



## EVALUACION DEL PELIGRO DE FLUJOS DE DETRITOS EN LA QUEBRADA LO CAÑAS, REGION METROPOLITANA

Sepúlveda, S.<sup>1,2</sup>, Rebolledo, S.<sup>2</sup>

### INTRODUCCION

En la quebrada de Lo Cañas, ubicada en el sector suroriente de Santiago, han ocurrido en las dos últimas décadas cinco eventos aluvionales, asociados a lluvias torrenciales. Los más importantes se registraron en diciembre de 1991 y el 3 de mayo de 1993. Este último, el de mayor magnitud del periodo, ocurrió sincrónicamente a los aluviones de las quebradas vecinas de San Ramón y Macul, que causaron grandes daños y víctimas fatales. El flujo de detritos de Lo Cañas se originó en la cabecera de la quebrada, sobre la cota 1.700 m (1). En su avance, depositó levées de grandes bloques en prácticamente todo su curso, hasta los límites del sector de parcelas llamado Santa Sofía de Lo Cañas, que ocupa gran parte del cono de deyección, bajo la cota 1.000 m (Fig.1). A partir de este punto siguió un sobreflujo con predominio de material fino, el que alcanzó los sectores de Macul Alto y Las Perdices, afectando algunas casas de Santa Sofía de Lo Cañas, así como conducciones de agua y calles. En estos sectores, el paso del flujo dejó una cubierta de lodo de aproximadamente 0,5 m de espesor y bloques de 30 cm promedio (1). Sepúlveda (1998), señala que la presencia de los grandes levées sugiere una alta viscosidad del flujo, el cual habría alcanzado una velocidad de 18,5 m/s a la cota 1.350 m. El autor mencionado calculó además que el volumen de depósitos aluvionales recientes asciende a 180.450 m<sup>3</sup>.

Tras el aluvión de 1993 y con el fin de prevenir los efectos de futuros flujos, el cauce fue en parte canalizado en el sector de Santa Sofía de Lo Cañas y se construyeron algunas piscinas de decantación pequeñas. En la actualidad, sin embargo, algunos sectores han sido nuevamente rellenados por parceleros, formándose diques artificiales. Otras alteraciones antrópicas se asocian a la urbanización con parcelas en el cono de deyección y a la captación de agua en vertientes de la quebrada.

En este trabajo se expone la zonificación del peligro frente a la ocurrencia de flujos de detritos en la Quebrada Lo Cañas, utilizando una metodología propuesta por Sepúlveda (1998). Los objetivos fueron determinar los factores condicionantes y los mecanismos de generación de flujos en el sector de interés, identificar las áreas favorables para su ocurrencia, estimar su frecuencia y el alcance máximo que tendrían. Se concluye finalmente sobre los grados de peligro que afectan a la zona. La información se entrega en mapas de susceptibilidad a la generación de flujos, de peligros (Fig.2) y mapas temáticos (1). La zona de estudio comprende la hoya hidrográfica de Lo Cañas y su cono de deyección, inmediatamente al sur de la Quebrada Macul. Las altitudes en la zona varían entre 725 y 2.488 m s.n.m.

### GEOMORFOLOGIA Y GEOLOGIA

La hoya hidrográfica de Lo Cañas tiene una forma elongada en dirección este-oeste. La quebrada se prolonga desde el cordón Las Minillas hasta el ápice de su cono de deyección, ubicado a 1.150 m s.n.m. El canal principal corre encajonado en roca desde sus inicios hasta la cota 1.500 m, desde donde corta depósitos aluvionales antiguos aterrazados. La red de drenaje es de tipo dendrítico paralelo con un marcado control estructural de los sistemas de fracturas principales (1). En cuanto al cono de deyección, éste coalesce por el sur con el cono de la Quebrada La Florida, mientras hacia el norte el desarrollo del cono está limitado por lomajes de poca altura. Recién en el sector de Macul Alto, el cono se abre y coalesce con su similar de Macul. Por el oeste está limitado por el Canal Las Perdices, bajo el cual comienza la ciudad.

Las pendientes del cauce principal disminuyen progresivamente desde la cabecera hasta un primer quiebre de pendiente ubicado a los 1.700 m s.n.m. En el tramo señalado la pendiente media es de 36°. Tras

<sup>1</sup> Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Berkeley. 440 Davis Hall, Berkeley, California 94720-1710.

