



SGP
FUNDADA 1924

Boletín de la Sociedad Geológica del Perú

Journal homepage: www.sgp.org.pe

ISSN 0079-1091

Caracterización geodinámica y modelamiento computacional del deslizamiento y flujo de detritos «Yanacolpa», distrito de Parobamba, provincia de Pomabamba, región Ancash

Cristian Chiroque, Juan C. Gómez

Subdirección Ciencias de la Tierra Sólida, Instituto Geofísico del Perú (IGP), Calle Calatrava 216, La Molina, Lima, Perú (c.chiroque@igp.gob.pe) (juan.gomez@igp.gob.pe)

RESUMEN

La región Ancash posee un alto índice de ocurrencia de movimientos en masa detonados por lluvias y sismos debido a su geomorfología y litología aflorante. En el sector Yanacolpa, ubicado a 300 m del centro urbano del distrito de Parobamba, ocurren eventos geodinámicos importantes: el deslizamiento y flujo de detritos Yanacolpa, afectan la seguridad física del centro poblado

debido al represamiento de la quebrada Chogo. Mediante la caracterización geológica, geodinámica y geotécnica de los movimientos en masa se propone un modelado computacional basado en una simulación numérica para definir el evento extremo, el cual obtura la quebrada Chogo afectando el 70% del área urbana del distrito de Parobamba.

Palabras claves: movimientos en masa, deslizamiento, flujo de detritos, geodinámica.

1. Introducción

El Perú forma parte del borde occidental de América del Sur, caracterizado por ser una de las regiones sísmicas más activas del mundo. Esta actividad representa uno de los factores detonantes de gran parte de movimientos en masa, tal como sucedió en el callejón de Huaylas con el terremoto de 1970. Asimismo, el “Niño” de los años 1997-1998 también generó procesos de movimientos en masa como flujos (huaycos) y deslizamientos. En la Región Ancash, estos procesos se reactivan en épocas de lluvias estacionales (Franco, 1998).

El deslizamiento y flujo de detritos “Yanacolpa” es el evento de mayor magnitud hasta ahora registrado en el distrito de Parobamba perteneciente a la provincia de Pomabamba, Región Ancash. El Cerro Yanacolpa se ubica entre las coordenadas 231820E, 9039316N y cotas 3900 y 3150 m.s.n.m., cubriendo un área total 2.5 km², además de involucrar los sectores Yanacolpa Nuevo, Yanacolpa Viejo, Laurel, Potrero y Ranrajirca (Figura 1).

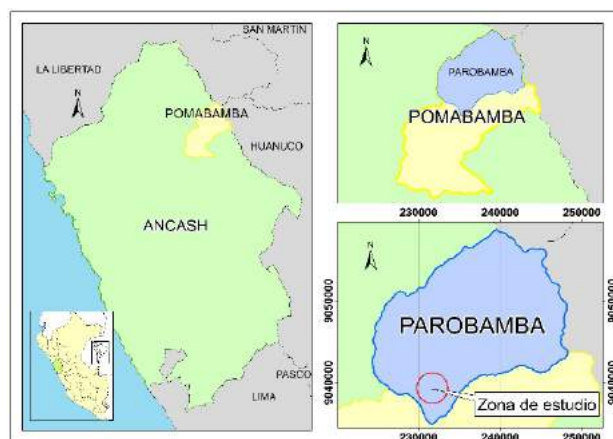


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.

Desde el punto de vista climatológico, el área de estudio se encuentra en la zona intertropical (tropical y subtropical) por lo que presenta climas variados con frecuentes lluvias durante todo el año, registrándose las más intensas en los meses de diciembre a marzo, siendo estas de 14 a 271 mm (SENAMHI, 2012), ver Figura 2.

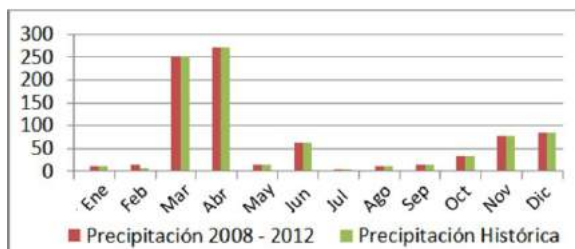


Figura 2. Precipitación mensual promedio entre los años 2008 al 2012, (SENAMHI, 2012).

