

Suelos enterrados revelan la prehistoria sísmica del centro-sur de Chile durante los últimos dos milenios¹

MARCO CISTERNAS²

RESUMEN

Se presentan las principales lecciones obtenidas durante tres años de investigación paleosismológica en el centro sur de Chile. Gracias a estas claves, un equipo conformado por investigadores nacionales, norteamericanos y japoneses, en el marco del proyecto Fondecyt N° 1020224 *"Evidencias sedimentarias de eventos catastróficos naturales para la determinación de su periodicidad y riesgo"*, reconstruyeron la prehistoria de grandes terremotos y tsunamis ocurridos durante los últimos 2.000 años en esta parte de Chile. Sobre la base de los resultados, se propone una nueva tasa de recurrencia para dichos eventos. Paralelamente, se plantea una explicación a la enormidad del terremoto Chileno de 1960.

ABSTRACT

The main lessons achieved through three years of paleosismological research in central-South Chile are offered. Thank to these clues, a team composed by Chilean, north American and Japanese researchers, within the framework of the Fondecyt N° 1020224 project *"Sedimentary evidences of natural catastrophic events to determine its recurrence and hazard"*, rebuilt the prehistory of giant earthquakes and tsunamis occurred during the last 2,000 years in this part of Chile. On the basis of these results, a new recurrence rate for such events is proposed. In the same way, an explanation of the enormity of the 1960 Chile earthquake is also proposed.

Palabras clave: Paleosismología, terremoto, tsunami, suelos enterrados

Key words: Paleoseismology, earthquake, tsunami, buried soils

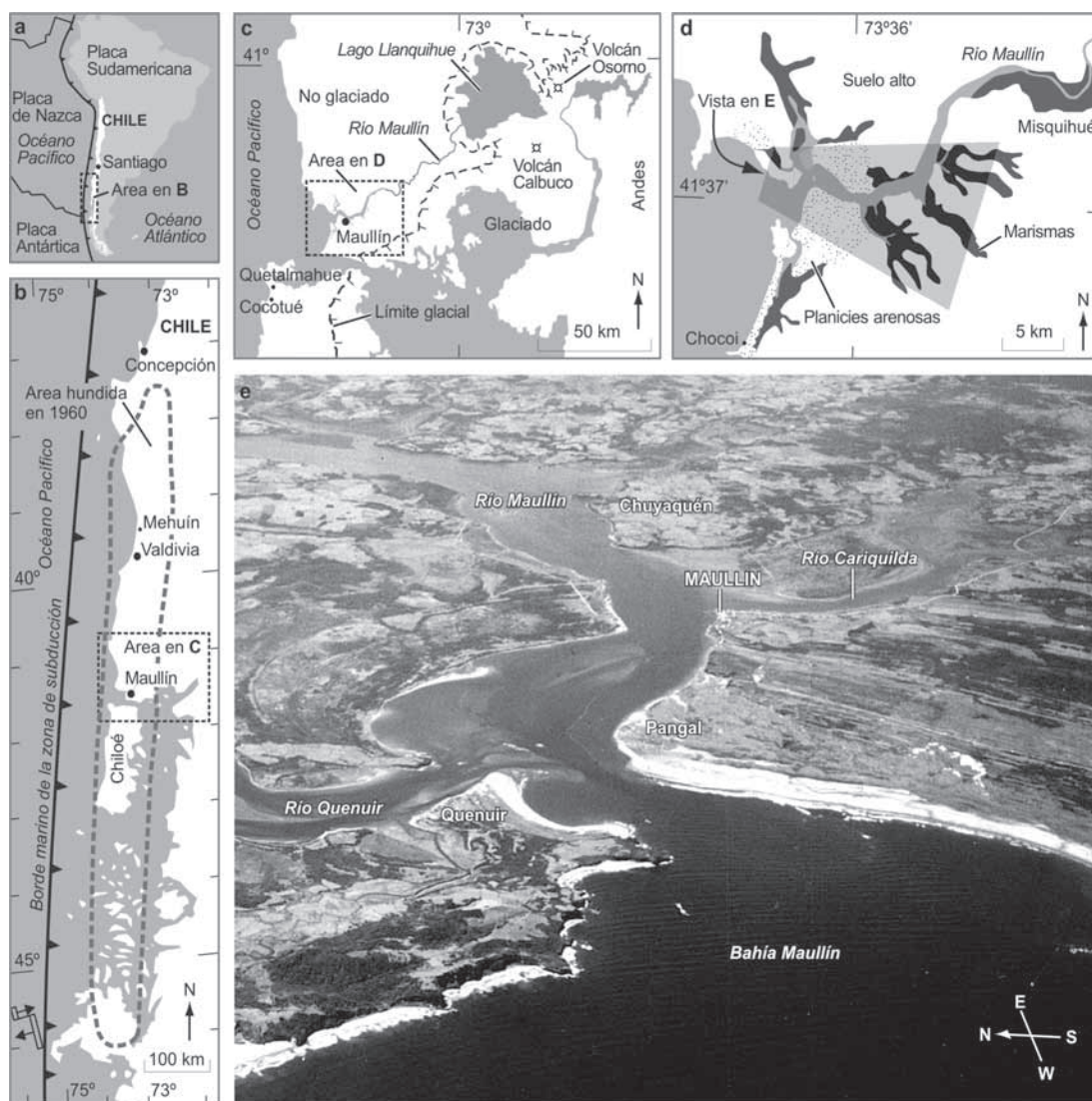
¹ La presente investigación fue financiada por Fondecyt (1020224). A continuación se agradece, en orden alfabético, a todos los participantes de la investigación, quienes desde sus diferentes nacionalidades, disciplinas y posiciones académicas, colaboraron con el éxito de esta investigación: Brian Atwater, Fabiola Chamorro, Annaliese Eipert, Muhammad Husni, Takanobu Kamataki, Marcelo Lagos, Gonzalo Machuca, Javed Malik, María Mardones, Patricia Martínez, C.P. Rajendran, Yan Rizal, Mauricio Rondanelli, Ignacio Salgado, Kenji Satake, Yuki Sawai, Masanobu Shishikura, Fernando Torrejón y Cristián Youlton.

² Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
E-mail: marco.cisternas@ucv.cl

Chile se localiza sobre una zona de subducción de placas tectónicas (figura N° 1), donde la placa de Nazca desciende bajo la placa Sudamericana (figura N° 2a). Cuando ambas placas están adheridas (trabadas), su movimiento convergente genera una tensión que deforma el borde occidental de Sudamérica. Este fenómeno se traduce en un levantamiento de la costa sur de Chile (figura 2b).

Cuando la tensión acumulada es demasiado alta, las placas se liberan abruptamente, se produce un terremoto de alta magnitud (usualmente sobre 9; también llamados "eventos gigantes") y un consecuente hundimiento del sector costero. El extremo occidental de la placa continental, localizado bajo el mar, se desplaza y golpea enérgicamente a la columna de agua generándose un tsunami (figura N° 2c). Las

FIGURA N° 1
LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



a) conjunto de placas involucradas en la tectónica chilena. b) centro-sur de Chile, línea segmentada delimita área de subducción del evento de 1960, línea continua con púas muestra el límite occidental de la zona de subducción. c) escenario geomorfológico del río Maullín. d) delimitación de las marismas y praderas bajas del estuario del río Maullín. e) vista aérea del estuario.

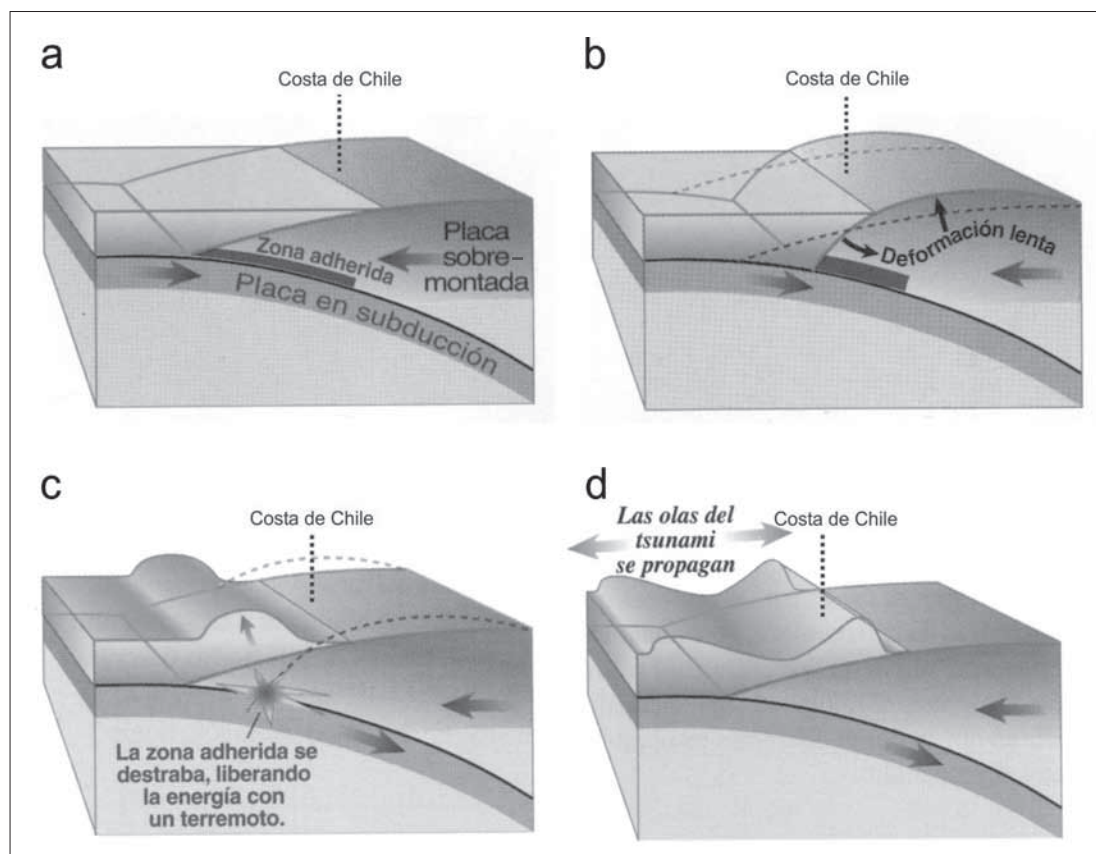
ondas se trasladan, a la velocidad de un jet comercial, en direcciones opuestas hacia la costa de Chile y a las costas asiáticas (figura N° 2d).

