

GEOLOGÍA, GEODINÁMICA Y COMPORTAMIENTO DE UN FLUJO LENTO Y SECO EN LA QUEBRADA CHINGO GRANDE-SAYLLA (CUSCO)

Víctor Carlotto^{1,2}, Martín Oviedo^{2,3}, Patricio Valderrama¹, Lionel Fidel¹, Dana Gutiérrez⁴,
Ronald Concha², Igor Astete²

¹INGEMMET, Av. Canadá 1470 San Borja, Lima, vcarlotto@ingemmet.gob.pe

²Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco UNSAAC

³Centro Guaman Poma de Ayala, Jr. Retiro 346 Urb. Tahuantinsuyo-Cusco

⁴Universidad Nacional San Agustín de Arequipa UNSA

INTRODUCCIÓN

En la quebrada Chingo Grande, en el distrito de Saylla, provincia y región Cusco, el día 29 de noviembre del 2007 ocurrió un fenómeno de movimiento en masa compuesto por un deslizamiento y flujos tipo aluvión, pero de movimiento muy lento y algo seco (Carlotto, 2007). El fenómeno produjo daños y afectó a unas 8 familias debido a que destruyó sus viviendas que estaban construidas en la quebrada. El flujo lento dio tiempo a que las personas salven sus vidas y sus pertenencias. El objetivo del presente trabajo fue estudiar la geología, la geodinámica externa incluyendo la estabilidad de taludes del deslizamiento, además del comportamiento del flujo ocurrido el día 29 de noviembre del 2007 (29-11-07), con la finalidad de determinar su grado de peligrosidad y realizar las recomendaciones para la toma de acciones de prevención y mitigación (Carlotto et al., 2008).

GEOLOGÍA

La zona de estudio corresponde a la quebrada Chingo Grande que se halla entre el piso de valle del río Huatanay y la ladera norte de las Serranías de Vilcacongá (Foto 1). La quebrada tiene una dirección NE-SO y N-S (Fig. 1) y en la parte afectada se halla entre los 3150 y 3250 msnm. Nace a una altura de 4150 msnm y confluye a 3160 msnm, en la quebrada aledaña situado al este (según foto aérea del IGN del año 1963), la que a su vez desemboca en el río Huatanay a 3125 msnm (Figs 1 y 2). La diferencia de cotas en esta quebrada es de casi 1000 m, y la pendiente es de 14° en promedio. En la parte alta, la quebrada es relativamente estable por la presencia de areniscas de la Formación Kayra. En la parte media aparecen deslizamientos antiguos, en vías de reactivación, cárcavas estables e inestables, ya que se hallan sobre afloramientos de areniscas y lutitas frágiles y deleznales de las formaciones Quilque y Chilca. En la parte baja, es frecuente ver cárcavas desarrolladas principalmente sobre depósitos aluviales y coluviales. En la desembocadura, las fotos aéreas del año 1990, muestran que la quebrada ya estaba rellena mostrando pastos y terrenos de cultivo.

Las unidades estratigráficas presentes y que están en relación con los fenómenos de movimiento en masa son las formaciones Puquín, Quilque, Chilca, Kayra y depósitos cuaternarios (Figs. 1 y 2).

La Formación Puquín aflora en el núcleo del anticlinal de Saylla (Fig. 1) y está compuesta por 100 a 300 m de lutitas multicolores de origen lacustre, intercaladas con areniscas de origen fluvial del Cretácico superior. La Formación Quilque está constituida por más de 250 metros de lutitas, areniscas de color rojo y microconglomerados de origen lacustre y fluvial, de edad Paleocena inferior; la mayor cantidad de cárcavas, deslizamientos antiguos y activos se han originado sobre estos materiales frágiles y deleznales, que además están fuertemente fracturados. La Formación Chilca está compuesta de lutitas rojas, margas y areniscas calcáreas de medios lacustres y fluviales, de edad Paleoceno superior y con más de 200 m de espesor. La Formación Kayra del Eoceno-Oligoceno se presenta en la parte alta de la quebrada Chingo Grande y se extiende ampliamente en la ladera sur del valle del Huatanay, con areniscas bastante estables. Los depósitos cuaternarios reconocidos son los aluviales y coluviales (Figs. 1 y 2). Los depósitos aluviales están compuestos por gravas arenarcillosas con clastos de hasta 30 cm, subangulosos a subredondeados; siendo estos materiales los que han sido afectados por el deslizamiento del 29-11-07 y arrastrados por los flujos. Los depósitos coluviales son arcillas gravosas siendo en parte componente de deslizamientos antiguos.

