

TSUNAMIS EN EL LAGO NAHUEL HUAPI

# HISTORIAS DE DESLIZAMIENTOS Y ERUPCIONES

En el lecho del lago Nahuel Huapi se preservan evidencias de erupciones, sismos y deslizamientos subacuáticos. Estudiar estos fenómenos nos permite evaluar los peligros naturales en las costas lacustres.

**Débora Beigt, Gustavo Villarosa, Valeria Outes, M. Andrea Dzenoletas y Eduardo A. Gómez**

El 22 de mayo de 1960 un tsunami golpeó las costas de S. C. de Bariloche. El antiguo muelle del Puerto San Carlos, que se hallaba en reconstrucción luego del incendio de 1958, colapsó durante dicho evento. ¿Cuáles fueron los mecanismos que generaron esta ola? ¿Se puede relacionar su origen con el gran sismo de Valdivia ocurrido simultáneamente? ¿Puede volver a ocurrir un evento como éste en el lago Nahuel Huapi, o en otro lago de la región? El Grupo de Estudios

Ambientales del Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medioambiente (CONICET/UNCo) e investigadores del Instituto Argentino de Oceanografía (CONICET/UNS) estudian los sedimentos y la topografía del lecho del lago Nahuel Huapi con el objeto de comprender cómo se generan estos eventos lacustres y evaluar la peligrosidad que representan para las poblaciones costeras.

## ¿Por qué los lagos de nuestra región están expuestos a este tipo de fenómenos?

Para comprender por qué pueden producirse tsunamis y otros eventos asociados en los lagos de la Norpatagonia Andina, en principio debemos tener en cuenta que la región se halla expuesta a frecuente actividad sísmica. En efecto, en un rango que oscila entre peligrosidad sísmica «muy reducida» y «muy elevada» para el territorio argentino, el Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES) cataloga a esta región como de «peligrosidad moderada». Los terremotos registrados en la región son provocados por la convergencia de dos placas litosféricas (ver Glosario) en el borde occidental del Cono Sur: la placa Sudamericana y la Placa de Nazca. Ésta última se desplaza hacia el este, deslizándose o «subduciendo» bajo la placa Sudamericana, que se desplaza en sentido opuesto (ver Figura 1). Las colisiones, fracturas y reacomodamientos entre placas litosféricas que convergen a velocidades de aproximadamente 11 cm/año provocan periódicamente la liberación de grandes cantidades de energía en forma de terremotos.

Ahora bien, podemos preguntarnos qué relación existe entre un sismo y un tsunami lacustre, que por definición es una «ola o serie de olas que se producen en una masa de agua al ser empujada violentamente por una fuerza que la desplaza verticalmente». Pues bien, un terremoto registrado en la región puede desencadenar en un ambiente lacustre dos tipos de fenómenos: por un lado, puede provocar que una falla preexistente en el fondo del lago se reactive; o bien puede desencadenar movimientos de masas de sedimentos a lo largo de las pendientes del lecho

**Palabras clave:** Nahuel Huapi, tsunami 1960, deslizamientos, erupción Cordon Caulle.

### Débora Beigt <sup>(1)</sup>

Dra. en Geografía.

dbeigt@comahue-conicet.gob.ar

### Gustavo Villarosa <sup>(1,2)</sup>

Dr. en Geología.

villarosag@comahue-conicet.gob.ar

### Valeria Outes <sup>(1)</sup>

Lic. en Geología.

outesv@comahue-conicet.gob.ar

### M. Andrea Dzenoletas <sup>(1)</sup>

Mgr. en Desarrollo Ambiental de Áreas Urbanas.

dzenoletasma@comahue-conicet.gob.ar

### Eduardo A. Gómez <sup>(3)</sup>

Dr. en Geología.

gmgomez@criba.edu.ar

<sup>(1)</sup> INIBIOMA - Inst. de Investigaciones en Biodiversidad y Medioambiente (CONICET/Universidad Nacional del Comahue), Grupo de Estudios Ambientales GEA.

<sup>(2)</sup> Centro Regional Universitario Bariloche, Universidad Nacional del Comahue

<sup>(3)</sup> IADO - Inst. Argentino de Oceanografía (CONICET/Universidad Nacional del Sur)

Recibido: 26/07/2012. Aceptado: 24/10/2012

Imagen: INPRES, 1991.