Los reactivamientos de movimientos en masa ocurrieron en años donde se presentaron índices lluviosos muy por arriba de los parámetros normales (271 mm anuales), tal como ocurrió con “El Niño” con lluvias extraordinarias de 1000 a 1400 mm por año, es decir cuatro veces más de lo normal (Zavala et al, 2009).

En este escenario, resulta de importancia dirigir estudios orientados a definir la casuística de los movimientos en masa ocurridos en sitios como Yanacolpa, a fin de conocer el origen y desarrollo de estos eventos geodinámicos para la gestión del riesgo.

2. Geología regional

La zona de Parobamba está conformada por rocas sedimentarias, con edades desde el Jurásico Superior, Cretáceo hasta el Cuaternario Reciente. Estas formaciones tienen origen marino y continental; es decir, fueron parte de antiguas cuencas sedimentarias que emergieron con el desarrollo andino desde 290 millones de años (Paleozoico Superior). La Formación Chicama, conformada por lutitas con intercalaciones de areniscas, representa el mayor porcentaje de sedimentos sobre el cual se desarrolla el deslizamiento-flujo Yanacolpa. La Formación Chimú aflora hacia el SO y NE de Parobamba en dos franjas con dirección andina, sedimentos conformados por estratos de lutitas y areniscas piritosas con nódulos ferruginosos, lo que confirma la presencia de paleoambientes reductores (sedimentos arcillosos con baja capacidad de carga). Finalmente, se encuentran los depósitos Cuaternarios conformados principalmente por materiales coluviales, aluviales y palustres (Wilson, J. y Reyes, L. 1967)

3. Geología local

En base al cartografiado geológico, en el Cerro Yanacolpa se han identificado las siguientes unidades litoestratigráficas (Figura 3):

Formación Chicama (Js-Ch)

Las rocas de la Formación Chicama presentan consistencia baja debido a la presencia de material limo-arcilloso, lo que ha favorecido al desarrollo de una topografía suave y más o menos ondulada.

Esta unidad, conformada por estratos de lutitas con intercalaciones de areniscas, contiene abundantes nódulos ferruginosos y han sido encontrados en fósiles piritizados (ammonites). Sobre esta formación se asienta el área urbana de Parobamba, sectores Rucuchujirca, Yanacolpa Viejo y Laurel.

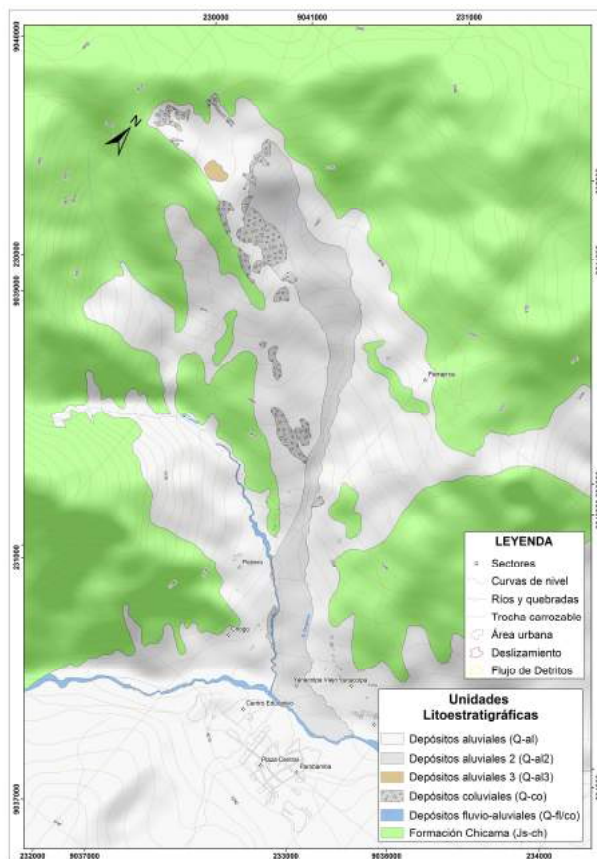


Figura 3. Mapa de geología local de la zona de estudio.

Depósitos aluviales 1 (Qh-al1):

Son materiales holocenos que fueron originados por el agua de escorrentía y la energía gravitatoria. Están conformados por arenas limo-arcillosas con gravas y gravillas subredondeadas. El agua disminuye la fricción y facilita el transporte. Las rocas pre-existentes son erosionadas y meteorizadas siendo movilizadas ladera abajo.