Considerando que las placas han estado, y estarán, en continuo movimiento, este permanente proceso de trabamiento y liberación de placas ha sometido periódicamente a la costa del sur de Chile a hundimientos repentinos (cosísmicos) y a levantamientos graduales (intersísmicos). De este modo, es posible suponer que conociendo la velocidad a la que se desplazan

las placas podría estimarse el periodo de recurrencia de estos fenómenos.

Sobre la base de eventos registrados históricamente (*i.e.* 1575, 1737, 1837 y 1960; Lomnitz, 1970), se considera que el periodo promedio de recurrencia de los grandes terremotos en el sur de Chile es de aproximadamente 128 años. Sin embargo, el terremoto de 1960, magnitud 9,5, genera un enigma difícil de explicar entre los especialistas. Durante dicho evento, el área de ruptura de las placas (zona previamente adherida) tuvo un desplazamiento (*slip*) de entre 20 y 30 m

FIGURA N° 2
ZONA DE SUBDUCCIÓN



a) la placa en subducción (Nazca) desciende sobre la placa Sudamericana. Su extremo occidental está adherido a la placa en subducción; sin embargo el movimiento convergente continúa. b) acumulación de energía. Al estar ambas placas trabadas se genera una deformación lenta de la placa Sudamericana. Esto produce un levantamiento del sector costero de Chile. c) terremoto. Debido a la alta tensión acumulada las placas se liberan abruptamente. Se genera un terremoto de alta magnitud (> 9). El extremo de la placa continental golpea al fondo del mar y la costa se hunde. d) Tsunami. Las ondas generadas por el golpe se desplazan en direcciones opuestas, alcanzando en unos minutos a las costas de Chile y horas después a las costas de Asia (Modificado de Atwater *et al.*, 1999).

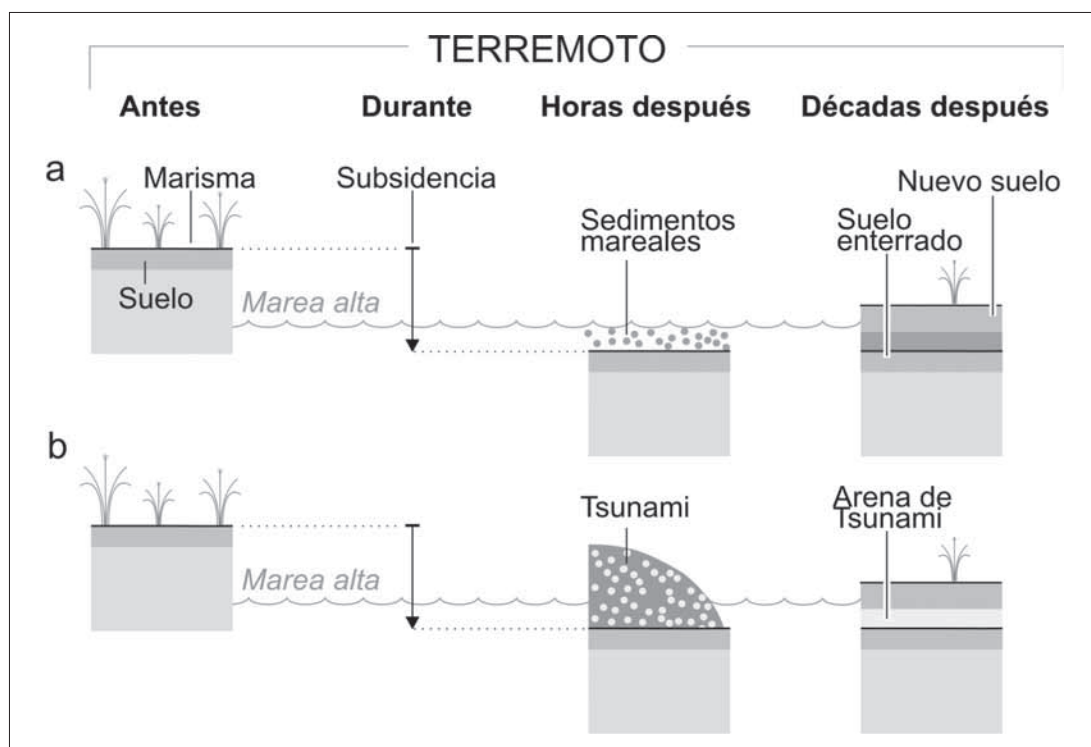
(Plafker & Savage, 1970; Kanamori & Cipar, 1974; Cifuentes, 1989), llegando a alcanzar los 40 m localmente (Barrientos & Ward, 1990). Considerando que las placas se desplazan a una velocidad de 8,4 cm por año (De Mets *et al.*, 1990), se requieren más de 300 años de convergencia para explicar el desplazamiento mencionado. Sin embargo, la zona de ruptura había sufrido un desplazamiento solo 123 años antes, en 1837, y a intervalos anteriores de 100 y 162 años, en 1737 y 1575 respectivamente.