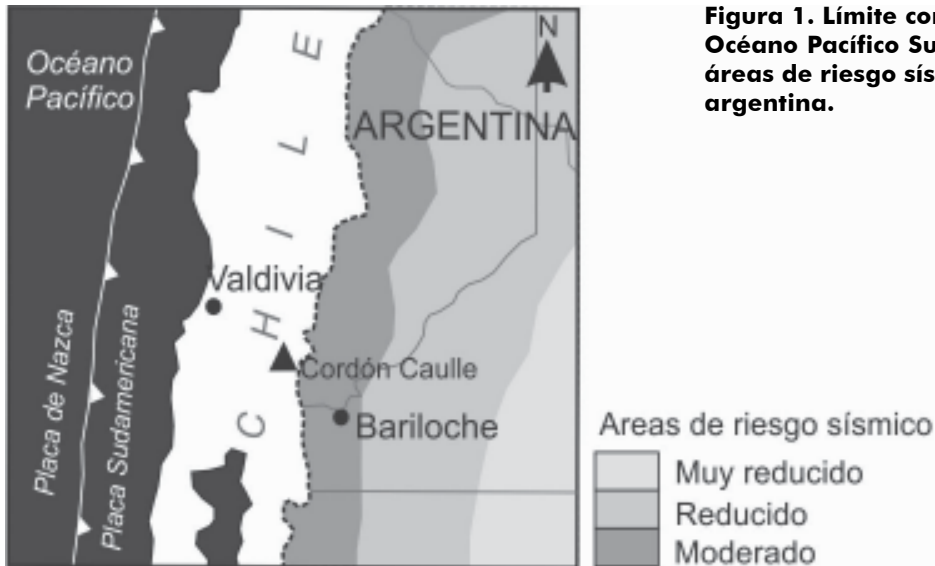


Figura 1. Límite convergente entre placas en el Océano Pacífico Sur. En tonos de gris se indican las áreas de riesgo sísmico en Patagonia Norte argentina.

(deslizamientos subacuáticos), o en sectores de laderas adyacentes a las costas lacustres (deslizamientos subaéreos, que introducen grandes volúmenes de rocas en el cuerpo de agua). Este tipo de eventos afecta la topografía del fondo lacustre y puede desplazar verticalmente un volumen de agua, induciendo una onda (ola) en la superficie (ver Figura 2).

**¿Cómo se estudian estos fenómenos lacustres?**

El grupo de trabajo efectúa campañas regulares a los sitios de interés para extraer sedimentos y relevar la morfología del lecho. Para ello se utiliza un equipo de batimetría («Sonar Batimétrico por Medición de Fase», ver Figura 3A) que se monta en una embarcación. La batimetría es la medición de las profundidades del lago. El procesamiento de esta información (ver Figura 3B) permite reconstruir el relieve subacuático.

Los datos que se obtienen con este equipamiento son de un alto nivel de detalle (del orden de centímetros) y se georreferencian -es decir, se ubican espacialmente- mediante GPS. A partir de estos datos

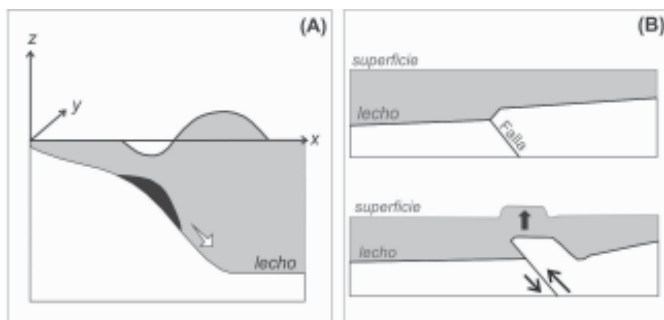


Figura 2. Generación de ondas en la superficie de un lago por efecto de (A) un deslizamiento subacuático (modificado de Fine, 2003), (B) un desplazamiento de falla en el lecho (modificado de NOAA, 2003).

se confeccionan los mapas de pendiente, curvas de nivel, sombreado del relieve y orientación de laderas (ver Figuras 4A, B, C y D) y se interpreta la morfología subacuática (ver Figura 4E).