<sup>2</sup> Departamento de Geología, Universidad de Chile, Plaza Ercilla #803, Santiago, C.P. 6511296.

un tramo irregular, con pendientes que disminuyen a valores entre 20° y 12°, se produce un nuevo quiebre en el ápice del cono aluvial. Hacia abajo, las pendientes disminuyen gradualmente hasta cerca de 5°. Las laderas tienen pendientes pronunciadas, mayores a 15° bajo el ápice y sobre 25° en el tramo medio y en la cabecera de la quebrada.

En la zona aflora una sola unidad de roca, que corresponde a una secuencia estratificada de rocas volcánicas y sedimentarias terciarias asignadas a la Formación Abanico. Esta aflora fundamentalmente en el sector norte de la cabecera de la quebrada. Dentro de las unidades de suelo, se reconocieron depósitos coluviales acumulados en laderas y en la red de drenaje de la cabecera, suelos residuales, escombros de falda cubiertos por vegetación, depósitos de cono de deyección, otros depósitos diamicticos indiferenciados y diversos depósitos asociados a procesos aluviales y de remoción en masa que conforman el relleno de la quebrada y del cauce actual (Fig.1).

## EVALUACION DE PELIGROS

### Definición de Sectores Críticos para la Generación de Flujos

Mediante la superposición de mapas temáticos de suelos y de pendientes, se seleccionaron sectores considerados *a priori* como críticos o propensos a generar aluviones, en zonas donde coinciden una alta pendiente (>25°) con la presencia de acumulaciones de material detrítico con características geotécnicas favorables para su remoción. Estas últimas se presentan en la zona en depósitos coluviales (Qc, Fig.1), los cuales están constituidos por gravas y bloques con matriz localmente escasa de arena-limo-arcilla, de compacidad suelta y sin desarrollo de cobertura vegetal. Estos depósitos son potencialmente inestables ante lluvias intensas o sismos, siendo susceptibles a movilizarse y generar flujos de detritos cuando se ubican en zonas de alta pendiente.

En la zona de estudio, se definieron tres sectores críticos. El Sector Crítico 1 (SC1) comprende a la parte norte de la cabecera de la quebrada, y se reconoce como el sector donde se generó el aluvión de 1993. Es una zona de alta pendiente (>30°) labrada en roca, con geometría semicircular y con una serie de surcos de drenaje que confluyen sucesivamente hasta juntarse en el quiebre de pendiente a la cota 1.700 m en un sistema similar a un embudo, cuya salida es el cauce principal de la quebrada (Fig.1). Aproximadamente en la cota 1.680 m se encuentra, en el lecho del cauce, una vertiente. La meteorización diferencial que afecta a las rocas de la Formación Abanico aporta material detrítico fino y bloques, provenientes de estratos de baja resistencia y de otros más competentes pero a la vez fuertemente fracturados, respectivamente. Este material se acumula al pie de las salientes rocosas y en los surcos que forman la red de drenaje, siendo transportado hasta depositarse en el sector de confluencia antes mencionado. El material detrítico del sector del "embudo" tiene una granulometría variada, desde bloques métricos hasta limo y arcilla, con buena gradación y compacidad suelta. Se estimó un volumen acumulado aproximado de 50.000 m<sup>3</sup> para todo el Sector Crítico (1). La cercanía de la vertiente y la presencia de algunos arbustos que brotan entre los detritos permiten sugerir que el nivel freático en este sector está a una profundidad menor a 1 m.

El Sector Crítico 2 (SC2) corresponde a la zona sur de la cabecera, sobre la cota 1.750 m. En este sector nacen dos pequeñas quebradas que se unen en la cota 1.600 m, desapareciendo antes de confluir al cauce principal. Las quebradas contienen depósitos de flujos de detritos recientes originados en SC2. El sector comprende dos franjas de estratos de la Formación Abanico que producen material detrítico, de manera similar a SC1. En las quebradas se acumula el material coluvial. Las pendientes de las laderas y quebradas varía entre 25° y 30°. No hay afloramiento de agua subterránea. La granulometría de los coluvios es variada aunque, producto de un fracturamiento más intenso, los bloques son más pequeños que en SC1, sin sobrepasar el metro de diámetro. El volumen de material acumulado se estima del orden de 5.000m<sup>3</sup> (1).