Formación de suelos enterrados

El terremoto gigante de 1960, y sus secuelas naturales, ha sido utilizado por nuestro equipo de trabajo como un análogo moderno para estudiar las marcas dejadas por anteriores eventos de características similares.

El terremoto de 1960 hundió un cuarto de la costa chilena entre 1 y 2 m (figura N° 1b; Plafker & Savage, 1970). De este modo, las tierras bajas que estaban por sobre las mareas más altas repentinamente se vieron sometidas a inundaciones periódicas. Esto generó que los suelos de marismas y praderas bajas comenzaran a ser sepultados por la sedimentación mareal (figura N° 3a). Otros sectores fueron afectados por la inundación del tsunami y quedaron cubiertos por una capa de arena (Wright & Mella, 1963; figura N° 3b). En ambos casos, por separado o en un proceso compuesto, décadas más tarde se comenzó a desarrollar un nuevo suelo sobre la capa de sedimentos. Sea debido a la propia tasa de sedimentación del lugar o gracias a un eventual proceso de levantamiento intersísmico de la costa, este nuevo sustrato comienza a ser colonizado por la vegetación estuarina

FIGURA N° 3
FORMACIÓN DE SUELOS ENTERRADOS



a) Durante el terremoto la subsidencia hunde a las marismas, dejándolas bajo el nivel de las altas mareas. Posteriormente, la sedimentación mareal sepulta al suelo. Décadas más tarde, sea por sedimentación o por levantamiento intersísmico, comienza a desarrollarse, y ser colonizado por plantas, un nuevo suelo. b) El mismo proceso anterior, solo que los sedimentos que sepultan al suelo son dejados por el tsunami.

a medida que se “aleja” de la influencia de las mareas.

El proceso descrito generó que en diversas localidades afectadas por el evento de 1960 se encuentre, a poca profundidad, el suelo enterrado de 1960 (*Cisternas et al., 2000*). Como es lógico suponer, dado el constante movimiento convergente de las placas, este proceso se ha repetido a través del tiempo en muchas ocasiones. En lugares donde la erosión costera no supera a los montos de sedimentación, se debería encontrar la secuencia de suelos enterrados generados por eventos pasados de subsidencia.

Lecciones obtenidas

a) Suelos enterrados en las marismas de los estuarios del centro-sur de Chile han

registrado eventos pasados de subsidencia sísmica y tsunamis

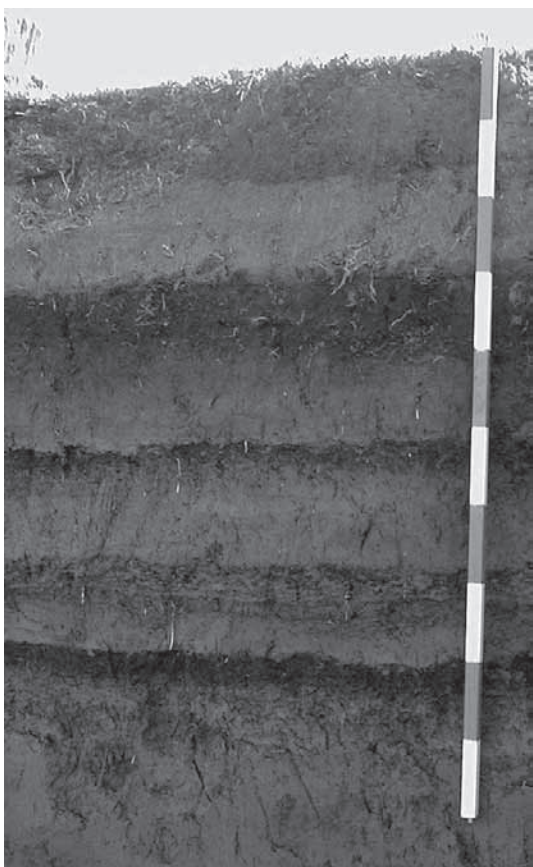
Aunque nuestros estudios se focalizaron en el estuario del río Maullín (figura N° 1), reconocimos la existencia de suelos enterrados y depósitos de tsunamis en otros estuarios y sectores costeros. Reconocimientos preliminares se hicieron en la bahía Cocotué y laguna Quetalmahue (figura N° 1c), ambos al oeste de Ancud, en playa Chocoi (figura N° 1d), al oeste de Carelmapu, y en el estuario del río Lingue, en Mehuín (figura N° 1b).

Nuestra evidencia más completa proviene del estuario del río Maullín. Ahí, mediante medio centenar de perforaciones con retroexcavadora (figura N° 4), obtuvimos el registro más claro y extenso de suelos enterrados y depósitos de tsunami (figu-

FIGURA N° 4
UTILIZACIÓN DE RETROEXCAVADORA PARA LA PERFORACIÓN DE FOSAS



FIGURA N° 5
PARED DE FOSA



Las bandas de color oscuro corresponden a suelos enterrados, mientras que las más claras son arenas depositadas por tsunamis pasados. Es posible observar que el suelo actual (arriba), está a la espera de la siguiente capa de arena. Cada barra de la regla equivale a 10 cm.

ra N° 5). Al menos ocho eventos han generado un verdadero código de barras que abarca 2.000 años de historia sísmica del centro-sur de Chile.

