estuvimos de acuerdo con esta hipótesis que alarmó a la colectividad mundial y a la UNESCO, al contrario, planteamos que los fenómenos que afectan a la ciudadela son deslizamientos superficiales y asentamientos.

### **EVOLUCIÓN GEOLÓGICA DE MACHU PICCHU**

Para comprender mejor los fenómenos expuestos hay que remontarse a la historia geológica del área (Carlotto et al., 1999). En efecto, la ciudadela y gran parte del Santuario Histórico de Machu Picchu se hallan sobre un macizo de rocas ígneas intrusivas del Batolito de Machu Picchu. Estas rocas son muy antiguas (formadas hace 250 Millones de años) y están afectadas por fallas y fracturas, también muy antiguas. Sobre este conjunto de rocas fracturadas, se han desarrollado depósitos superficiales y principalmente bloques de granitos que se han desprendido del macizo rocoso, formando lo que se denomina “caos granítico”. La Ciudadela Inca de Machu Picchu ha sido construida sobre este “caos granítico” (bloques de diferentes dimensiones, unidos en forma desordenada) en una zona bastante inestable, para lo cual los incas levantaron andenes (terrazas) y muros, con el objetivo de estabilizar el caos y luego recién construyeron sus viviendas, templos, palacios, etc (Fig. 1). Durante la ocupación inca los andenes y las construcciones eran adecuadamente conservados por un sistema de drenajes que ayudaba a evacuar las aguas de lluvias, que son abundantes en esta zona. Sin embargo, en la actualidad, la falta de techos en las construcciones y la no preservación y/o funcionamiento de estos drenes, hacen que las aguas penetren al suelo, lavando por una parte, las arcillas y limos que se hallan entre los bloques del caos granítico, y por otra parte, haciendo perder la capacidad de resistencia de los suelos existentes, y produciendo asentamientos, (tal como se observa en el Templo Principal, Templo de las Tres Ventanas, el Torreón, etc.) con el consiguiente desequilibrio y las separaciones de juntas entre las piedras construidas. Estos movimientos son muy lentos en el tiempo, pero de continuar así, en algunas decenas de años las construcciones se verán afectadas seriamente.

Además, en la ciudadela existen numerosos deslizamientos, parte de estos han sido estabilizados por los andenes incas, sin embargo, aquí también la falta de conservación de canales y drenes, han hecho que estos se reactiven o se muevan, tal como se aprecia en el sector agrícola, o en las laderas occidental y oriental.

## **RESULTADOS DE MONITOREOS**

La Misión Japonesa instaló extensómetros en la Ciudadela Inca de Machu Picchu, los cuales son aparatos que miden el movimiento superficial de los suelos. En este caso los movimientos registrados confirman la existencia de movimientos superficiales, los que están relacionados con los asentamientos y deslizamientos descritos líneas arriba. Sin embargo, con estos datos el profesor Sassa lanzó una hipótesis indicando que los movimientos superficiales eran prueba de un deslizamiento profundo que destruiría la Ciudadela. Esas ideas llamaron la atención internacional convocando a varias misiones científicas, como la italiana, la checa-eslovaca y la canadiense, además de la peruana. En efecto, el INGEMMET dentro del Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas con el soporte del Servicio Geológico de Canadá y la participación de la Universidad del Cusco, han desarrollado desde el año 2004 estudios de geofísica utilizando métodos electromagnéticos, de resistividad y georadar de penetración del suelo (GPR).

Luego de varios años de pugna científica entre las ideas nuestras y del profesor Sassa, por fin este mes de septiembre durante el Taller de Deslizamientos en Machu Picchu, todas las misiones aceptan que no hay deslizamientos profundos y de grandes dimensiones en Machu Picchu y que el modelo de caos granítico funciona adecuadamente ya que debajo de este conjunto de bloques de granitos se tiene un soporte rígido y estable de afloramientos graníticos, tal como lo muestra la geofísica de resistividades realizadas en la ciudadela. En efecto el perfil geofísico da valores altos que son consistentes con granitos, además de sectores de baja resistividad que parecen estar asociados con las terrazas, edificios agrícolas, deslizamientos superficiales, e igualmente rocas fracturadas con presencia de agua. Este perfil de resistividades no muestra ninguna anomalía que indique un plano de deslizamiento profundo. El método de radar de penetración del suelo (GPR) fue también una herramienta fundamental para confirmar la no existencia de planos de deslizamiento, todo lo contrario muestra una transición entre los afloramientos de granito y los bloques del caos granítico, y además el relleno de suelos que cimentaron los incas en la plaza principal, justo donde el profesor Sassa indica la cabecera del deslizamiento profundo.