Las rocas de la zona de estudio son parte del anticlinal de Saylla de dirección NO-SE (Fig. 1). El eje del anticlinal pasa por la parte media de la quebrada Chingo Grande, lo que hace que la roca esté fuertemente fracturada y favorezca su disgregación. Las fracturas muestran dos direcciones principales NO-SE y NE-SO. En consecuencia, se puede deducir que la mayor cantidad de fenómenos de movimiento en masa que se halla en el eje de anticlinal, está en relación a la mayor deformación, lo que es un factor adicional a las magras características mecánicas que presentan las rocas, particularmente de la formación Quilque (Fig. 1).

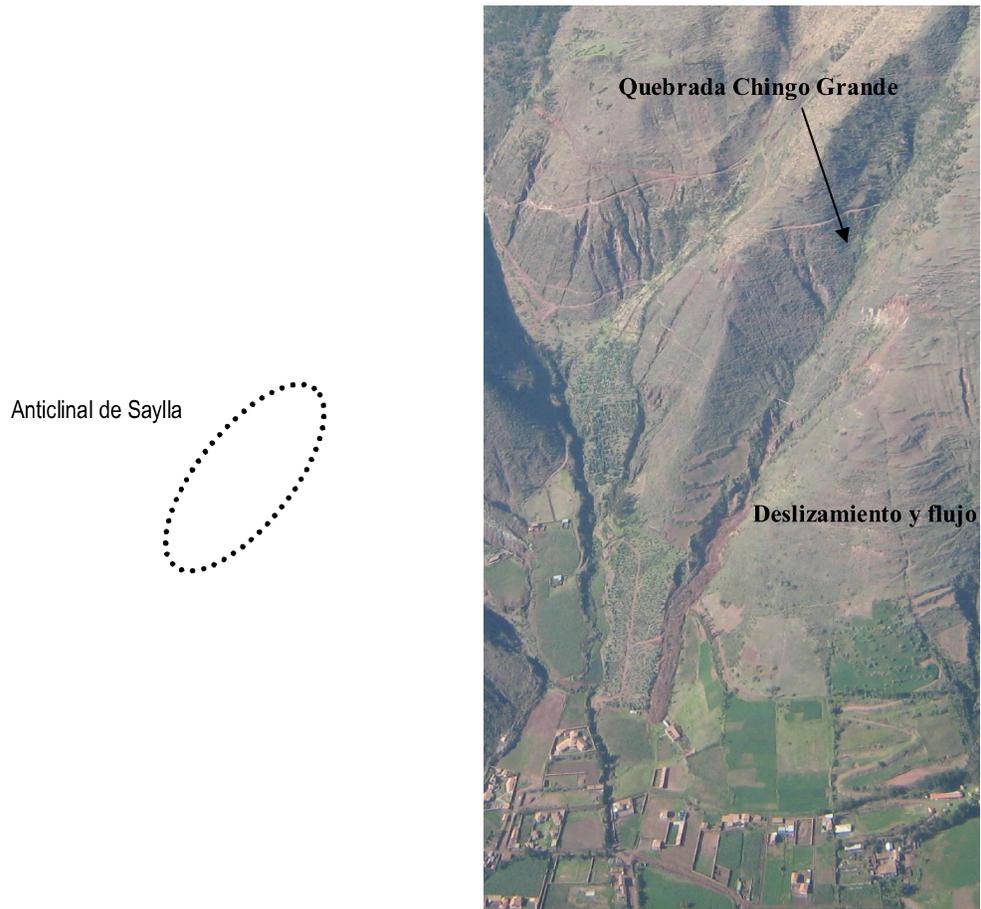


Fig. 1. Mapa Geológico y foto aérea de la zona de Saylla y alrededores mostrando la zona donde se produjo el deslizamiento y flujo el 29 de noviembre del 2007

