



Análisis del oleaje máximo generado por el posible colapso de una masa inestable en el lago de la presa Potrerillos (Provincia de Mendoza)

Maximum wave analysis probable generated by sudden collapse of unstable landslide into the Potrerillos reservoir (Mendoza Province)

Crinó, Edgar R. ¹ ✉ - Sales, Daniel A. ² - Gardini, Carlos E. ² - Moreiras, Stella M. ^{3,4}

Recibido: 19 de mayo de 2015 • Aceptado: 07 de noviembre de 2015

Resumen

En este trabajo se estima la altura máxima hipotética del oleaje que se produciría sobre la superficie de agua del embalse Potrerillos, debido al colapso repentino de un deslizamiento situado al pie de la ladera occidental del cerro Los Baños, en la margen nororiental del embalse, calculado en 493.000 m³ aproximadamente. El cálculo de la ola se realiza en base al modelado del área inestable aflorante por encima de la superficie del lago, a través de la selección de la superficie de rotura teórica con menor factor de seguridad. Se asume que el deslizamiento es homogéneo y de geometría triangular simétrica.

A partir del cálculo de la amplitud de la onda inicial y final en el agua, generada por la masa que se desliza sobre un plano inclinado, sin rozamiento, considerando las características topográficas del área inestable, se estima que se generaría una altura de ola de 12,90 m en el primer instante y en el sector de ingreso de la masa rocosa al agua. A medida que la onda superficial de gravedad se propaga sin pérdida de energía, llegaría a tener una altura máxima de 3,60 m tanto en la presa como en la costa opuesta, ambos situados a unos 2500 m del deslizamiento. En una situación real de un deslizamiento con rozamiento, se considera que la ola máxima estaría por debajo del nivel de coronamiento de la presa, representando un riesgo bajo hacia la misma.

Palabras claves: Deslizamiento - Embalse - Colapso.

Abstract

The hypothetical maximum height of the wave produced on the water surface of Potrerillos dam due to the sudden collapse of a landslide at the western slope foot of Los Baños hill on the dam northeastern margin is estimated on approximately 493.000 m³. The wave calculation is done based on the modeling of the unstable area appearing on the lake surface, through the selection of the desired fracture surface with the

1. Departamento de Física, Universidad Nacional de San Luis, Ejército de los Andes 950, 5700, San Luis.
 2. Departamento de Geología, Universidad Nacional de San Luis, Ejército de los Andes 950, 5700, San Luis.
 3. Universidad Nacional de Cuyo
 4. CONICET
- ✉ ecrino@unsl.edu.ar

lowest safety factor. The landslide is assumed to be homogeneous and with symmetric triangular geometry.

Considering the amplitude of the initial and end waves in the water, generated by the rocky mass sliding on an inclined plane without friction, and the topographic features of the unstable area, a 12,90-metre wave is estimated to be generated at the first moment and in the area of the rocky mass entry to water. As the gravity surface wave propagates without energy loss, the wave might reach a maximum height of 3,60 m in the dam and in the opposing coast, both located at 2.500 m from the landslide. In a real landslide situation with friction, the maximum wave is considered to be below the level of the dam crown, representing a low risk to the wave.

Keywords: Landslide - Dam - collapse.

INTRODUCCIÓN

En la margen noreste del embalse de Potrerillos (Provincia de Mendoza), se determinó la existencia de un deslizamiento rotacional ubicado al pie de la ladera occidental del cerro Los Baños (32°58'32" S y 69°08'40" O), que afecta a rocas sedimentarias de edad triásica y neógenas en el ámbito de la Pre-cordillera de los Andes (Figura 1).

El proceso de inestabilidad fue reconocido inicialmente por personal de la delegación Potrerillos de Recursos Naturales de la Provincia de Mendoza, durante junio de 2007.

Posteriormente, Sales et al. (2012) describen el área del deslizamiento con un largo máximo de 380 m en dirección NE-SO hacia la orilla del lago y un ancho promedio de 200 m, cubriendo una superficie aproximada de 7,6 ha. Esto constituiría una masa inestable en movimiento hacia el lago de aproximadamente 492.928,9 m³, resultado obtenido del modelado de la supuesta superficie de rotura con menor factor de seguridad. Se analizaron además cualitativamente las posibles causas que podrían haber actuado como disparador del deslizamiento, interpretando que el evento fue generado más por un vaciado rápido del embalse que por la existencia de terremotos, dadas condiciones sísmicas del sector (Zona Sísmica 1).