Paralelamente, para estudiar los sedimentos del lecho lacustre, se toman testigos de fondo en los sitios de interés (ver Figura 5A). Éstos consisten en cilindros donde se colectan los sedimentos extraídos del fondo del lago. Su longitud depende esencialmente de las características de los sedimentos. Otra técnica utilizada es la denominada sísmica de reflexión, que permite obtener información sobre la arquitectura interna del

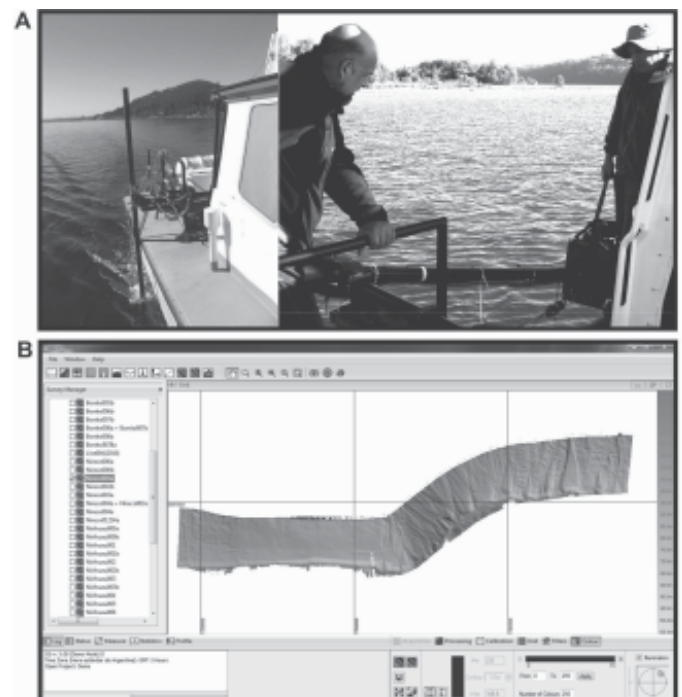


Figura 3. A). Equipo de batimetría utilizado para medir las profundidades en el lago Nahuel Huapi. B). Procesamiento de la batimetría correspondiente a un sector del delta del arroyo Ñireco y áreas adyacentes.