GEODINÁMICA EXTERNA

El día 29 de noviembre del 2007 a las 5.45 p.m. se inició un fenómeno de movimiento en masa compuesto, es decir, formado por un deslizamiento mayor y flujos de detritos. Este fenómeno se originó en la parte media de la quebrada Chingo Grande a una altitud aproximada entre 3250 y 3275 msnm. Las escarpas del deslizamiento se hallan en la margen izquierda donde afectó los depósitos aluviales y muy escasamente los coluviales de un antiguo deslizamiento (Figs 1 y 2). El material involucrado en el deslizamiento corresponde a gravas areno-arcillosas. En la parte baja de la escarpa existían algunos manantes que alimentaban la intensa vegetación nativa y también de eucaliptos. El material deslizado se transformó en un flujo (Foto 1) pero de movimiento muy lento lo que permitió que las familias afectadas puedan salvarse e incluso salvar alguna de sus pertenencias. Como

consecuencia del deslizamiento, el caudal de los manantes que era de 1 a 2 lt/s, se incrementó a más de 10 lt/s. Semanas después del evento, el caudal bajó a sus índices normales.

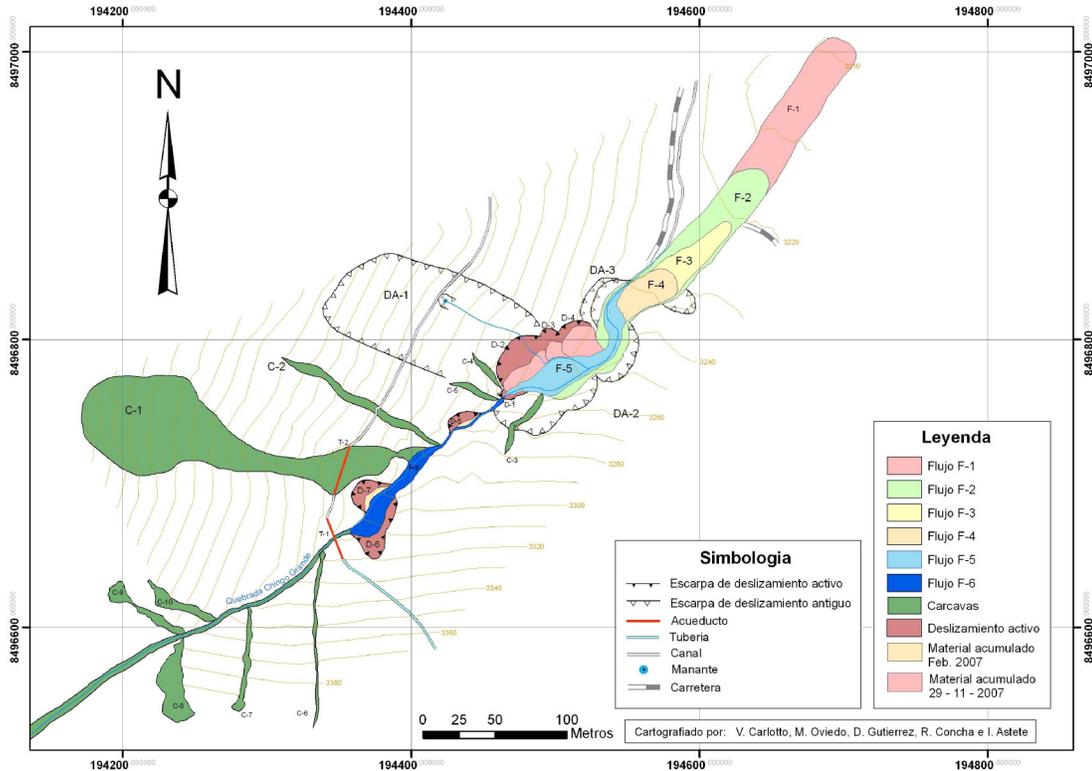


Foto 1. Deslizamiento y flujo que afectó la quebrada Chingo Grande el 29-11-07

El deslizamiento activo con dimensiones de 100 x 25m presenta 4 escarpas menores, así como material de relleno de la última reactivación, el que sobreyace sobre material deslizado de las primeras reactivaciones y primeros flujos. Se han cartografiado las 4 escarpas (D-1, D-2, D-3 y D-4) que son

continuas y superpuestas, localizados entre el eje de la quebrada y la margen izquierda (Fig. 2, Foto 2). Las escarpas en general tienen pendientes mayores a los 70° y se hallan inestables ya que se ven bloques fracturados en un estado de volcamiento (topples).

