

ZONIFICACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL CAMINO INCA TRADICIONAL DE MACHU PICCHU

José Cárdenas¹, Víctor Carlotto², Tomasa Flores¹ & Vilma Cano¹

¹Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco. cardenasroque@gmail.com

²INGEMMET, Av. Canadá 1470 San Borja, Lima, vcarlotto@ingemmet.gob.pe

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años se han realizado varias evaluaciones geodinámicas del Camino Inca Tradicional (Qoriwayrachina-Ciudadela Inca de Machu Picchu). Los registros son de los años 1994, 2001, 2003 y recientemente del 2006. Los estudios del año 1994 son los primeros y contienen información valiosa ya que nos sirve de línea de base. Además estos fueron tomados en cuenta por el Instituto Nacional de Cultura para la conservación y mantenimiento del Camino lo que provocó mejoras si se compara al año 1994. Los registros posteriores han ayudado al monitoreo y a elaborar una zonificación de peligros geológicos y el impacto en el sistema medioambiental del Camino Inca Tradicional (Cárdenas et al., 2006). Los monitoreos realizados el 2006 muestran la validez de la zonificación.

ZONIFICACIÓN

Para la zonificación se han tomado varios parámetros basados del trabajo del modelo propuestos por Bustamante, 2000 (En Cárdenas, 2004) y modificado por Cárdenas (2004).

PARÁMETROS PARA LA ZONIFICACIÓN

La sistematización de los datos ha dado como resultado un cuadro de la evaluación geodinámica que se muestra parcialmente en la tabla 1. Aquí se describe el tramo del Camino, los fenómenos de geodinámica externa (movimiento en masa) que afectan el Camino, registro fotográfico, tipo de roca o suelo; estado de conservación. También se describe la pendiente de laderas (Tabla 2); clasificación del fenómeno (tamaño, intensidad y peligro del fenómeno), zonificación de peligro geológico; y finalmente se proponen medidas preventivas y correctivas para cada tramo (Tabla 3).

TAMAÑO DEL FENÓMENO

Pequeña dimensión (**Pd**) es decir pequeño movimiento y dimensiones métricas, no crean muchos problemas de seguridad. Relativamente Grandes (**Rg**) con mayor capacidad de movimiento y dimensiones métricas a decamétricas, pueden crear problemas de seguridad. En el Camino Inca los fenómenos son de pequeña dimensión.

INTENSIDAD DEL FENÓMENO

Muy destructivo (**MD**) es cuando hay destrucción total de centros poblados, obras de ingeniería y grandes extensiones de campos de cultivo. Destructivo (**D**) es cuando la destrucción es parcial en centros poblados, obras de ingeniería y campos de cultivo. Medio (**ME**) es cuando hay destrucción de algunas viviendas de un centro poblado, daños parciales de obras de ingeniería y campos de cultivo. Bajo (**BA**) es cuando hay daños menores, poco significativos en centros poblados, obras de ingeniería, solucionables fácilmente. En el camino mayormente los fenómenos tienen una intensidad baja y ocasionalmente media.

PELIGRO DEL FENÓMENO

Muy alto (**MA**) cuando la ocurrencia es inminente y periódica con efectos catastróficos, se relaciona a la intensidad MD y D. Alto (**A**) si la ocurrencia es no inmediata y tiene antecedentes de reactivaciones periódicas, correspondiendo a la intensidad D. Medio (**M**) cuando la evolución es lenta y con antecedentes esporádicos poco significativas; se considera una intensidad ME. Bajo (**B**) si la evolución es muy lenta, con ocurrencia a muy largo plazo y de intensidad BA. En el Camino Inca predominantemente el peligro es bajo y ocasionalmente medio.

ZONIFICACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO

Muy alta sensibilidad (**Zona 1**): áreas con fuertes problemas geológico y geotécnico. Las pendientes de las laderas son superiores a su límite crítico, afectados por intensa meteorización y fracturamiento que generan fenómenos de remoción en masa. Alta sensibilidad (**Zona 2**): áreas con peligro geodinámico alto e intensidad variable. Debido a la fuerte pendiente de sus laderas ocasionan daños a las obras civiles y centros poblados. Están afectados por frecuentes precipitaciones pluviales que favorecen la meteorización y fracturamiento, con pérdida de cohesión de la cubierta detrítica. Hay fluctuación del nivel freático que generan movimientos en masa. Mediana sensibilidad (**Zona 3**): áreas con ocurrencia de peligros geodinámicos que pueden ser atenuados con obras de drenaje y estabilización de suelos. Las pendientes son suaves a moderadas con nivel freático poco profundo que indica un alto grado de saturación de los suelos. Baja sensibilidad (**Zona 4**): áreas aparentemente favorables por tener superficies moderadamente onduladas. Se producen problemas de tipo litológico-estructural y geotécnico en presencia de peligros geológicos de poca magnitud. De escasa información (**Zona 5**): áreas con ausencia de peligros geodinámicos o con escasa información de su ocurrencia. Puntualmente se pueden presentar problemas geotécnicos e hidrogeológicos.