Moreiras et al. (2014), identifican cuál sería la perturbación de la superficie lacustre ante la caída abrupta de la masa inestable, mediante el análisis de la propagación de la onda superficial de gravedad en la superficie lacustre, que es el eje central de esta contribución.

ANÁLISIS METODOLÓGICO

En caso de producirse la caída abrupta de la masa inestable hacia el lago, por movimiento rotacional de la ladera al pie del cerro Los Baños, se generaría en la superficie del embalse un movimiento ondulatorio de marea propagándose inmediatamente a través de la superficie lacustre con una determinada amplitud de onda inicial. Ante tal evento, resulta importante estimar el máximo nivel de la ola en el instante en que el material ingresa al espejo de agua, y cual sería la amplitud de la onda superficial de gravedad que llegaría tanto a la margen opuesta del embalse y como a la presa misma, ambas distantes 2500 m del punto inicial de la ola.

Es sabido que una superficie de agua libre de esas dimensiones en equilibrio, sometida a la gravedad y a la tensión superficial, es plana y horizontal. Si se la aparta de su posición de equilibrio en algún punto por efecto de una perturbación, como la que produce por ejemplo la caída de un cuerpo sólido, se originará en el agua un movimiento ondulatorio que se propagará sobre toda la superficie líquida. Si la longitud de onda de este movimiento es lo suficientemente grande (mayor que algunos centímetros), la fuerza de restitución se debe sólo a la

gravedad y al movimiento se lo denomina *ondas de gravedad*. El movimiento de las partículas de agua de un estanque (embalse) en donde se propaga una onda de gravedad de longitud de onda λ , dependerá de la profundidad h del mismo. En el caso en que $h > \lambda/2$ las ondas se denominan de *aguas profundas* y el movimiento de las partículas de agua es circular con un radio que disminuye exponencialmente con el aumento de la profundidad. Si en cambio la profundidad del estanque es pequeña ($h < \lambda/10$) las partículas se mueven en una trayectoria elíptica y las ondas se denominan de *aguas poco profundas*.

Si un cuerpo sólido de dimensión característica L cae sobre esta superficie líquida desde una cierta altura, generará en ella un pulso constituido por una superposición de ondas de longitudes de onda diferentes. Sin embargo, el análisis de Fourier (en Gratton, 1986) confirma que la longitud de onda predominante es del orden de la extensión espacial de la perturbación inicial. La energía de la onda dependerá de su amplitud. Suponiendo que la onda preponderante en el pulso tiene una longitud de onda del orden de $2L$, la energía potencial por unidad de longitud del frente de onda puede calcularse aproximadamente asemejando la mitad del ciclo con un triángulo de altura A y base igual a media longitud de onda $\lambda/2$. Considerando que para procesos periódicos, la energía cinética es igual a la potencial, la energía total de la onda de amplitud A por unidad de longitud del frente de onda será como se expresa en la Tabla 1 (ecuación 1), en donde δ_a es la densidad del agua.

La energía total del frente de onda de longitud s , ha de ser igual a la energía potencial que posee el cuerpo de masa M_r que cae desde una altura H por encima del agua, expresado en la ecuación 2 (Tabla 1). Por lo tanto, se puede calcular la amplitud de onda A , a partir de la ecuación 3 (Tabla 1).

Assumiendo que la onda preponderante en el pulso tiene una longitud de onda del orden de $2L$ y siendo $s = 2\pi L$, la amplitud de onda A puede calcularse a partir de la ecuación 4 (Tabla 1).

Tabla 1. Ecuaciones utilizadas para el cálculo de la máxima amplitud de onda superficial de la ola, al momento de que la masa inestable ingrese al agua.

Descripción	Ecuación
Energía Total de la onda	$E = \frac{1}{2} \delta_a \lambda \cdot g \cdot A^2$ (1)
Energía Potencial	$M_r \cdot g \cdot H = \frac{1}{2} \delta_a \cdot \lambda \cdot g \cdot s \cdot A^2$ (2)
Amplitud de onda	$A = [2M_r H / \delta_a \lambda s]^{1/2}$ (3)
	$A = [M_r H / 2\pi \delta_a L^2]^{1/2}$ (4)
	$A(r) = [r_0(A_0)^2 / r]^{1/2}$ (5)