Finalmente, el Sector Crítico 3 (SC3) corresponde a un depósito coluvial de grandes bloques angulosos y sin cobertura vegetal ubicado en la ladera norte de la quebrada, entre los 1.250 y 1.300 m s.n.m. Tiene forma rectangular con un área aproximada de 2.500 m<sup>2</sup>. El material se ha generado probablemente por un desprendimiento desde afloramientos de la Formación Abanico ubicados ladera arriba. El depósito coluvial está compuesto por bloques de hasta 5 m, grava y algo de arena. La pendiente de la ladera es de 32°. No hay indicios de agua subterránea. Los bloques están algo trabados entre sí, lo que mejora su resistencia a ser movilizados. El volumen estimado de material susceptible a ser removido es de 3.750 m<sup>3</sup> (1).

### Grado de Susceptibilidad de Sectores Críticos

A través del cálculo de un índice de susceptibilidad para cada sector crítico, se determinó el grado de susceptibilidad a la ocurrencia de flujos de detritos en estos sectores. Este parámetro mide la potencialidad de que

se genere un aluvión en un sitio determinado. Para el cálculo de tal índice de susceptibilidad se consideran parámetros tales como pendientes, características geológico-geotécnicas de suelos y rocas, ubicación del nivel freático, clima, vegetación, intervención antrópica y antecedentes históricos de aluviones (1). Para los cálculos se consideraron lluvias intensas como mecanismo de generación. La rápida incorporación de agua produce una reducción de la presión efectiva y de la fricción interna, lo que sumado a las elevadas pendientes, produce la inestabilidad del material y su violenta remoción por la fuerza de gravedad.

El grado de susceptibilidad resultante asociado a SC1 y SC2 es alto, aunque SC1 arrojó un índice de susceptibilidad mayor, mientras para SC3 se definió un grado de susceptibilidad moderado (1). La mayor susceptibilidad de SC1 respecto a SC2 radica en la presencia de una napa poco profunda en SC1, donde a la incorporación de agua se suma la respuesta de ascenso del nivel freático, lo que acelera y favorece la saturación del suelo. La menor susceptibilidad de SC3 se explica por la trabazón de los bloques, el bajo encajamiento del canal de drenaje, inexistencia de nieve en toda época del año y la ausencia de flujos de detritos precedentes generados en este punto. La ocurrencia de precipitaciones en días previos a la lluvia gatillante facilitaría la saturación del suelo, aumentando el grado de susceptibilidad local y temporalmente.

### **Análisis de Frecuencia**

Los cinco eventos aluvionales de las dos últimas décadas, sugieren una frecuencia de entre 3 y 5 años para la ocurrencia de flujos de detritos en la zona de estudio. Más que una periodicidad, se observa una estrecha relación con la ocurrencia del fenómeno climático de El Niño.

Se analizaron los datos de las precipitaciones máximas anuales en 24 horas registradas en la estación pluviométrica Antupirén de la Dirección General de Aguas entre los años 1979 y 1997, ubicada en la vecina Quebrada Macul. Utilizando el método de Weibull, se calculó el monto de precipitaciones diarias asociado a ciertas probabilidades de excedencia, así como los periodos de retorno asociados a los eventos de flujos dentro del periodo analizado. Los resultados arrojaron periodos de retorno de entre 1,2 y 20 años para las lluvias asociadas a los eventos aluvionales (1), siendo paradójicamente el primero el asociado al aluvión de 1993. Esto ratifica la importancia de la intensidad horaria y de las características de las lluvias precedentes por sobre la intensidad diaria en la generación de flujos de detritos. Estudios hidrológicos sugieren una intensidad umbral de 9mm/hr en la cota media de la cuenca (2). De cualquier modo, a la luz de los antecedentes históricos y a este análisis, se puede concluir que existe una probabilidad alta para la ocurrencia de flujos de detritos en la zona.