Imagen: D. Beigt

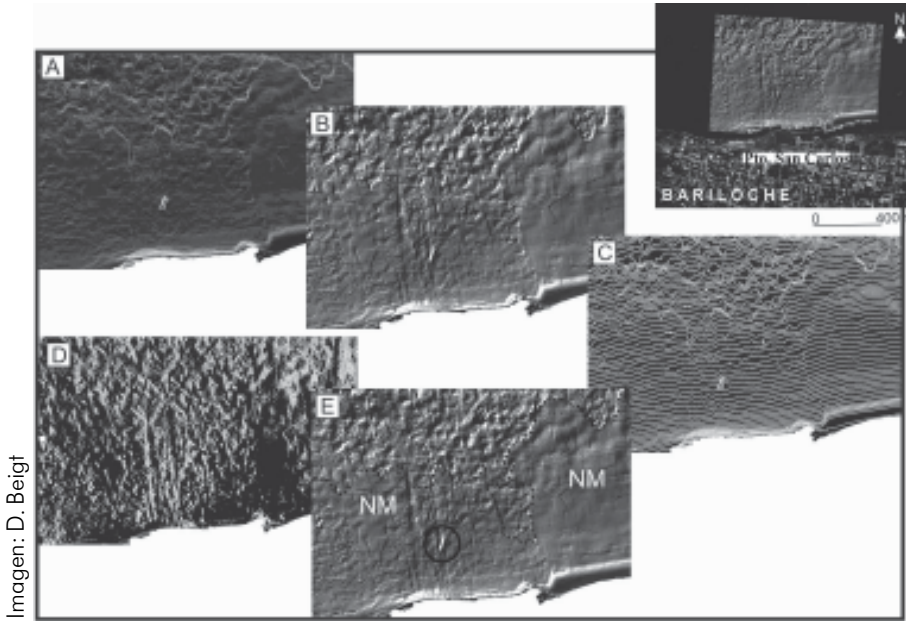


Imagen: D. Beigt

Figura 4. Mapas de pendientes (A), sombreado del relieve (B), curvas de nivel (C) y orientación de laderas (D) en un sector del lecho frente a Puerto San Carlos. Las pendientes más abruptas se indican en tonos más claros. En (E) se muestra la interpretación de la morfología subacuática, donde la línea punteada marca el límite de un gran deslizamiento y las áreas no movilizadas se indican con la sigla «NM». El círculo indica un objeto rectangular ubicado frente a la escollera del puerto, que se estima puede corresponder a restos del antiguo muelle colapsado en 1960.

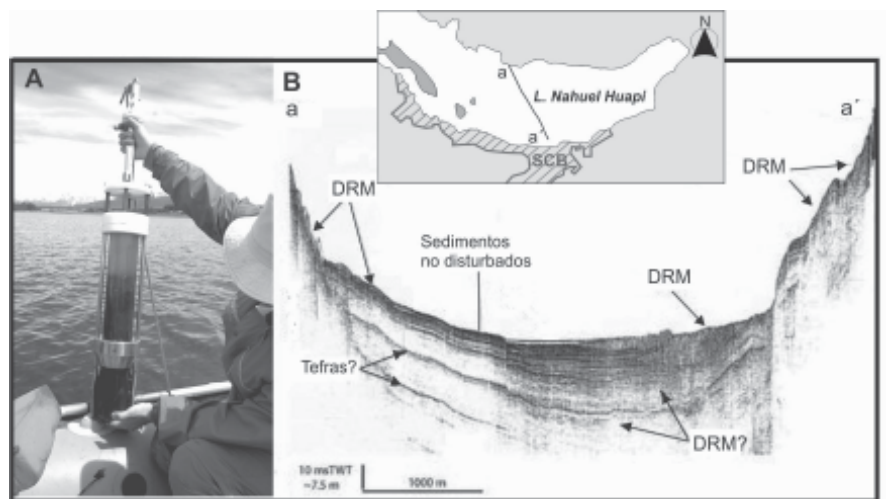
subsuelo lacustre y las estructuras rocosas en profundidad (especialmente las distintas capas o estratos) y extraer una imagen que lo represente (ver Figura 5B).

**¿Cómo y por qué se produjo el tsunami de 1960 en el lago Nahuel Huapi?**

Existe una amplia evidencia de tsunamis ocurridos en lagos europeos y estadounidenses (como ejemplos pueden citarse el lago de Brienz y de Lucerna en Suiza y el lago Owens en Estados Unidos, entre otros), sin embargo en nuestro país el único documentado es el tsunami del 22 de mayo de 1960 en el lago Nahuel Huapi. Este evento, simultáneo al sismo de Valdivia -el mayor terremoto registrado históricamente, de magnitud 9,5-, golpeó las costas de la ciudad de Bariloche, afectando en particular la zona del antiguo muelle de Puerto San Carlos, que fue destruido durante dicho evento (ver Figura 6).

El geólogo Gustavo Villarosa y los integrantes del GEA estudiaron los mecanismos generadores de este tsunami, considerando las dos posibles alternativas, a saber: un movimiento de falla, o deslizamientos subacuáticos que hubiesen afectado el lecho lacustre (no hay evidencias de deslizamientos de laderas que hayan ingresado al lago volúmenes considerables de materiales sólidos). Para ello se estudió la topografía del lecho en cercanías de Puerto San Carlos, se analizaron los sedimentos y las capas o estratos en el subsuelo lacustre frente a la ciudad de S.C. de Bariloche. No se hallaron evidencias de un desplazamiento de falla en el fondo del lago. Sin embargo, si observamos la topografía frente al puerto (ver Figuras 4 y 7), podemos diferenciar claramente distintas áreas en relación a su textura o rugosidad; las zonas más rugosas representan las áreas que han sido movilizadas

Figura 5. A) Extracción de testigos de fondo en ambientes lacustres de la región. B) Perfil sísmico del lecho del lago Nahuel Huapi frente a S. C. de Bariloche, en una transecta que une la costa N-NO (a) con la costa S-SE del lago (a'). Los sectores donde se observan claramente los distintos estratos en el subsuelo lacustre corresponden a sedimentos no disturbados por movimientos en masa. Los depósitos de sedimentos movilizadas se indican con la sigla "DRM". En profundidad se han identificado estratos de tefra, o material piroclástico no consolidado producto de antiguas erupciones de los volcanes andinos de la región (Modificado de Chapron y colaboradores, 2006; Villarosa y colaboradores, 2009).