Es necesario destacar que parte de la validación del registro se logra a través de una serie de perforaciones que pueden abarcar hasta un kilómetro de longitud. Posteriormente, la serie lograda en cada fosa se correlaciona con las restantes fosas, lográndose perfiles estratigráficos que conectan cada suelo entre sí (figura N° 6). De este modo, los resultados se validan al comprobarse que cada señal (suelo) representa a un evento que dejó un rasgo real-

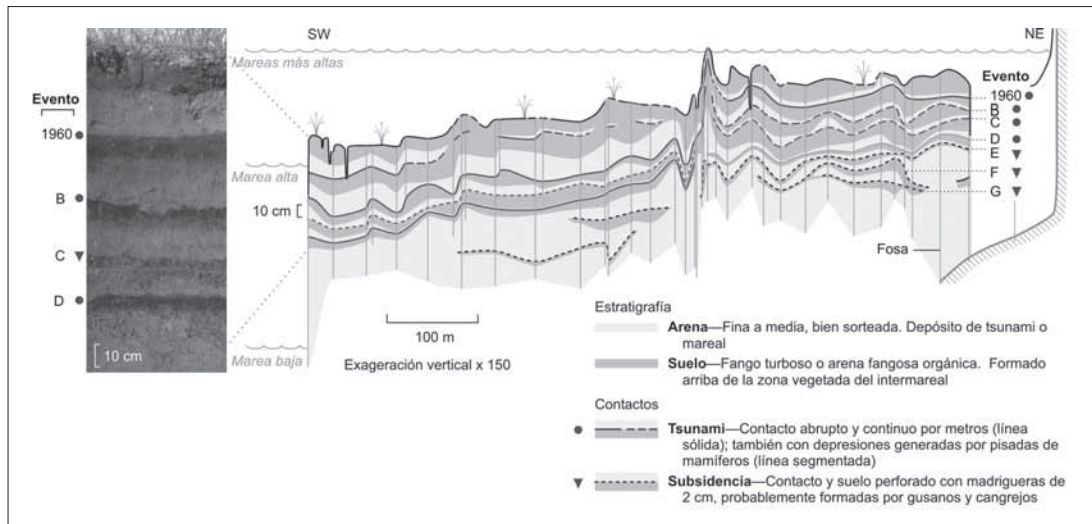
mente distintivo en el sistema natural y no responde a un fenómeno de expresión puntual. En la práctica, este es el problema de muchos estudios que solo cuentan con una perforación o barrenado (*coring*). En otras palabras, para que un suelo realmente represente un evento de subsidencia sísmica debe tener una expresión a mediana escala espacial. Si un determinado suelo es solo encontrado en un punto de perforación puede responder más bien a un fenómeno local del punto de muestreo.

b) Es posible reconstruir la prehistoria de terremotos gigantes mediante la datación de elementos orgánicos contenidos en los suelos sepultados

Mediante el análisis con radiocarbono de restos de plantas sepultadas, encontradas en posición de crecimiento en la parte superior de cada suelo, fue posible datar siete de los ocho eventos reconocidos. Se trata de plantas que probablemente estaban viviendo al momento del terremoto. Se caracterizan por estar enraizadas en el suelo sepultado, mientras que sus partes aéreas están inyectadas en la arena suprayacente.

Uno de los resultados más trascendentales de la serie temporal obtenida de esta forma (figura N° 7) es que se comprueba, contrariamente a lo supuesto inicialmente, que el verdadero predecesor del evento de 1960 no fue el terremoto de 1837 ni tampoco el de 1737. El paleosuelo que se encuentra inmediatamente debajo del de 1960, es el de 1575. Considerando que utilizamos como análogo moderno el evento de 1960, es posible esperar que un terremoto anterior, de similares características, produjera registros similares. De este modo, al inicio de la investigación esperábamos que el suelo inmediatamente subyacente al de 1960 fuese el evento de 1837. Lógicamente este evento no fue registrado instrumentalmente, por lo que su magnitud ha sido estimada sobre la base de información histórica. Lo sorprendente fue descubrir, mediante la datación, que el suelo precedente a 1960 correspondía a 1575. Sobre

FIGURA N° 6
EJEMPLO DE PERFIL ESTRATIGRÁFICO LOGRADO MEDIANTE LA CORRELACIÓN DE SUELOS ENTRE LAS DIFERENTES FOSAS



la base de estos hallazgos proponemos que los eventos de 1737 y 1837 no tuvieron la magnitud de los terremotos de 1575 y 1960. Aquí es necesario volver al planteamiento inicial, respecto a la diferenciación entre eventos “grandes” y “gigantes”. Debido a que la escala de magnitud tiene base logarítmica y no aritmética, un evento de magnitud 9 libera 30 veces más energía que uno de magnitud 8.