Depósitos aluviales 2 (Q-al2):

Llamados depósitos de talud o detritos y comprenden materiales más recientes producto de la dinámica de los movimientos en masa. Están conformados por clastos y gravas angulosas a subredondeadas de hasta 20cm de diámetro con matriz areno arcillosa.

Depósitos aluviales 3 (Q-al3):

Son sedimentos de grano fino conformados por arcillas con alto contenido orgánico y limos. Se presentan poco competentes y están distribuidos en la zona de arranque del deslizamiento constituyendo bofedales (cota 3800 m.s.n.m).

Depósitos coluviales (Q-co):

Son materiales sueltos de origen gravitatorio, conformados por bloques, clastos y gravas de diámetros variables (2m, 0.50 m y 0.10 m), (Figura 4). La dinámica del deslizamiento ha favorecido la acumulación de coluviales principalmente en la zona de arranque del evento.



Figura 4. Fragmentos acumulados y depositados por deslizamientos, conforman depósitos coluviales.

4. Geomorfología y geodinámica superficial

Para el estudio de las geoformas y de los eventos geodinámicos ocurridos en el Cerro Yanacolpa (parámetros, geometría y volúmenes), se realizó el levantamiento topográfico a escala 1:5,000, complementado con el análisis de imágenes satelitales y fotografías aéreas.

4.1 Geomorfología del Cerro Yanacolpa

La geomorfología es dominada por montañas de hasta 3900 metros de altitud, con pendientes mayores a 45°. Las cumbres de las montañas están conformadas por rocas sedimentarias tipo lutitas y areniscas diaclasadas y meteorizadas (Figura 5). Las laderas de montañas están constituidas por una cobertura aluvial de hasta 20 m de espesor, observados en las escarpas del deslizamiento.

En la imagen « a » se observa el límite entre la cumbre y la ladera de montaña, sobre esta última el suelo bascula y muestra un deslizamiento rotacional, en la imagen « b » los agrietamientos evidencian el avance retrogresivo de la escarpa principal.

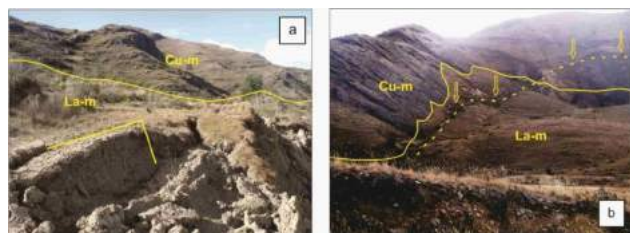


Figura 5. Unidad cumbre y ladera de montaña.

Las terrazas aluviales originadas por antiguos flujos de detritos están presentes en las laderas del Cerro Yanacolpa, conformando hasta dos niveles de terrazas.

4.2 Geodinámica superficial

Fase 1: Deslizamiento

Esta fase alcanza una extensión de 1 km y el volumen transportado de rocas y sedimentos es de 40 000 m³, en dirección NE-SO, afectando el 35% del Cerro Yanacolpa.

A continuación se describen las partes del deslizamiento tipo rotacional Yanacolpa (Figura 9).

La escarpa principal del deslizamiento se ubica a 3800 m.s.n.m (Figura 6a), tiene una longitud de 300 m en dirección NE. El salto de falla es de 1-5m (Figura 6b), el mismo que se incrementó con la reactivación del mes de Junio del 2013.

Los cinco oconales registrados en el cartografiado realizado en el mes de marzo del 2012, migraron de ubicación después de la reactivación del mes de junio del 2013 (Figura 6c), debido a la formación de nuevas grietas en el subsuelo que produjeron el cambio del flujo de agua.

En la zona de desprendimiento se observaron agrietamientos paralelos a subparalelos a la orientación de la escarpa.

En la zona, los emplazamientos rocosos tienen una dirección andina (NO-SE) y coincide con la formación de grietas de hasta 50-70m de longitud (Figura 6d), que delimitaron la zona de reactivación del 2013.