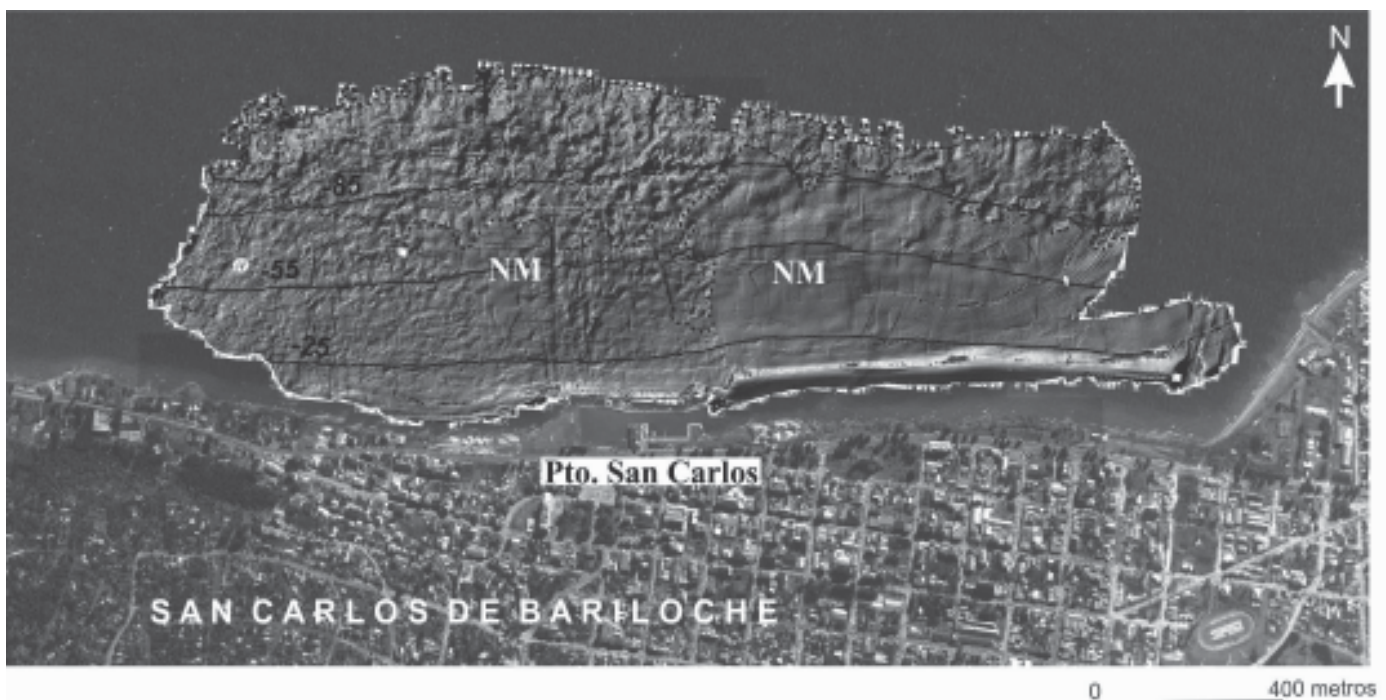


**Figura 6. Fotografías tomadas en el sector de Puerto San Carlos el día 22 de mayo de 1960, donde se observan los restos del muelle colapsado y los daños ocasionados a las embarcaciones Modesta Victoria y Cruz del Sur. Las flechas indican el avance de algunas ondas en la superficie del lago, posible efecto posterior a la ocurrencia del tsunami.** Fuente Diario Digital Bariloche 2000 ([www.bariloche2000.com](http://www.bariloche2000.com)).- +