### **Alcance Probable de Futuros Flujos de Detritos**

Considerando las buenas condiciones de encajamiento del cauce en la quebrada, es posible predecir que futuros flujos originados en SC1 o SC3 no desbordarían salvo en sectores puntuales, como donde hay cambios de dirección del cauce, y por lo tanto alcanzarían probablemente la zona de las parcelas. Eventuales flujos generados en SC2 se restringen a la zona de la quebrada por las condiciones del drenaje y bajos volúmenes involucrados.

En el cono de deyección, el sector canalizado de Santa Sofía de Lo Cañas con una profundidad mayor a 1 m debería mantener gran parte del flujo en su cauce. Cuánto se desbordará dependerá del volumen total de detritos y de agua transportado. A partir de datos de volúmenes de material actualmente disponibles en la fuente y la cantidad de agua que allí caería con lluvias como las de 1993, se estimaron volúmenes del orden de 100.000 m<sup>3</sup> para eventuales flujos. En base a lo anterior, se estima que no se debiera alcanzar un radio mayor que 50 m alrededor del canal de drenaje. En cualquier caso el flujo se restringe al cono de deyección. La parte de éste más alejada del canal puede ser eventualmente afectada en caso que los flujos tomen un curso distinto al cauce actual. Localmente se producirían desbordes en sectores donde se ha colmatado el canal, así como en el fundo Macul Alto, por la ausencia de canalización. Como la carga sólida disminuye a medida que el flujo recorre el abanico y en 1993 los bloques en su mayoría no pasaron de la cota 1.000 m, se puede estimar que las parcelas de Santa Sofía y el fundo Macul Alto recibirían un alto porcentaje de barro.

### **Graduación y Zonificación del Peligro**

Conocida la susceptibilidad de la zona de estudio a generar aluviones, y estimadas la frecuencia y alcance que éstos tendrían, se combinan estos elementos para elaborar una escala de graduación de la importancia del peligro (1) e identificar las zonas afectas a cada grado de peligro. Para este efecto, se distinguió entre peligros declarados y potenciales. Entre los primeros se reconocen los peligros de aluviones generados en SC1 y SC2, teniendo el

primero mayor volumen y probabilidad de alcanzar el cono de deyección con una importante carga sólida, debido a las características de su fuente y la morfología de su cauce.

Entre los peligros potenciales se consideran los asociados a SC3, tanto flujos de detritos como un deslizamiento que represe la quebrada, el cual a su vez generaría un peligro de aluvión por rebase o por colapso de la presa generada. Tal deslizamiento podría generarse tanto por lluvias intensas como también por un sismo de alta intensidad.

Aplicando una escala de graduación (1) a los peligros recién señalados para la zona de estudio, se configuró la zonificación del peligro en la Quebrada Lo Cañas y su cono de deyección (Fig. 2). Para definir el grado de importancia del peligro en un cierto lugar se tiene en cuenta la probabilidad de ser alcanzado por el evento peligroso (una vez generado éste), el grado de susceptibilidad de la fuente del peligro y la probabilidad de ocurrencia de éste. Esta última se consideró alta e igual para todos los peligros, debido a que el análisis de frecuencia se hizo para toda la zona en su conjunto. La probabilidad de alcance en el cono de deyección ante un flujo originado en SC1 se estimó como alta para las zonas junto al cauce en un radio de 50 m, media en un radio de 250 m y baja en un radio mayor a 250 m. Con estos criterios, se definieron los grados de importancia del peligro que varían entre Débil y Muy Importante para los diferentes peligros considerados y zonas afectadas. Ante la superposición de peligros distintos se aplicó una convención de representación cartográfica de peligros (1).

## DISCUSION Y CONCLUSIONES

En la Quebrada Lo Cañas es común la ocurrencia de flujos de detritos. Estos se producen en el sector de la cabecera, donde la pendiente supera los 25° y hay disponibilidad de material detrítico producto del fracturamiento y meteorización de rocas de la Formación Abanico expuestas en superficie. La principal fuente de los flujos es el sector norte de la cabecera. El análisis de los aluviones ocurridos más recientemente y las observaciones de terreno permiten concluir que el mecanismo de generación de flujos de detritos en la Quebrada Lo Cañas es la rápida incorporación de agua, producto de lluvias muy intensas, a suelos permeables de compacidad suelta y sin cobertura vegetal. Las altas pendientes de los cauces inciden en que los flujos alcancen altas velocidades, del orden de decenas de km/h. La pequeña superficie de la hoya, por su parte, provoca que los volúmenes disponibles a ser transportados sean relativamente pequeños (menos de 200.000 m<sup>3</sup>), en comparación con las quebradas de Macul o San Ramón, donde se estimaron volúmenes del orden del millón de m<sup>3</sup> para los aluviones de 1993 (3). El tamaño de los bloques que se encuentran en el cauce de la quebrada y la formación de *levées* en sus márgenes indican que los últimos flujos tuvieron un comportamiento reológico de fluidos viscosos.