ÁREAS DE ZONIFICACIÓN

En base a la tabla 1 se han agrupado los tramos del camino con similitud en los parámetros de precipitación media anual, pendiente, litología (suelo/roca) y sobre todo tomando en cuenta los peligros geodinámicos (movimiento en masa) y zonificación de peligro relacionada a su sensibilidad que afectan el área del tramo analizado. Se han identificado 15 áreas, cada una con sus características propias (Tabla 4 y Mapas). Esto plantea un tratamiento diferente para la conservación natural y cultural de cada área.

Tabla 04: Resumen de zonificación de peligros geológicos en el Camino Inca Tradicional

| Pto. | Tramo | PPA (mm) | Pe (%) | Roca / suelo | Peligro geodinámico potencial | Z | Áreas de zonificación |
|-------------|------------------------|-----------|--------|------------------|--|-------|-----------------------|
| 01 14 | Km 0+000 Km 1+820 | 1100 | C-E | co, al | erla, erflu | 4 | I |
| 14 33 | Km 1+820 Km 5+260 | 1100 | D-E | co, esc, al, flu | erflu, der, dero, dero? | 4 a 3 | II |
| 33 41a | Km 5+260 Km 6+750 | 1100-1500 | E-F | al, flu, co | erflu, der?, dero?, aluvi3n? | 3 a 2 | III |
| 41a 51 | Km 6+750 Km 8+140 | 1500 | E-F | co, p | des, erla, erflu, der, dero?, aluvi3n? | 3 a 2 | IV |
| 51 63 | Km 8+140 Km 9+870 | 1500-1000 | E-F | co, esc, p, g | erflu, der, erla, dero?, des? | 2 a 3 | V |
| 63 71 | Km 9+870 Km 11+760 | 1000 | F | co, flugla, g | erla, dero, suf, der? | 3 a 4 | VI |
| 71 75 | Km 11+760 Km 12+200 | 1000 | F | flugla, g | erla, suf, dero?, der? | 3 | VII |
| 75 85 | Km 12+200 Km 14+000 | 1500-1900 | F-G | co, esc, g | erla, suf, dero, der? | 3 a 2 | VIII |
| 85 93a | Km 14+000 Km 15+450 | 1900-1500 | F-D-G | co, esc, g | erla, suf, dero?, der? | 4 | IX |
| 93a 108 | Km 15+450 Km 17+270 | 1900 | F-G | co, gla, la, g | erla, suf, as, rep, as?, rep? | 4 | X |
| 108 172 | Km 17+270 Km 20+470 | 1900 | G-F | co, g | erla, suf, rep, as, dero?, rep?, as? | 4 a 3 | XI |
| 172 216 | Km 20+470 Km 24+330 | 1900-1950 | F | co, g | suf, rep, erla, as, as?, dero? | 3 a 4 | XII |
| 216 234 | Km 24+330 Km 25+590 | 1950 | F | co, g | erla, suf, der, dero, dero?, der? | 3 | XIII |
| 234 291a | Km 25+590 Km 26+900 | 1950 | F | co | des, der, erla, suf, dero, rep, as? | 3 a 4 | XIV |
| 291a 293 | Km 26+900 Km 27+150 | 1950 | F | co | suf | 4 | XV |

(Cárdenas, 2004).

Abreviatura de tabla 4

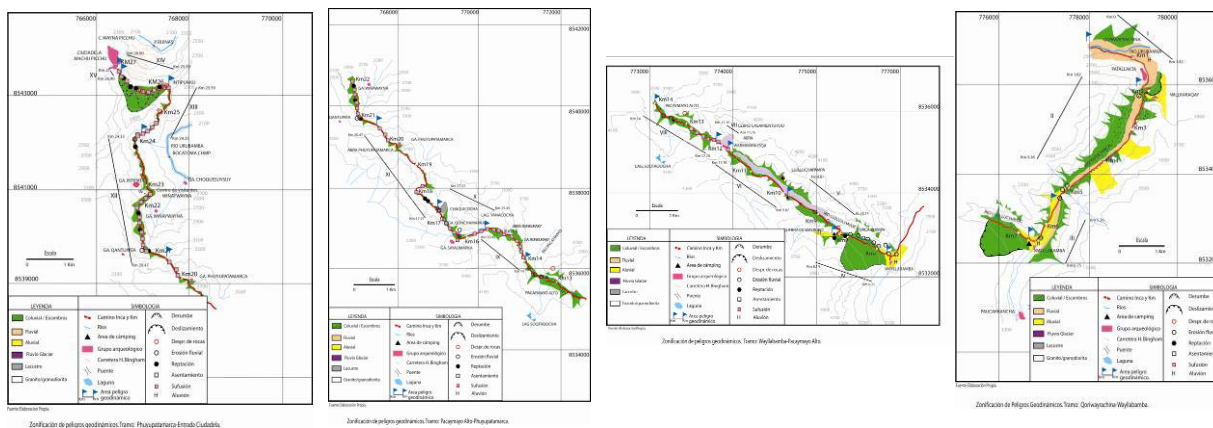
Precipitación promedio anual (PPA)