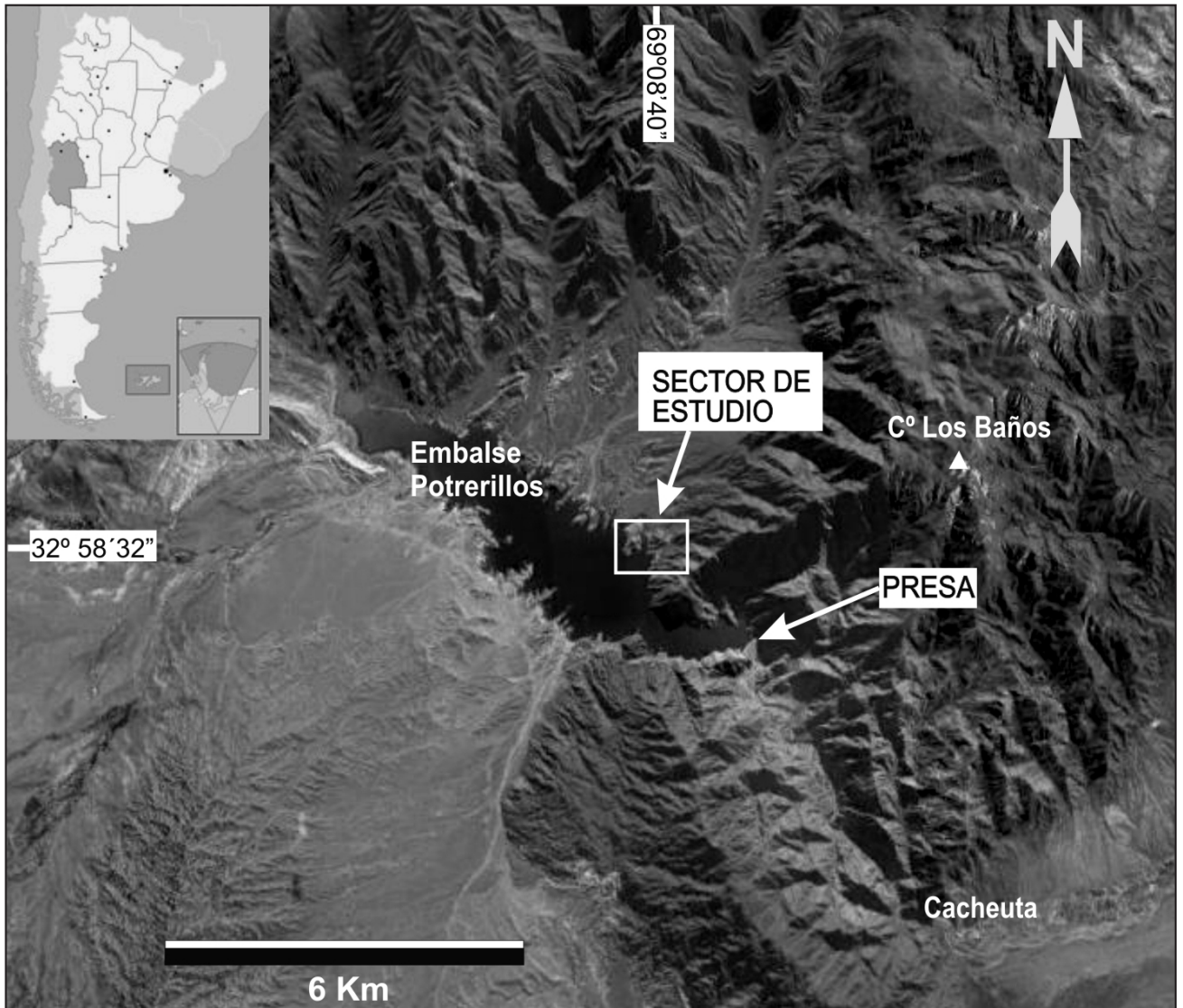


Figura 1. Mapa ubicación del sector de estudio (imagen tomada y modificada de Google Earth).