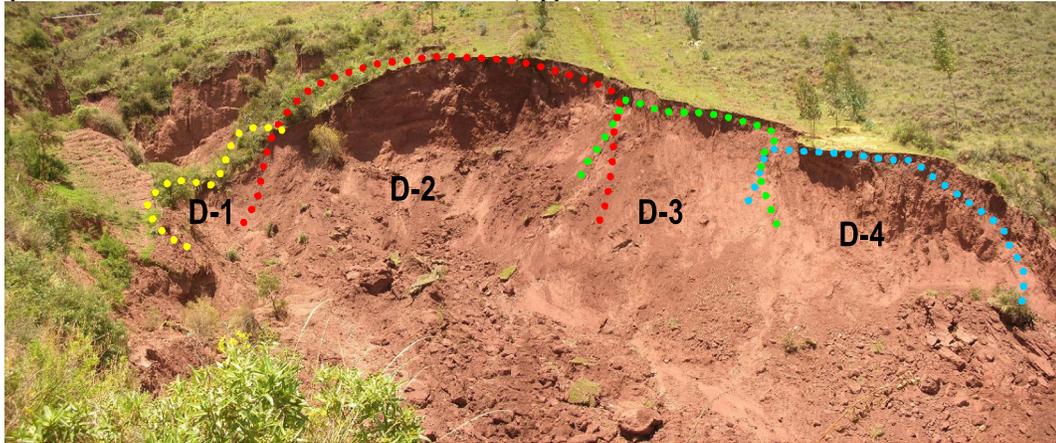


Foto 2. Escarpas de deslizamientos menores que son parte del deslizamiento mayor del 29-11-07

El material deslizado se transformó de manera sucesiva en varios flujos (F-1, F-2, F-3, F-4 y F-5) los que funcionaron de manera más o menos continua y sincrónica. La longitud total de los flujos es 400 m y el ancho promedio de 20 m. Estos flujos a excepción del F-5, son fenómenos poco frecuentes, por dos motivos: primero, el movimiento fue muy lento ya que recorrió aproximadamente 400 m entre las 5.45 p.m. y las 8 p.m., es decir a una velocidad de 162 m/h ó 0.045 m/s. La otra características, es que los flujos, como ejemplo el F-1 de 6 m de espesor, están compuestos por gravas arenosas prácticamente secas (Foto 3). Sin embargo, la base del flujo con arcillas y limos si estaba saturada de agua y constituyó el nivel de despegue que resbaló por el eje de la quebrada guiando el material previamente deslizado. Los otros flujos, F-2, F-3 y F-4, de menos espesores (entre 2 y 3 m) se superponen sucesivamente (Fig. 2) y su comportamiento fue similar al flujo F-1, donde solo los niveles de despegue mostraron escapes de agua y el resto de la masa estaba casi seca. Por este motivo se aprecian estrías en las laderas de las quebradas (de hasta 4 m de altura, Foto 3) producto de la fricción del material casi seco que descendió por la quebrada. Además, en la masa de los flujos se aprecian bloques métricos basculados de gravas limo-arenosas, que han transportado árboles y arbustos (Foto 3). Solamente el flujo F-5 tuvo características de un aluvión o huayco propiamente dicho por estar la masa saturada de agua y actuar como un típico fluido no sobrepasando los límites del flujo F-4 (Fig. 2).



Foto 3. Bloques de depósitos aluviales con árboles incluidos que han sido llevados superficialmente por el flujo F-1, y estrías en el borde de la quebrada

En la parte media de la quebrada, entre la zona de deslizamiento mayor y flujo del 29-11-07 y dos tuberías de un acueducto, se han identificado tres deslizamientos, D-6 (Fig. 2) que provocó un flujo F-

6, así como la activación de los deslizamientos D-5 y D-7 por la erosión del flujo. Según los pobladores estos fenómenos se originaron en el mes de febrero del 2007.