Pendiente (Pe): B: ligeramente inclinada (2-4 %); C: Moderadamente inclinada (4-8 %); D: fuertemente inclinada (8-15 %); E: Moderadamente inclinada (15-25 %); F: Empinada (25-50 %); G: Muy empinada (50-75 %).

Roca/Suelo: teflu: terraza fluvial; co: coluvial; al: aluvial; g: granito; int: intemperizado; gla: glaciar; p: pizarra; flu fluvial; esc: escombros; fr: fracturado; la: lacustre.

Peligro geodinámico potencial: erla: erosión de laderas; der: derrumbe; Des: deslizamiento; erflu: erosión fluvial; dero: desprendimiento de rocas; rep: reptación; suf: sufusión; as: asentamiento.

Zonificación de peligro (Z): Alta sensibilidad (**Zona 2**), Mediana sensibilidad (**Zona 3**), Baja sensibilidad (**Zona 4**).



Mapas del Camino Inca Tradicional, mostrando las áreas de zonificación de peligros geológicos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los fenómenos de geodinámica externa o movimientos en masa que afectan al Camino Inca son: erosión de laderas, sufusión, derrumbes, deslizamientos, desprendimiento de rocas, reptaciones, erosión de ríos y asentamientos. Estos fenómenos, casi todos relacionados a los efectos del agua, han producido y están produciendo la destrucción parcial o total de algunos tramos del Camino. Los fenómenos geodinámicos son de pequeña dimensión, intensidad baja a media y el peligro es de grado bajo y a veces medio. Se ha zonificado e identificado 15 áreas con sus características propias para poderlos tratar y conservar.

Se recomienda continuar con el monitoreo y evaluación detallada de los peligros geológicos en el Camino Inca y alrededores. Las principales medidas correctivas recomendables son la restauración, refacción, construcción, reconstrucción, mantenimiento constante e impermeabilización de pisos, muros de contención, drenes, plataformas, encauzamientos y gradas incas del Camino. Las obras se deberán hacer en lo posible tomando en cuenta las técnicas incas que resultan menos costosas y casi siempre más eficaces.

REFERENCIAS

- Cárdenas, J. (2003). Geología, geodinámica, monitoreo, hipótesis de deslizamientos profundos de la Ciudadela Inca de Machu Picchu. Informe final de la auditoría ambiental de Machu Picchu-Contraloría General de la República. Cusco.
- Cárdenas, J. (2004). Evaluación del impacto de los peligros de geodinámica externa en el Camino Inca Tradicional y Ciudadela de Machu Picchu, Cusco-Perú, 2003-2004. Tesis maestría UCM. Arequipa, 175p.
- Cárdenas, J., Carlotto, V., Cano, V. (2004). Geología, geodinámica, y monitoreos del Camino Inca de Machu Picchu. XII Congreso Peruano de Geología, Lima, Perú. Resúmenes Extendidos, p 3-6.
- Cárdenas, J., Carlotto, V., Flores, T.; Cano, V. (2006). Impacto en el sistema medioambiental del Camino Inca Tradicional y Ciudadela Inca de Machu Picchu. XIII Congreso Peruano de Geología.
- Cárdenas, J.; Flores, T.; Oviedo, M. (2006). Monitoreo de los peligros geológicos del Camino Inca Tradicional (Qoriwayrachina-Ciudadela Inca de Machu Picchu). En preparación.
- Carlotto, V.; Cárdenas, J.; Chávez, R.; Pumayalli, R.; Román, F. (1994). Estudio geológico y de conservación del Camino Inca de Machu Picchu. PNUD-UNESCO, Lima. 57 p.
- Carlotto, V.; Cárdenas, J.; Tintaya, D.; Acosta, H.; Cano, V.; Ibarra, I. (2001). Evaluación geológica-geodinámica, de riesgo y conservación del Camino Inca a Machu Picchu. UNSAAC-Cusco.
- INGEMMET (1997). Álbum de mapas de zonificación de riesgos fisiográficos y climatológicos del Perú - Memoria descriptiva. Bol. N° 17, Serie C - Dirección de Geotecnia, Lima, 83 p.
- INRENA (1998). Plan Maestro del Santuario Histórico de Machu Picchu. Lima. 350 p.