Este hallazgo también podría explicar el tamaño del evento de 1960. La energía liberada el 22 de mayo de 1960 estuvo siendo acumulada durante casi cuatro siglos, específicamente 385 años desde 1575. Energía que no fueron capaces de consumir los eventos intermedios de 1837 y 1737. Este planteamiento fue también verificado a través del estudio histórico y estudios dendrológicos.

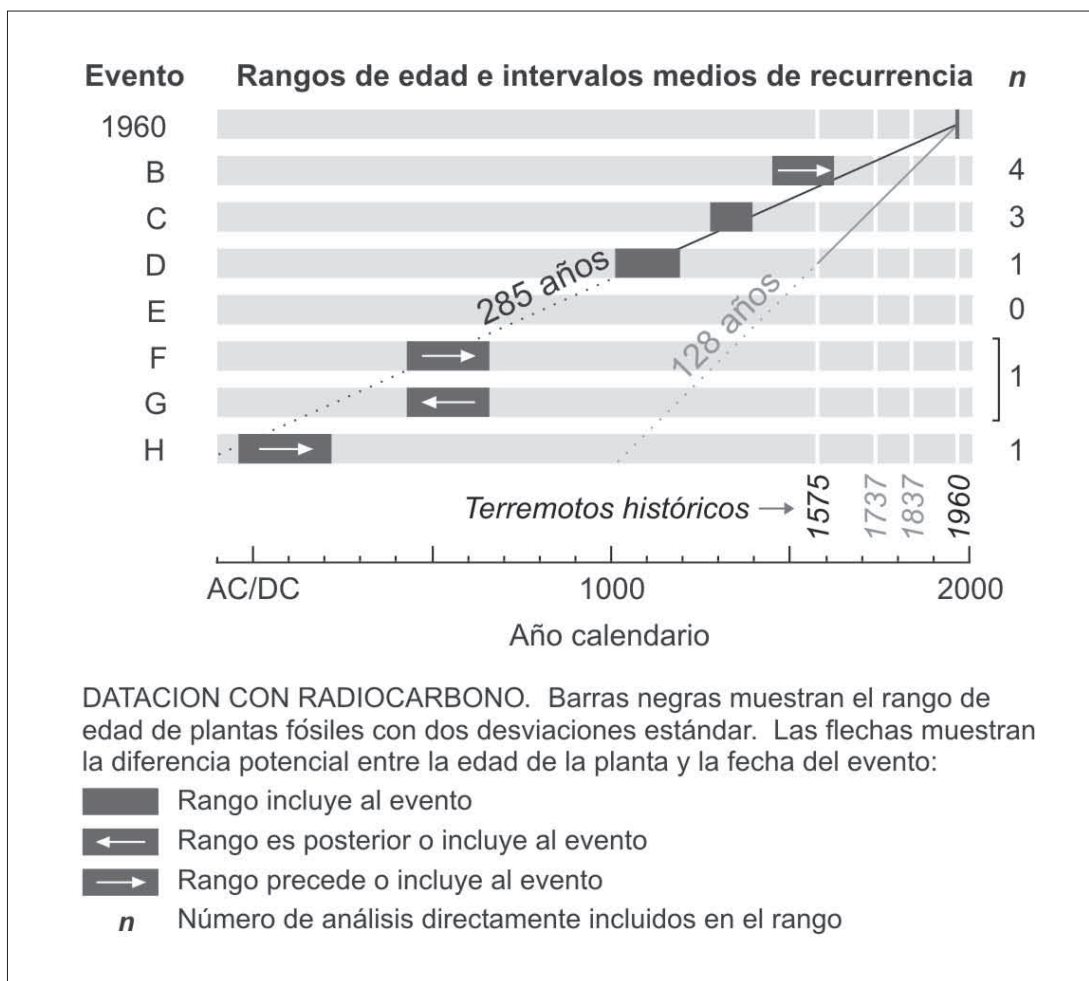
Es interesante también destacar que los registros sedimentarios del evento de 1575 rivalizan en todos los aspectos con los de 1960, mostrando incluso depósitos tsunámicos más potentes y extensos. Es difícil imaginar, desde nuestra perspectiva moderna, el pánico que debieron sen-

tir los primeros conquistadores españoles de nuestro territorio ante un evento de esas características, especialmente considerando que provenían, en su mayoría, de una región de calma sísmica. Parte de ese sentimiento ha quedado reflejado en las crónicas que han sobrevivido.

Respecto a la secuencia prehistórica (figura N° 7), el evento más antiguo registrado (H) corresponde a un terremoto gigante que aconteció alrededor de los años de Jesús o durante los siglos iniciales del primer milenio. Nuestros hallazgos no pudieron comprobar o rechazar la posibilidad de que este terremoto causara un tsunami. Unos tres siglos después ocurrió un nuevo evento (G) generador de un importante tsunami. Posteriormente, hacia la segunda mitad del primer milenio, ocurre un nuevo evento (F), del cual no hemos encontrado aún pruebas, a favor o en contra, de haber generado un tsunami. Probablemente unos siglos antes del año 1000 DC ocurrió otro evento (E), del que hasta ahora tenemos muy poca información.