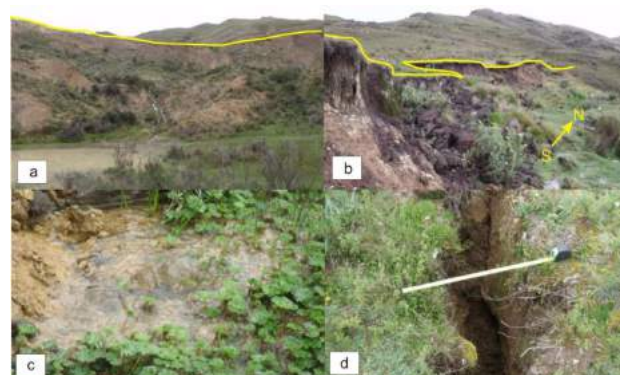


Figura 6. (a) Vista frontal de la escarpa principal; (b) Vista lateral de la escarpa principal; (c) Afloramientos de agua en el pie de la escarpa principal; (d) Agrietamientos de hasta 50 cm de ancho.

La zona de acumulación del deslizamiento mide aproximadamente 300 m de longitud y 80 m de ancho, los materiales están conformados por sedimentos de naturaleza arcillosa y su plasticidad al entrar en contacto con el agua aumenta la densidad permitiendo que la masa transporte en suspensión gravas, clastos y bloques de rocas de gran tamaño (0.20, 0.50 y 2.00 m de diámetro respectivamente), (Figura 7 e y f).



Figura 7. Zona de acumulación del deslizamiento Yanacolpa.

La transición entre la zona de acumulación del deslizamiento y la zona de arranque del flujo de detritos marca un cambio de pendientes entre ambas (Figura 8).

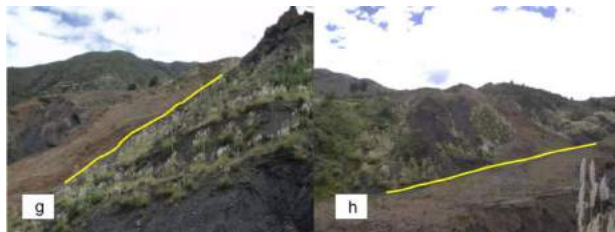


Figura 8. (g) La pendiente en la zona de acumulación presenta pendientes mayores a 40°, (h) mientras que en la transición entre zona de acumulación y zona de arranque la pendiente no sobrepasa los 35°.

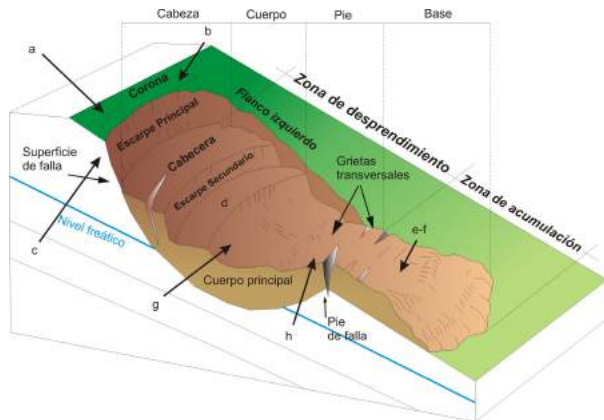


Figura 9. Esquema de la fase del deslizamiento Yanacolpa.

Fase 2: Flujo de detritos

El flujo Yanacolpa se caracteriza por tener un alto porcentaje de sedimentos arcillosos (<70%), este movimiento en masa se divide en tres partes: la “cola” con forma de embudo donde se acumula parte del agua como pequeñas lagunas que saturan el suelo, una mezcla con sedimentos arcillosos y sobre estos, los materiales provenientes de la fase 1 (deslizamiento), el “cuerpo” o la zona de transición con un marcado cambio de pendiente (de 45 a 30°) por donde fluye el flujo y el “frente”, aquí se concentran los materiales gruesos provenientes de la fase 1 del deslizamiento, generalmente tiene forma de abanico, tal como se muestra en la Figura 10 (Bateman et al, 2006).

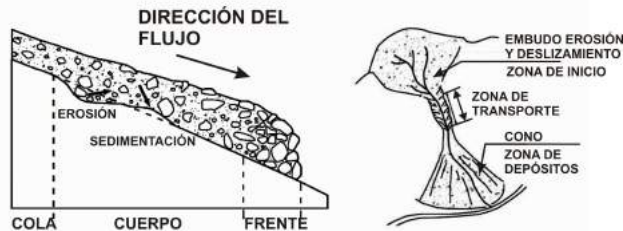


Figura 10. Partes básicas de un flujo (Bateman et al, 2006).