Tabla 1. Evaluación Geodinámica del Camino Inca Tradicional

| Pto | Tramo | Roca suelo | Pe % | FG | E 2001 | E 1994 | Chasif. Z | Medidas preventivas | Medidas Correctivas |
|-----------|----------------------|---------------|---------|-----------------------------------|--------|-----------|--------------|--|--|
| 01 14 | Km 0+000 Km 1+820 | teflu | D | erla | R | R | 4 | Mantenimiento constante del Camino hasta Wayllabamba (limpieza de drenajes, afirmado de losas movidas, corte de vegetación, retiro de piedras del camino, etc.). Evitar deforestación hasta Wayllabamba. | Reforestación. Drenajes. |
| 04 07 | Km 0+180 Km 0+360 | teflu | D | der pab, erla | R | R | 3 | Evitar fugas de canal de agua, regulando el caudal en la bocanoma. | Tratamiento de cárcavas: Reforestación. Muros de contención. Diques. |
| 11 14 | Km 1+170 Km 1+820 | co | D | der en andenes | R | R | 3 | GA. Patallakia: Conservación de andenes. Corte de vegetación. Evaluación arqueológica, geodinámica, geotécnica y mantenimiento constante de construcciones incas. | Arreglo de andenes. Drenaje. |
| 14 16a | Km 1+820 Km 2+080 | co | D | des an pab par, erla, erflu | R-B | R-M | 2-3 | Evaluación geodinámica detallada del deslizamiento, incluyendo monitoreo. Rehabilitación de drenajes incas. Evitar el transporte en acémilas hasta la qda. Wayruro. | Reforestación. Drenajes. Muros de contención. Impermeabilización de pisos. |
| 16a 16 | Km 2+080 Km 2+100 | al | D | der par, erla | R-B | R-M | 4 | Acciones a realizar en la qda. Kusichaca hasta Wayllabamba: Evaluación geodinámica de laderas, margen derecha. Realizar obras de encauzamiento, para evitar erosión de márgenes. Evaluación arqueológica, geodinámica, geotécnica y mantenimiento constante de construcciones incas (T1*). Evitar cortes de talud en el Camino. | Acciones a realizar hasta Wayllabamba: Reforestación y forestación. Drenajes. Encauzamiento (T1**). Tratamiento de taludes. Zanjas de coronación. |

(Cárdenas, 2004).

Roca/suelo: teflu: terraza fluvial; co: coluvial; al: aluvial.

Estado del camino (E): B: bueno; R: regular; M: malo.

Fenómeno geodinámico (FG): erla: erosión de laderas; der: derrumbe; pab: pendiente abajo; par: pendiente arriba; Des: deslizamiento; an: antiguo; ac: activo; erflu: erosión fluvial.

ABREVIATURA Tramo Qoriwaynachina-Wayllabamba

T1*: Evaluación geodinámica de laderas, margen derecha. Realizar obras de encauzamiento, para evitar erosión de márgenes. Evaluación arqueológica, geodinámica, geotécnica y mantenimiento constante de construcciones incas.

T1**: Reforestación y forestación. Drenajes. Encauzamiento.

Tabla 2: Rango de pendientes de terreno

| CLASE | RANGO (%) | TÉRMINO DESCRIPTIVO |
|-------|-----------|-------------------------|
| A | 0-2 | Plano casi a nivel |
| B | 2-4 | Ligeramente inclinada |
| C | 4-8 | Moderadamente inclinada |
| D | 8-15 | Fuertemente inclinada |
| E | 15-25 | Moderadamente empinada |
| F | 25-50 | Empinada |
| G | 50-75 | Muy empinada |

Plan Maestro del Santuario Histórico de Machu Picchu (1998).

Tabla 3: Rangos de clasificación, y zonificación de fenómenos geodinámicos

| CLASIFICACIÓN | | | ZONIFICACIÓN DE PELIGRO** (Z) |
|--|--|--|--|
| Tamaño* | Intensidad del fenómeno* | Peligro del Fenómeno* | |
| Pd: Pequeña dimensión Rg: Relativamente grandes | MD: Muy destructivo D: Destructivo ME: Medio BA: Bajo | MA: Muy alto A: Alto M: Medio B: Bajo | Zona 1: Muy alta sensibilidad. Zona 2: Alta sensibilidad Zona 3: Mediana sensibilidad. Zona 4: Baja sensibilidad Zona 5: Escasa información |

*Bustamante 2000 (En Cárdenas, 2004); **INGEMMET (1997).