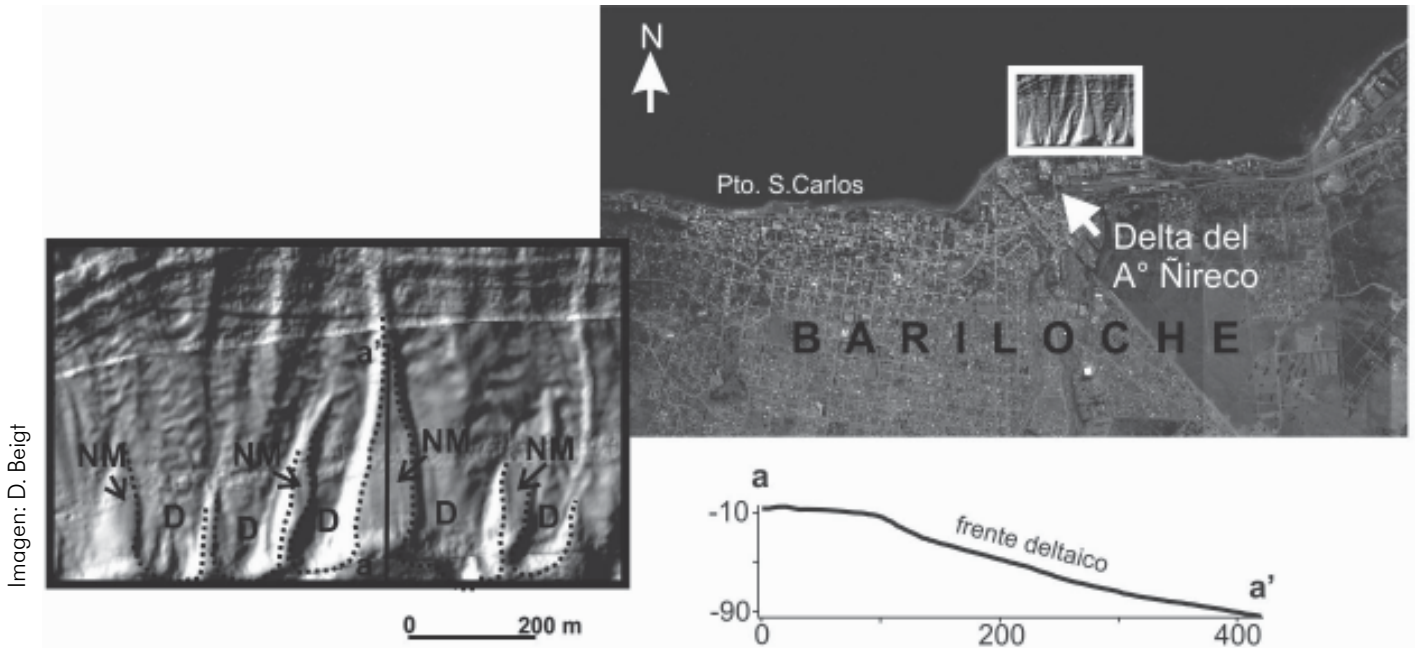
das. Estas áreas se ubican principalmente por debajo de los 70 m de profundidad.

Ahora bien, ¿en qué momento ocurrió este gran deslizamiento? ¿Puede decirse que la movilización de estos volúmenes de sedimentos en profundidad provocó el tsunami de 1960? Estas preguntas pudieron responderse gracias al estudio del *material piroclástico* de antiguas erupciones depositado en el sustrato lacustre. Por material piroclástico nos referimos al material producido por fragmentación de magma (roca fundida) durante las erupciones explosivas de los volcanes andinos. Cada evento de caída de ceniza en la región genera una capa o estrato de tefra (material piroclástico no consolidado) en el fondo del lago, que tiene especiales características y se diferencia de otras tefras por su color, tamaño de partículas, etc.