El inicio del flujo se ubica en la cota 3500 m de altitud hacia el área urbana del distrito de Parobamba (Figura 11), en su parte inicial el flujo tiene forma de embudo, zona donde se acumularon los materiales procedentes del deslizamiento (a). En la parte media, el canal se acorta, en una vista frontal del flujo los sedimentos se depositan en forma de abanico (b).

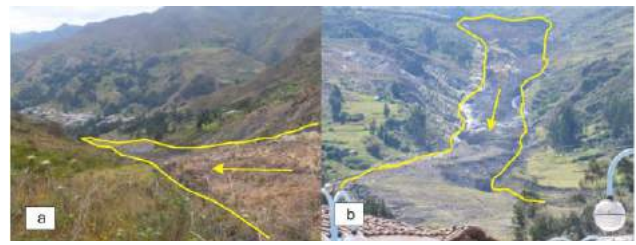


Figura 11. Partes del flujo de detritos Yanacolpa.

Las arcillas que conforman la fase de flujo tienen una importante variación de volumen al cambiar de un estado saturado a no saturado. El 80% de los suelos del Cerro Yanacolpa están constituidos por arcillas, por lo tanto, dichos terrenos están sujetos a ciclos de levantamientos y subsidencias según el régimen de lluvias (Figuras 12 y 13).

Posterior a las fases 1 y 2, han ocurrido procesos geodinámicos tales como: Los levantamientos del suelo están asociados a esfuerzos internos que ejercen capas superiores sobre sedimentos que se ubican en niveles inferiores, el empuje del peso de los depósitos provenientes de la parte alta del flujo, levantan la superficie. Los sedimentos arcillosos de la fase de flujo permiten que la masa se comporte como una sola unidad levantándose sin agrietamientos (a), posteriormente al retirarse el agua de los sedimentos estos se agrietan (b).

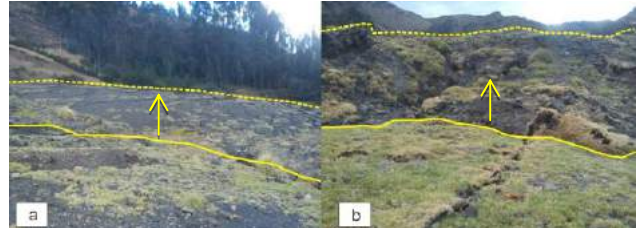


Figura 12. (a) Cancha deportiva que tenía una superficie plana encontrándose al nivel de la línea continua amarilla; (b) El cabalgamiento es el proceso posterior al levantamiento debido a que el empuje pendiente abajo sigue después de ocurrido el flujo.



Figura 13. (a) Subsidencia de suelos, en esta imagen se muestra el nivel inicial del terreno tomada en el mes de marzo del 2013; (b) desnivel encontrado después del 13 de junio del 2013.

5. Geotecnia

Con la finalidad de caracterizar los tipos de suelos y materiales presentes en el deslizamiento-flujo Yanacolpa (SUCS), se realizaron 9 calicatas, 6 posteos y 9 ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) y los resultados obtenidos en laboratorio, han permitido confirmar la naturaleza arcillosa de los suelos presentes de la zona de estudio. En todas las calicatas, se identificaron porcentajes de entre 35% y 70% de contenido de limos y arcillas con un índice de plasticidad medio a alto, llegando a un máximo de 41.5%. La capacidad de carga admisible es menor a 1kg/cm^2 y por tanto, dichos suelos, al entrar en contacto con el agua se saturan rápidamente y pierden consistencia, facilitando la falla de los suelos y originando nuevos planos de falla.

Según los resultados de los ensayos de granulometría, el 30 y 60% de los suelos están conformados por clastos, gravas y gravillas; los DPL y posteos realizados complementan la información, encontrándose capas arcillosas de entre 5 a 7 metros de espesor.