La quebrada Chingo Grande por sus características morfológicas, litológicas y las fuertes pendientes de sus laderas ha desarrollado varias cárcavas, derrumbes y deslizamientos, muchos de los cuales en vías de reactivación. Además por esta quebrada pasan un canal y acueductos. Algunas personas pensaron que el evento del 29-11-07 estaba en relación a posibles fugas de esta obra, para lo cual se realizó una evaluación del área, y se descarta esta aseveración

Se ha estudiado la estabilidad del Deslizamiento DA-1 que se localiza encima del deslizamiento activo del 29-11-07 (Fig. 2) para ver si esta última la afectó. Se trata de un deslizamiento rotacional situado a una altura de 3357 m; tiene una dimensión de 87 x 150 m, desnivel de 111 m y una pendiente de 61°. El deslizamiento superficial tiene depósitos coluviales de 2 a 4 m de espesor, de arcillas arenosas con clastos de gravas, que yacen a las areniscas de la Formación Quilque. En la parte media del deslizamiento se sitúan algunos manantes de caudal mínimo < a 0.5 lt/s que se incrementan en la época de lluvias, y que han formado arroyuelos e incluso evolucionando a cárcavas. Encima de los manantes y cárcavas pasa el canal y tuberías de irrigación que en la actualidad no muestra fugas de agua. Los materiales involucrados en el análisis comprenden arcillas arenosas (84%) y gravas (16%) caracterizando un suelo de tipo CL de baja plasticidad, compactas, secas (humedad natural del 9%). Los valores de índices de fluidez y la expansividad del terreno son $I_f=1.15$, $I_d=0.43$. Los datos de entrada para el cálculo de la estabilidad en las arcillas, son el peso específico $\gamma=1.727 \text{ gr/cm}^3$; cohesión $c=19 \text{ KN/m}^2$; ángulo de fricción $\Phi=28^\circ$. En relación al macizo rocoso los valores de γ , c y Φ fueron obtenidos y estimados mediante tablas. Dada las condiciones descritas se ha adoptado el uso del programa SLIDE v 5.0 que es una herramienta de evaluación de la estabilidad de taludes en 2D en equilibrio límite para taludes en suelos y rocas. El análisis se basa en la suposición de un deslizamiento poco profundo circular que se encuentra sujeto a carga gravitacional, presencia de agua subterránea y cargas sísmicas pseudos-estáticas. El área de estudio, se localiza en la Zona de Sismicidad Intermedia, en donde se producirá una aceleración máxima de 0,32 g con una probabilidad de 0,006%, siendo el periodo medio de retorno del sismo de 500 años. Para este caso consideramos una aceleración efectiva de 0,21 g teniendo en cuenta el periodo predominante del suelo. Luego de haber realizado el análisis, el Deslizamiento DA-1 se considera estable en los dos casos presentados, teniendo en cuenta que se han adoptado parámetros de cálculo (cohesión, ángulo de fricción, sismicidad, presencia de agua en la falla) en condiciones extremas. En conclusión, la evaluación de estabilidad de taludes del deslizamiento DA-1, muestra que es estable en condiciones estáticas con factor de seguridad 2.145, y condiciones pseudos-estáticas con 1.602; sin embargo, la reactivación permanente del deslizamiento activado el 29-11-07, que está en su base puede afectarla y hacerla inestable.

DAÑOS DEL DESLIZAMIENTO Y FLUJO DEL 29-11-07

Los daños evaluados por Quintana (2007) son: la colmatación del cauce de la quebrada Chingo Grande en una longitud de 400 m lineales, con un ancho promedio de 20 m y una altura media de 4 m; la destrucción de 6 viviendas por efecto del flujo; y la destrucción de 4 hectáreas de terrenos agrícolas, además de varias familias afectadas. Asimismo, debemos considerar el daño medio ambiental ya que se ha destruido y rellenado la quebrada, se han erosionado las laderas, todo con la pérdida de la flora y fauna del sitio afectado.

CAUSAS DEL MOVIMIENTO EN MASA DEL 29-11-07

Las causas de este movimiento en masa complejo, constituido por deslizamientos y flujos, tienen que ver con varios factores, siendo el primero la existencia de una cárcava profunda con laderas pronunciadas. Estas se hallaban relativamente estables hasta hace algunos años por la presencia de gran cantidad de vegetación nativa y también de eucaliptos que fueron introducidos. La vegetación se desarrolló sobre depósitos aluviales de gravas areno-limosas. Posteriormente, la vegetación fue talada progresivamente, quitándole el soporte protector ante erosiones. Además, la vegetación estaba alimentada por aguas subterráneas que afloran en la zona, posiblemente había un balance que se rompió con la tala y en consecuencia el excedente de agua comenzó a saturar los depósitos aluviales.