El segundo milenio es el mejor datado de nuestra secuencia. En plena Edad Me-

FIGURA N° 7
SECUENCIA TEMPORAL DE RANGOS DE EDAD E INTERVALOS PROMEDIO DE RECURRENCIA
DE TERREMOTOS GIGANTES Y TSUNAMIS DEL CENTRO-SUR DE CHILE



dia, alrededor del año 1100 DC, ocurre un terremoto gigante en el centro-sur de Chile (D), seguido por un tsunami. Posteriormente, entre 1250 y 1350 DC ocurre el evento mejor datado (C), el que también presenta evidencias de haber sido seguido por un tsunami. La secuencia termina con los eventos de 1575 (B) y posteriormente el de 1960 (A).

Esta secuencia temporal permite postular que el periodo de recurrencia de terremotos gigantes en el centro-sur de Chile es más largo del pensado hasta ahora. Utilizando solo la información del último milenio (aun cuando el mile-

nio precedente también concuerda con nuestras estimaciones, pero no cuenta con la completa validación de las fechas), es posible proponer que el periodo de recurrencia de terremotos gigantes es de al menos 285 años, más del doble de los 128 años estimados hasta ahora. Aparentemente, se trata de buenas noticias para los habitantes de esta parte de Chile.

c) Es posible diferenciar los depósitos de tsunamis de los depósitos mareales

Uno de los grandes problemas que se debe enfrentar para la interpretación de

los procesos que habían sepultado a los suelos fue la diferenciación entre las capas de arena suprayacentes. Aquí es necesario destacar el hecho de que las arenas del estuario son sumamente homogéneas en los diferentes ambientes (*i.e.* playas, dunas, planicies mareales, etc.). Tanto su textura como mineralogía indican que se trata de sedimentos secundarios. En ocasiones encontrábamos capas de arena de 50 cm de espesor, lo que resultaba difícil de asociar a un depósito tsunámico. De hecho, en un primer momento de la investigación suponíamos que todas las capas de arena respondían a tsunamis. Finalmente, pudimos definir los criterios que diferencian los depósitos generados por tsunamis y de los producidos por el accionar de las olas y corrientes fluvio-mareales.

Antes de 1960 el sector de estudio estaba conformado por praderas que se ubicaban por arriba de las pleamares. Estos ambientes fueron hundidos en más de un metro durante el terremoto (figura N° 8).

Cuatro décadas después, las partes más bajas están convertidas en planicies intermareales (sin vegetación). El suelo sepultado está siendo erosionado en su borde expuesto al accionar de las olas (criterio 1). Un análisis más detallado del suelo exhumado muestra que se encuentra completamente perforado por madrigueras de cangrejos y gusanos del intermareal (criterio 2). Para que esto ocurriera, necesariamente el suelo debió quedar expuesto al accionar del intermareal. En sectores más protegidos, la arena mareal actual nuevamente sepulta el suelo exhumado y agujereado. El resultado de este proceso se muestra en la estratigrafía como un contacto muy irregular entre el paleosuelo y la arena mareal (criterio 3). Este sería el caso de suelos que quedaron expuestos a la acción intermareal, debido a que no fueron cubiertos por las arenas del tsunami; o bien, que dicha arena fue posteriormente erosionada.

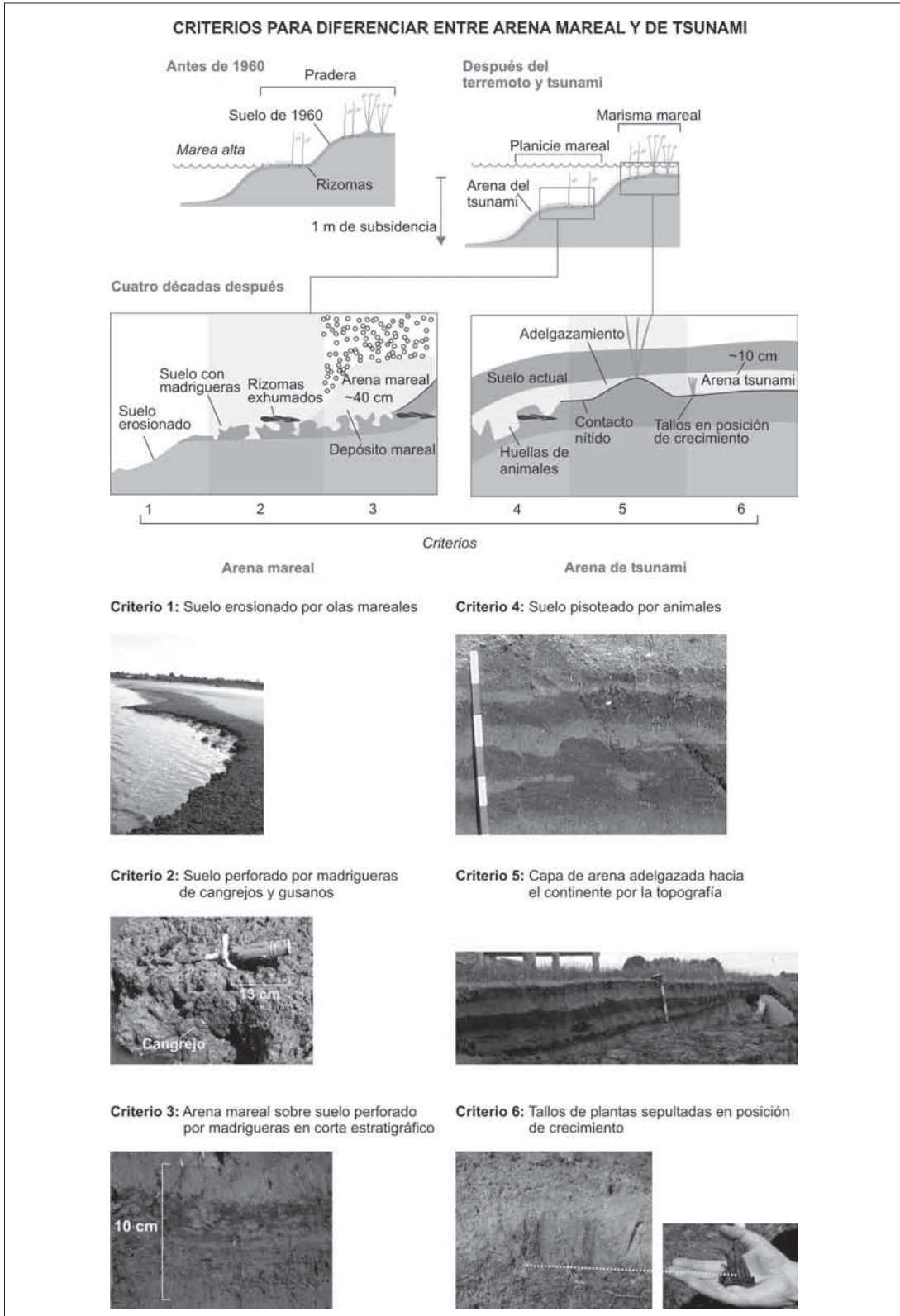
Estos tres criterios definen un depósito de arena intermareal.