En cuanto al factor climático, se observa una estricta relación entre los últimos eventos de aluviones con la presencia del fenómeno de El Niño. El material acumulado durante periodos de sequía (La Niña) puede ser violentamente removido ante lluvias intensas, comunes durante eventos de El Niño. Por otro lado, a diferencia de las quebradas Macul y San Ramón (3), la posición de la isoterma 0°C no es una condicionante importante en Lo Cañas, ya que en general las máximas cumbres de la hoya están bajo la posición promedio de la línea de nieves en invierno (1).

Como se observa en la Figura 2, existe peligro de flujos de detritos en toda la quebrada y su cono de deyección. Así, las zonas habitadas del cono están bajo peligro en algún grado, con lo cual se configura un riesgo geológico frente a estos fenómenos de remoción en masa. Lo anterior sugiere la necesidad de contar con un plan de manejo y monitoreo de la cuenca, así como de incorporar este riesgo a los planes reguladores y de ordenamiento territorial de la región. Cabe destacar que en este sentido, en el sector, con posterioridad al aluvión del año 1993, se construyeron decantadores que actuarían como receptores del material sólido del flujo. La efectividad de estos últimos será probada sólo cuando ocurra un nuevo evento aluvional.

## REFERENCIAS

- 1 Sepúlveda, S. 1998. Metodología para evaluar el peligro de flujos de detritos en ambientes montañosos. Aplicación en la Quebrada Lo Cañas, Región Metropolitana. Memoria de Título (Inédito), Universidad de Chile, Departamento de Geología, 93 p. Santiago.
- 2 Lara, P. 1996. Caracterización hidrológica de las corrientes de detritos en Chile Central. Memoria de Título (Inédito), Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Civil. 197p. Santiago.
- 3 Naranjo, J.A.; Varela, J. 1996. Flujos de detritos y barro que afectaron el sector oriente de Santiago el 3 de mayo de 1993. Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín No. 47, 42 p. Santiago.