Por otro lado, la Misión Italiana ha desarrollado, entre otras cosas, el monitoreo de la Ciudadela Inca de Machu Picchu utilizando interferometría de radar satelital y terrestre, Sistema de Posicionamiento Global-GPS, escáner láser, imágenes ópticas satelitales, donde demuestran la inexistencia de un deslizamiento grande y profundo que involucre a toda la Ciudadela.

La misión checa y eslovaca también ha estudiado los movimientos de pendientes a gran escala con mediciones extensométricas y las deformaciones en los afloramientos rocosos, concluyendo que un colapso a gran escala del sitio arqueológico es altamente improbable en condiciones medio ambientales actuales.

## **CONCLUSIONES**

Como se demuestra la Ciudadela Inca de Machu Picchu no está en peligro inminente de desaparecer o ser afectada y destruida por un deslizamiento profundo de grandes dimensiones como se había planteado y que alarmó a la comunidad científica mundial, con consecuencias turísticas funestas ya que luego de propaladas esas noticias se notó una baja en el flujo turístico. Sin embargo, en Machu Picchu existen deslizamientos superficiales que afectan localmente las laderas y las construcciones, así como los asentamientos, por lo que planteamos que estos deben ser monitoreados y tratados adecuadamente, y además deben ser priorizados y orientados en la protección y conservación de la Ciudadela de Machu Picchu.

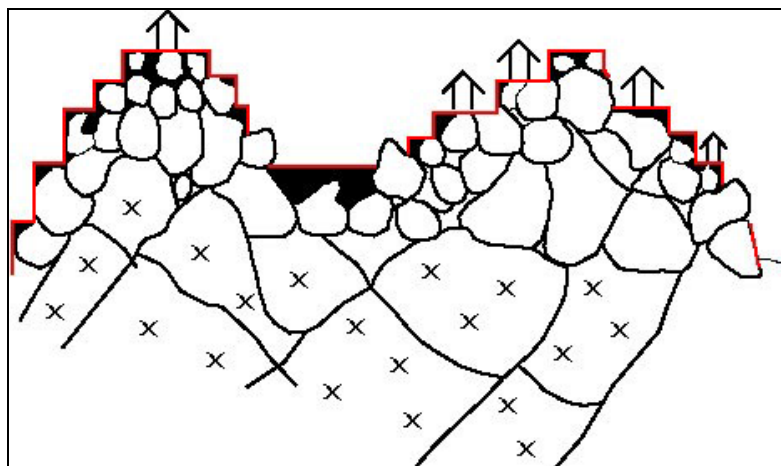


Fig. 1. Dibujo mostrando el caos granítico estabilizado por los incas

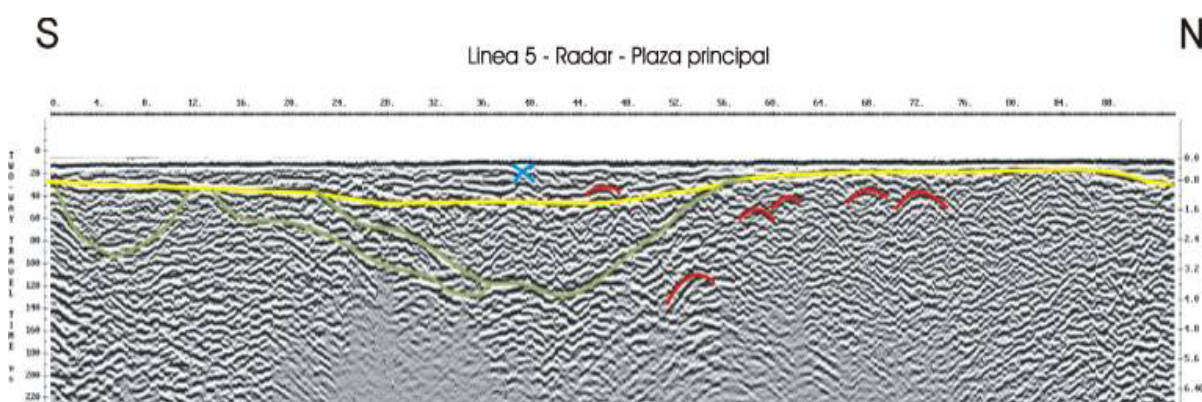


Fig. 2. Sección Georadar de la Plaza Principal mostrando una depresión entre las líneas verde y amarilla. La parte superior es un suelo artificial hecho por los incas. La depresión corresponde a gravas y bloques del caos granítico. Bajo la línea verde se interpreta el macizo rocoso