5.1 Modelamiento con SLIDE

SLIDE es el programa más completo en análisis de estabilidad de taludes que se expresa en términos de un Factor de Seguridad (F.S.), el modelo matemático determinístico en el cual se basa el programa, tiene en

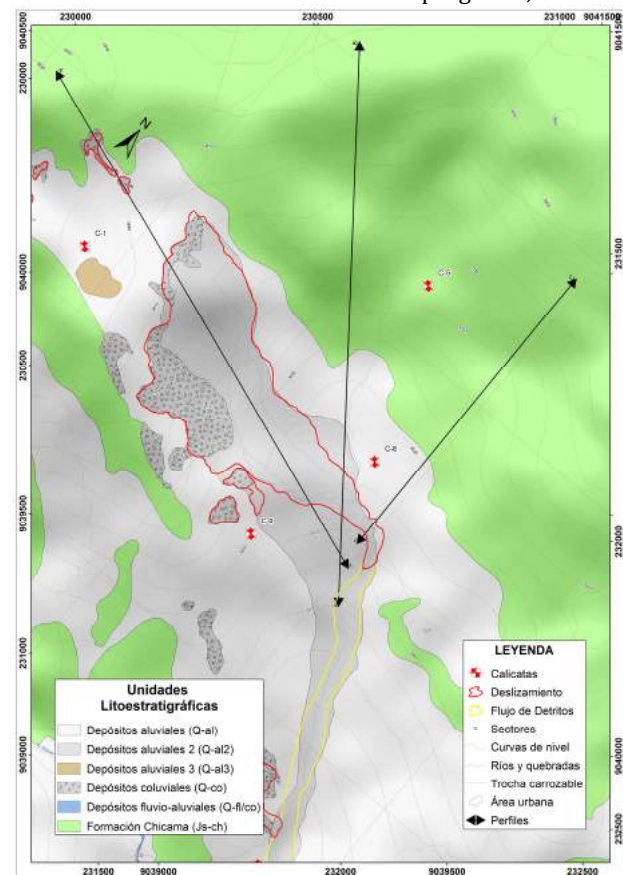


Figura 14. Ubicación de perfiles para el modelamiento del deslizamiento.

cuenta los factores que afectan la estabilidad de un talud tales como: geometría del talud, parámetros geológicos, flujos de agua, propiedades del suelo, etc. En base a los datos geotécnicos, geológicos y topográficos a escala 1:5,000, se elaboraron 3 perfiles para el cálculo de estabilidad de taludes en el Cerro Yanacolpa (Figura 14).

El modelado del deslizamiento se realizó con el programa SLIDE con el fin de obtener el factor de seguridad para estabilidad de taludes, plano de falla, volúmenes de materiales a desplazarse en condiciones pseudoestáticas en el caso de un evento máximo detonado por sismo (Figura 15).

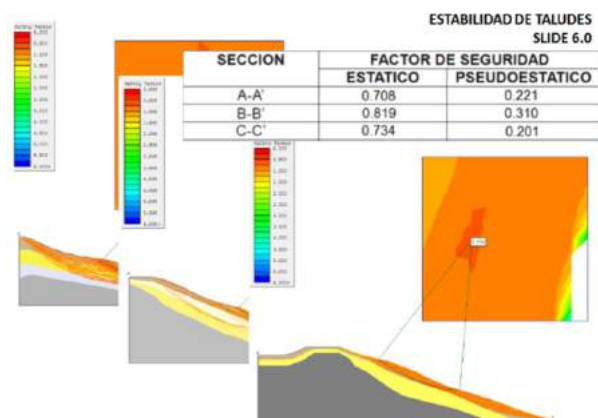


Figura 15. Cálculo de factor de seguridad para estabilidad de taludes en el deslizamiento Yanacolpa.

5.2 Modelamiento computacional con RAMMS

La simulación numérica es una herramienta muy útil para modelar deslizamientos y flujos, lo cual permite validar la información obtenida a través del comportamiento dinámico de cada proceso. Estos se rigen por diferentes factores que condicionan la mecánica de los eventos y la interacción con las características físicas del terreno.

El software denominado RAMMS, incluye cuatro módulos de proceso: (1) avalanchas de nieve, (2) flujos de escombros, (3) los flujos de escombros ladera y (4) la caída de rocas. Cada módulo y cada proceso están unidos entre sí por una interfaz de usuario que simplifica el modelado en tres dimensiones. Los datos de entrada requeridos para el modelado del flujo de detritos Yanacolpa son: topografía (MDE), área de evento, espesor de falla (SLIDE), valores de fricción (geotecnia), (Figura 16).