Estudiando los sedimentos en un sector deslizado frente al puerto, los investigadores lograron detectar una tefra correspondiente a la erupción del complejo Puyehue-Cordón Caulle iniciada el 24/05/1960 (días después del gran sismo de Valdivia), ubicada inmediatamente por encima de los depósitos del deslizamiento. Se interpreta entonces que la caída de ceniza volcánica fue inmediatamente posterior a la movilización de sedimentos, con lo que se deduce que este gran deslizamiento fue desencadenado por el terremoto de 1960. La movilización de estos grandes volúmenes de sedimentos en profundidad habría provocado el desplazamiento de una masa de agua y una ola tipo tsunami que golpeó las costas de Bariloche. Cabe destacar que todos estos procesos mencionados en el párrafo anterior fueron favorecidos en particular por la prolongada actividad humana ejercida durante la



**Figura 7. Topografía del lecho lacustre en el área de Puerto San Carlos. Las líneas continuas son curvas de nivel. La línea punteada marca el límite del sector deslizado. NM= áreas no movilizadas (modificado de Villarosa y colaboradores, 2009).**



**Figura 8. Mapa de relieve sombreado de un sector del delta del arroyo Ñireco. En línea punteada se delimitaron los deslizamientos (D), entre los cuales se observan áreas no movilizadas (NM). El perfil a-a' fue trazado sobre una de estas áreas, donde se puede observar la topografía previa a los deslizamientos. Sobre una franja costera de aproximadamente 100m de ancho, se extiende un ambiente de aguas someras de escasa pendiente (4°). Seguidamente, un brusco desnivel de unos 18m marca el inicio del frente deltaico, que presenta una pendiente pronunciada y relativamente constante de unos 14°. Las altas pendientes favorecen la movilización de sedimentos en estos ambientes.**

reconstrucción del muelle de Puerto San Carlos (1958-1960), que sufrió un incendio hacia fines de marzo de 1958. Las intensas vibraciones provocadas por el hincado de los postes debilitaron los sedimentos en el área del puerto, aumentando la inestabilidad de las pendientes en este sector.

**Los deltas, ambientes particularmente dinámicos**

A partir de estos primeros trabajos en busca del origen del tsunami de 1960, surgió la inquietud acerca de las condiciones de estabilidad de las pendientes del lecho en cercanías de las localidades costeras, por la peligrosidad que estos fenómenos pueden representar para la población e infraestructura costera. Es así que comenzamos a investigar la posible existencia de áreas deslizadas y de sectores susceptibles a deslizarse en éste y otros lagos de la región. En el lago Nahuel Huapi se hallaron abundantes deslizamientos en sectores costeros del lecho lindantes a las localidades de Bariloche, Dina Huapi y Villa La Angostura, especialmente en los deltas. En general, éstos suelen ser ambientes propensos a sufrir deslizamientos, dado que la rápida depositación de sedimentos que los caracteriza favorece la movilización de éstos a lo largo de las pendientes.

Particularmente durante un evento de caída de ceniza volcánica en la región, los deltas más expuestos por su cercanía al volcán experimentan un notable crecimiento por efecto del transporte fluvial y posterior

depositación en los deltas, del material piroclástico caído sobre las cuencas hídricas. Esta situación se observó claramente durante la erupción del Cordón Caulle iniciada el 4/06/2011 y se pudo verificar a partir de estudios acerca de la cantidad de sedimentos depositados durante el evento volcánico, así como mediante fotografías aéreas tomadas con anterioridad y posterioridad a la erupción en los deltas de los arroyos Pireco y Totoral. La rápida acumulación de estos sedimentos de baja densidad de origen volcánico genera depósitos deltaicos muy poco compactados, con gran contenido de agua y pendientes abruptas, lo que los hace especialmente susceptibles a los fenómenos de movilización en masa.

Los deltas del lago Nahuel Huapi están conformados por una franja costera de escasa pendiente (0,2° - 4°), seguida por un frente deltaico de pendientes pronunciadas (14° - 22°) (ver Figura 8, perfil a-a'). Es en este último ambiente en particular donde se observa una continua sucesión de deslizamientos, indicando que estos procesos ocurren con una alta frecuencia. Alternando con estas superficies movilizadas, se extienden áreas que aún no han sido afectadas (en la figura 8, estas áreas se indican con la sigla «NM»). A priori se considera que estos sectores son especialmente propensos a sufrir una desestabilización, dadas las altas pendientes que los caracterizan y teniendo en cuenta que el relleno sedimentario en esas áreas probablemente presente características similares al de las áreas contiguas deslizadas.