## CONCLUSIONES DEL TALLER INTERNACIONAL DE DESLIZAMIENTOS EN MACHU PICCHU, PERÚ (12 Y 13 de Septiembre del 2005)

### INGEMMET-PMA: GCA-UNSAAC

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú (INGEMMET) en base a los resultados de la investigaciones realizadas dentro del Proyecto Multinacional Andino: PMA-GCA con soporte del Servicio Geológico de Canadá, y además, con la participación de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), concluyen que no hay evidencias geológicas ni geofísicas de un deslizamiento profundo y de grandes dimensiones que pueda dañar o destruir la Ciudadela Inca de Machu Picchu. Los fenómenos existentes son superficiales y afectan las construcciones incas, por lo que proponemos que las investigaciones futuras sean priorizadas y orientadas en la protección y conservación de la ciudadela y otro sitios culturales del Santuario Histórico de Machu Picchu.

### LOS GRUPOS CHECOS Y ESLOVACOS

Movimientos prehistóricos de pendientes a gran escala de un tipo desconocido y cinemático (no hay datación disponible) son probables.

Mediciones extensométricas que cruzan la plaza no confirmaron la actividad reciente de movimientos en pendientes a gran escala.

Deformaciones en los afloramientos rocosos son principalmente de significado local. El índice monitoreado de desplazamiento da la capacidad de cuantificar recientes procesos (asentamientos diferenciales, deslizamientos superficiales, erosiones, etc.), los cuales son responsables de la deformación de algunas estructuras arqueológicas.

#### COLAPSO A GRAN ESCALA DEL SITIO ARQUEOLÓGICO ES ALTAMENTE IMPROBABLE EN CONDICIONES MEDIO AMBIENTALES ACTUALES

Es altamente apreciable un monitoreo continuo para clarificar los resultados finales contribuyendo a un plan maestro de protección del sitio.

El enfoque que presentamos es solamente una parte de los resultados metodológicamente multicomplejos (geomorfología, hidrogeología, ingeniería geológica), la cual debería proceder continuamente en estrecha cooperación con entidades y personal peruanos.

#### MISIÓN CIENTÍFICA ITALIANA

La Misión Científica Italiana en el área de Machu Picchu apuntó principalmente a proveer tecnologías nuevas y emergentes para el monitoreo de la inestabilidad de la pendiente (interferometría de radar satelital, interferometría round based, Sistema de Posicionamiento Global – GPS, escáner láser, imágenes ópticas satelitales).

La información colectada hasta la fecha y la medición en el campo muestran la presencia de movimientos de masa, caracterizados por diferentes tipologías, actividades y frecuencias, en toda el área investigada. Estos deslizamientos son substantivamente superficiales no conformando al momento, la hipótesis de un gran y profundo movimiento de masas que involucre a toda la Ciudadela.

El monitoreo y la recolección de datos todavía están en progreso y su implementación en un periodo próximo clarificará mejor la evolución de las pendientes.

#### EQUIPO JAPONÉS DE INVESTIGACIÓN EN DESLIZAMIENTOS

1. El Bloque n° 1 está activo actualmente, basado en el monitoreo de deslizamientos.
2. Son necesarios trabajos posteriores, investigación de campo y monitoreos amplios para evaluar riesgos de deslizamientos en el Bloque n° 2. Identificación de etapas precursoras de deslizamientos ubicados en lo profundo, son actualmente uno de las mas importantes tópicos en el campo de la ciencia de deslizamientos.

#### REFERENCIAS

- Carlotto, V. Cárdenas, J. Romero, D. Valdivia, W. Tintaya, D. (1999). Geología de los Cuadrángulos de Quillabamba y Machu Picchu. Boletín N° 127, Serie "A": Carta Geológica Nacional. INGEMMET, 317 p.
- Sassa, K., Fukuoka, H., & Shuzui, H. 2000. Field investigation of the slope instability at Inca's World Heritage in Machu Picchu, Peru. *Landslide News*. No.13, pp.37-41.