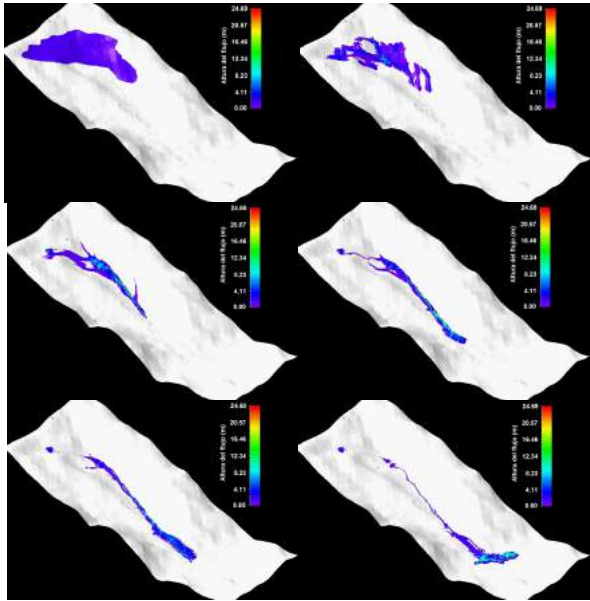


Figura 16. Mediante RAMMS se ha modelado el máximo evento del flujo de detritos.

7. Conclusiones

La Formación Chicama es la principal fuente de materiales y sedimentos de naturaleza arcillosa (lutitas y areniscas) que generan los movimientos en masa ocurridos en el Cerro « Yanacolpa ».

La geomorfología dominada por montañas, laderas y terrazas ha sido modelada por la escorrentía superficial y las lluvias presentes en la zona, debido a que las rocas y los suelos de cobertura presentan poca resistencia a la erosión por su composición arcillosa.

La fase de deslizamiento, tipo rotacional y flujo de detritos “Yanacolpa”, está conformado por sedimentos arcillosos de alta plasticidad. El flujo plástico y denso es capaz de transportar bloques de gran tamaño a grandes distancias.

Los suelos de cobertura del Cerro Yanacolpa están conformados por arcillas con plasticidad alta y con capacidad de carga admisible menor a 1 kg/cm².

El 30% de los materiales son finos (arcillas y limos) mientras que la fracción granular es de 70% (arenas, gravas, clastos y bloques), es por ello que, el evento se clasifica como “flujo de detritos” validado por el porcentaje de gravillas, gravas y clastos que contiene.

El análisis de estabilidad del deslizamiento Yanacolpa se obtuvo con el programa SLIDE. Se encontró que el factor de seguridad es menor a 0.5. El plano de falla se encuentra entre 20 y 30 m de profundidad.

Mediante el modelamiento numérico utilizando el programa RAMMS, se obtuvo que 480 000 m³ de materiales son susceptibles a deslizarse y formando un flujo con velocidades promedio de hasta 40 m/seg en 2 km de distancia. Los sedimentos alcanzarían una altura máxima de +- 15 m aproximadamente.

Este resultado sugiere que el evento extremo podría obturar la Quebrada Chogo y afectar el centro urbano del distrito de Parobamba (50 a 70 viviendas).

El resultado obtenido mediante el programa RAMMS permitió generar mapas para delimitar el alcance de los eventos modelados (volúmenes, altura o espesor y velocidades de los eventos), parámetros útiles para la gestión de riesgos de desastres.

8. Referencias

- Bateman, A., Medina, M., Steiner, F., Velasco, D., (2006). “Estudio Experimental sobre flujos granulares hiperconcentrados”. XXII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Ciudad Guayana, Venezuela. pp. 1-10 .
- Franco, E., (1998). ¿El Niño o el desastre 1997 - 1998? Tecnología y Sociedad, Revista de ITDG Perú, abril-julio 1998: 4-8.
- SENAMHI, (2012). Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
http://www.senamhi.gob.pe/include_mapas/_dat_esta_tipo.php?estaciones=000443
- Wilson, J. y Reyes, L., (1967). “Geología de los cuadrángulos de Mollebamba, Tayabamba, Huaylas, Pomabamba, Carhuaz y Huari. Boletín N° 16, Servicio de Geología y Minería - Lima.
- Zavala, B.; Valderrama, P.; Pari, W.; Luque, G. & Barrantes, R. (2009). “Riesgos geológicos en la región Ancash. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 38, 280p.