Actualmente se están estudiando los sedimentos deltaicos con el objeto de identificar los elementos que posibilitan o favorecen la ocurrencia de deslizamientos en los frentes de delta. Asimismo, se utilizará la información sedimentológica y los resultados de la batimetría para reconocer y caracterizar las áreas potencialmente inestables. Estos datos son indispensables a los fines de estimar las características y los alcances de una posible ola generada a partir de futuros deslizamientos en el lecho lacustre, constituyéndose en información sumamente valiosa para las localidades que se asientan en las costas del lago.

---

## Glosario

---

**Batimetría:** medición de las profundidades en un cuerpo de agua, que permite reconstruir el relieve de superficies subacuáticas. En este caso, se realiza mediante un sonar (Sonar Batimétrico por Medición de Fase) montado en una embarcación, que emite una onda acústica hacia el fondo lacustre. La posición x, y, z (ubicación y profundidad de los puntos relevados del lecho lacustre) se determina calculando el ángulo o dirección de la onda acústica retrodispersada y el tiempo que transcurre entre la emisión y la recepción de tal señal.

**Curva de nivel:** línea que une los puntos de igual altura en un mapa.

**Delta:** depósito de forma generalmente triangular, generado por un curso de agua (río, arroyo, etc) al desembocar en un cuerpo de agua permanente.

**Deslizamiento:** movimiento en masa donde el material se mantiene bastante coherente y se mueve, por acción de la gravedad, a lo largo de una superficie bien definida, que puede ser un plano aproximadamente paralelo a la pendiente (deslizamiento traslacional) o una superficie de ruptura curva (deslizamiento rotacional).

**Falla:** fractura en la corteza terrestre a lo largo de la cual ha tenido lugar un desplazamiento apreciable.

**Material piroclástico:** material producido por fragmentación de magma durante erupciones volcánicas explosivas. Las partículas expulsadas pueden ser desde cenizas muy finas a grandes bloques. Los depósitos no consolidados de este material se denominan *tefra*.

**Placas litosféricas:** porciones de la corteza y del manto superior, rígido, de la Tierra que se mueven de manera independiente, generando bordes *convergentes* (destructivos) o *divergentes* (constructivos) según sea el movimiento relativo tendiente a la aproximación o a la separación entre placas. Es en estos límites de placa donde se concentra gran parte de la actividad sísmica y volcánica del planeta.

**Sísmica de reflexión:** técnica ampliamente utilizada en exploración geofísica que permite obtener información del subsuelo controlando los tiempos de llegada de ondas elásticas (pulsos) generadas artificialmente cerca de la superficie. El retorno de éstas a la superficie después de reflejarse en las distintas interfases de suelo se registra en sismómetros. Por tanto el objetivo básico de la sísmica de reflexión es obtener información sobre la arquitectura interna del subsuelo, deducir información acerca de las estructuras rocosas en profundidad (especialmente de las distintas capas o *estratos*) y extraer una imagen que lo represente.

---

## Lecturas sugeridas

- Beigt, D., Villarosa, G., Gómez y E. A. (2012). Deslizamientos subacuáticos en sistemas deltaicos del lago Nahuel Huapi: resultados preliminares de una evaluación de peligrosidad para localidad de Villa La Angostura (Neuquén). *Actas de las 2das Jornadas Nacionales de Investigación y Docencia en Geografía y 8vas Jornadas de Investigación y Extensión del Centro de Investigaciones Geográficas. Tandil, noviembre 2012.*
- Registros inéditos sobre el sismo de 1960.* En URL: <http://www.bariloche2000.com/la-ciudad/noticia-del-dia/39037-registros-ineditos-sobre-el-terremoto-de-1960.html>
- Villarosa, G., Outes, V., Gomez, E. y Chapron, E. (2007). Estudio sobre el origen del tsunami del Nahuel Huapi de mayo de 1960 mediante técnicas sísmicas y batimétricas de alta resolución. Evaluación de peligrosidad. *Informe técnico*, inédito. 22pp.
- Villarosa, G.; Outes, V.; Gómez, E. A., Chapron, E. y Ariztegui, D. (2009). Origen del tsunami de mayo de 1960 en el lago Nahuel Huapi, Patagonia: aplicación de técnicas batimétricas y sísmicas de alta resolución. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 65 (3), pp. 593–597.