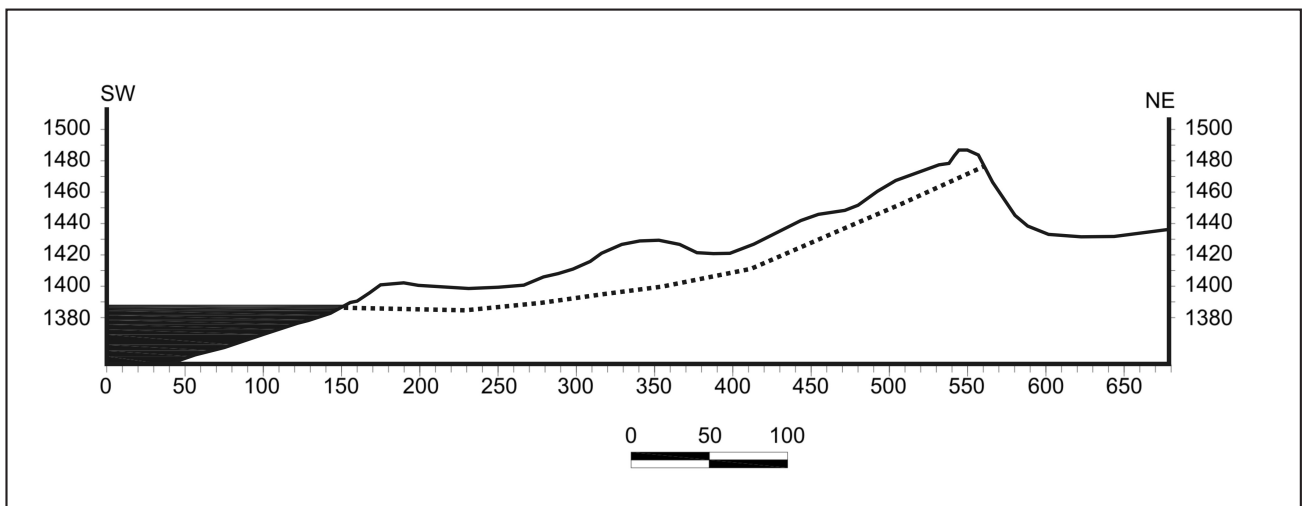


Figura 2. Perfil topográfico A-A' y superficie de rotura con menor factor de seguridad del área inestable (trazo discontinuo).

Por último, considerando que la onda se propaga sin pérdida de energía, su amplitud $A(r)$ a r metros del punto de origen ha de verificar que cumple la ecuación 5 (Tabla 1).

MODELIZACION Y CÁLCULO DEL OLEAJE

El cálculo de la máxima amplitud de la onda superficial que se podría generar en el embalse del dique Potrerillos por el deslizamiento de la ladera, según la representación topográfica de detalle, se ha efectuado haciendo ciertas suposiciones. En primer lugar se supone que la conformación del deslizamiento es homogénea y de forma triangular simétrica respecto de un plano vertical que corta a la superficie según la línea del perfil topográfico (Figura 2).

Suponiendo que la masa rocosa que se desliza hacia el agua lo hace como un todo según un plano inclinado y sin rozamiento, puede considerarse que el cuerpo sólido que cae sobre la superficie del lago tiene su centro de masa a una altura $H = 36$ m por encima del nivel de agua.

Teniendo en cuenta la ecuación 4 (Tabla 1) y bajo las condiciones mencionadas, el valor de la amplitud "A" de la onda de gravedad superficial generada por el derrumbe de la masa rocosa en estudio, determinada para el punto de origen (ingreso de la masa rocosa al agua) es de 12,9 m de altura.

A partir de la ecuación 5 (Tabla 1), se estimó el valor de amplitud de onda a una distancia "r" del sitio de ingreso de la masa inestable. Dado que: $r_0 = L$, y que las distancias (r) a la costa que se ubica en frente del punto de deslizamiento y también la correspondiente en línea recta al cierre de la presa, son, como se observa en la Figura 1, ambas aproximadamente 2500 m, se encuentra que la máxima altura de la onda que llegaría a esos puntos es: $A(2500\text{m}) = 3,60$ m.

Considerando que el cálculo se realizó para una situación ideal sin rozamiento, la altura final de la ola en esos puntos debería ser menor por lo que la misma estaría por debajo del nivel de coronamiento de la presa. Este análisis cuantitativo muestra entonces un riesgo bajo hacia la misma.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

GRATTON, J, 1986.

Arrojando piedras en un estanque,
Física, Vol. 1: 4-15.

MOREIRAS, S., E. CRINÓ, D. SALES Y C. GARDINI, 2014.

Análisis del oleaje en el lago Potrerillos (Mendoza, Argentina) por caída abrupta de la ladera inestable del cerro Los Baños.
Actas 19º Congreso Geológico Argentino, en CD. 2 al 6 de Junio, Córdoba.

SALES, D., S. MOREIRAS Y C. GARDINI, 2012.

Riesgo de deslizamiento a orillas del lago Potrerillos, Prov. de Mendoza.
10º Simposio de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente, Villa Carlos Paz (Cba.), 15 al 17 de Agosto de 2012.