Sin embargo, el factor desencadenante, ha sido, por un lado, los trabajos de terraplén y trocha de acceso que cortaron los taludes verticales, y por otro lado, la destrucción del pozo de agua en el mes de octubre del 2007. Así, las aguas subterráneas fueron saturando los suelos del relleno del terraplén, durante casi dos meses. Además, hay que considerar que días antes llovió intensamente en la zona. Esta masa saturada se movió y erosionó los taludes previamente desestabilizados por los trabajos de terraplén, produciendo un deslizamiento mayor de más de 100 m de longitud. El material deslizado represó la quebrada entre las escarpas actuales D-1 y D-4. Teniendo en cuenta que la base de la quebrada (terraplén) se hallaba saturada de agua, esta sirvió de nivel de resbalamiento, en consecuencia, el material que represó el cauce por efecto del deslizamiento, se movió por la quebrada de manera lenta y con un material casi seco. Producto del avance, el primer flujo F-1 erosionó la ladera ya afectada y ocasionó otros deslizamientos cuyos materiales se transformaron en otros flujos (F-2, F-3 y F-4), hasta que finalmente el flujo F-5 fue el más líquido.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El fenómeno ocurrido el día 29 de noviembre del 2007 en la quebrada Chingo Grande corresponde a un movimiento en masa complejo, constituido por un deslizamiento mayor que se transformó en una superposición de varios flujos. Las causas de este deslizamiento y los flujos tienen que ver con la tala de árboles, la construcción de una plataforma y corte de talud en una cárcava profunda con laderas pronunciadas de la quebrada Chingo Grande, donde además existen aguas subterráneas que saturaron el material de relleno y los depósitos aluviales. La masa saturada se movió y erosionó los taludes previamente desestabilizados por un tractor, produciendo los deslizamientos que represaron el cauce. Luego todo este material represado se movió lentamente a manera de flujos.

La evaluación geodinámica de los canales y acueductos que se hallan en la parte alta y que cruzan la quebrada Chingo Grande, indican que estas se hallan en regular a buen estado y no hay relación entre posibles fugas de agua con el fenómeno producido el 29-11-07 ni tampoco con otros fenómenos ocurridos el mes de febrero del 2007. En consecuencia, se descarta que las causas del fenómeno del 29-11-07 tengan que ver con fugas de agua de las obras hidráulicas que se hallan aguas arriba.

Se recomienda limpiar el cauce (decolmatación) de la quebrada para construir un canal de 365 m lineales, que permita evacuar las aguas de lluvias de acuerdo a los cálculos hidrológicos realizados (Manrique, 2008). Esto evitará que se formen nuevos aluviones o huaycos. Captar los manantes de la zona, tanto los que activaron el deslizamiento del 29-11-07 así como, los que se hallan en el deslizamiento DA-1. Estos deberán ser llevados a un canal de regadío existente en el área. Se debe hacer una reforestación integral de la zona de deslizamiento y principalmente de las zonas con cárcavas de la parte media de la cuenca, esto evitará el desarrollo y/o activación de estos fenómenos que pueden desarrollar aluviones. Un adecuado sistema de reforestación con especies nativas, además de controlar el escurrimiento superficial y por tanto la erosión, contribuye a la estabilización de laderas.

BIBLIOGRAFÍA

- Carlotto, V. 2007. Deslizamiento de Chingo Grande Saylla (Cusco). Informe de Inspección, INGEMMET, p. 8.
- Carlotto, V.; Oviedo, M., Valderrama, P., Fidel, L., Gutiérrez, D., Concha, R., Astete, I. 2008. Geología Geodinámica y Estabilidad de Taludes en la Quebrada Chingo Grande, Saylla-Cusco. Informe Técnico, INGEMMET, p. 50, Lima, enero 2008.
- Quintana, R. 2007. Inspección Deslizamiento de Saylla. Gobierno Regional del Cusco, Oficina de Defensa Nacional, p. 2.
- Manrique, J. 2008. Evaluación hidrológica de la microcuenca de Saylla-Chingo Grande, Centro Guaman Poma de Ayala-Cusco, p. 65.