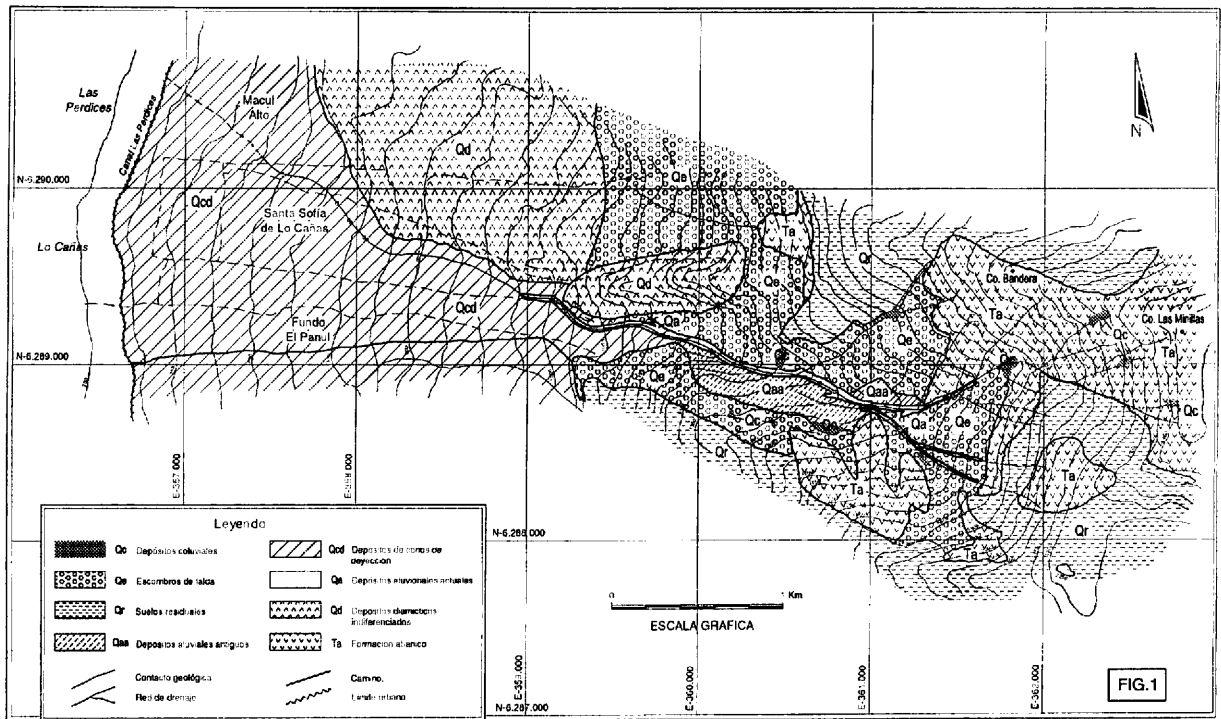


Figura 1: Mapa de Suelos y Formaciones Superficiales de la Quebrada Lo Cañas y su cono de deyección.

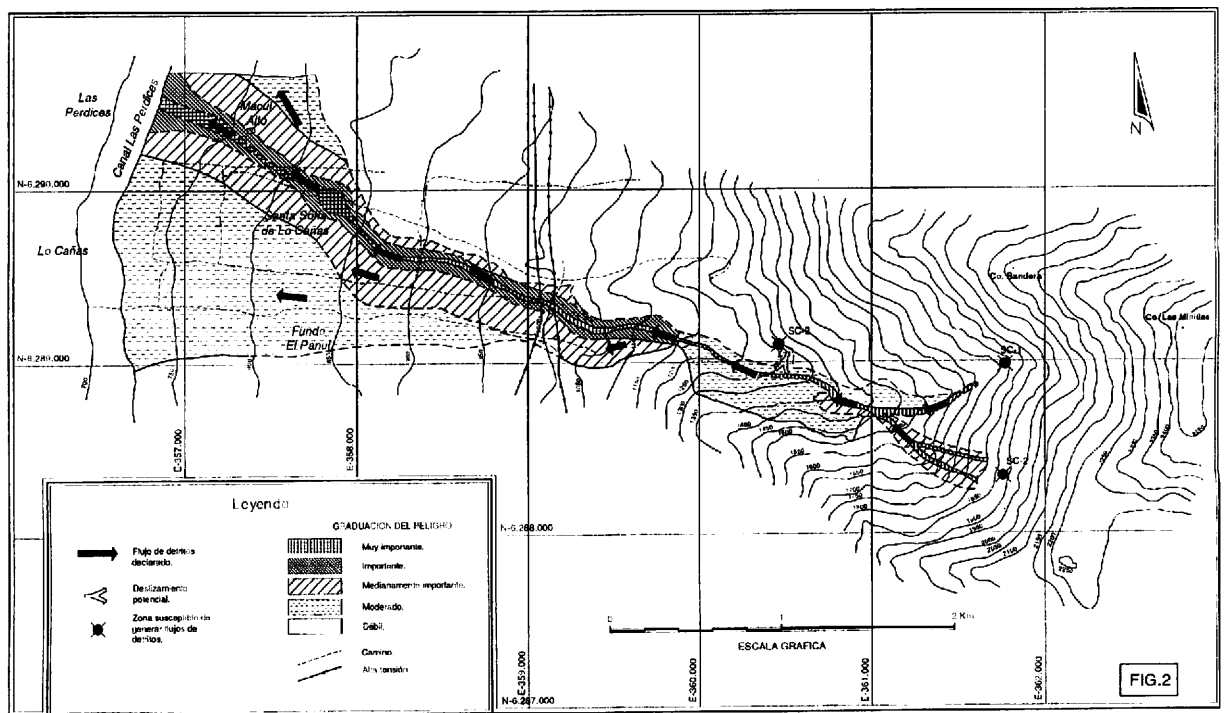


Figura 2: Mapa de Peligros de la Quebrada Lo Cañas y su cono de deyección.