Por el contrario, después de la subsidencia, los sectores más altos se convirtieron en marismas mareales (con vegetación). En ellas, el accionar de las olas mareales y corrientes fluviales es mucho menor. Allí es posible reconocer cómo las huellas dejadas por mamíferos sobre el suelo fueron colmadas por las arenas del tsunami (criterio 4). No se observa el accionar de cangrejos ni gusanos intermareales. El depósito tsunámico cubre rápida y efectivamente al suelo, conservándolo y produciendo un contacto estratigráfico bien definido. Del mismo modo, las capas de arena presentan un aguzamiento estratigráfico determinado por la topografía en dirección contraria a la costa (criterio 5). Finalmente, también es posible distinguir un depósito tsunámico al reconocer plantas, en posición de crecimiento, inyectadas en la arena desde el suelo subyacente (criterio 6). Sin embargo, es necesario considerar en este último criterio que la conservación de los restos vegetales requiere de condiciones geoquímicas que no siempre se cumplen, por lo que su ausencia no es excluyente. En estos tres casos la arena de tsunami preserva las características que presentaba originalmente el suelo subyacente. En cambio, en el caso de las arenas mareales, la bioperturbación generada por la actividad biológica intermareal no permite que dichas características perduren.

Otra variable a considerar es el espesor de la capa de arena. Sobre la base de observaciones de análogos modernos, específicamente el paleosuelo exhumado de 1960, se reconoció que capas de arena muy potentes ($> \sim 30$ cm) son producidas por megaondulitas activadas por las corrientes intermareales. En cambio, los depósitos tsunámicos presentan en general espesores menores ($< \sim 20$ cm).

d) Tanto la información entregada por sobrevivientes como la registrada en do-

FIGURA N° 8
 CRITERIOS UTILIZADOS PARA DIFERENCIAR ENTRE DEPÓSITOS GENERADOS POR TSUNAMIS DE LOS PRODUCIDOS POR LA SEDIMENTACIÓN ESTUARINA FLUVIO-MAREAL



cumentos históricos es trascendental para verificar la información de los registros sedimentarios

La información recopilada desde unos 80 sobrevivientes del terremoto y tsunami de 1960 fue muy importante para nuestro proceso de "calibración" mediante analogía. Las experiencias de los sobrevivientes, respecto a lo ocurrido durante y después del evento, sirvió para entender el proceso de enterramiento de los suelos y para diferenciar los depósitos mareales de los producidos por el tsunami.

Del mismo modo se realizó una exhaustiva búsqueda bibliográfica de documentación inédita, colonial y republicana, que aportó nueva información respecto a los eventos catastróficos (terremotos y tsunamis) que afectaron el centro sur de Chile entre los siglos XVI y XIX. El resultado de este trabajo fue fundamental para corroborar los resultados estratigráficos. Mediante esta información se comprueba que los terremotos de 1737 y 1837 fueron muy inferiores en magnitud respecto a los eventos gigantes de 1575 y 1960.

En la misma línea de trabajo, otro resultado importante fue la recopilación de mapas antiguos del área, comenzando con el primer mapa hecho del río Maullín por Francisco Hudson en 1857, el acabado trabajo realizado por Francisco Vidal Gormaz en 1874, la serie de cartas que encargó la marina de Chile a navegantes ingleses a fines del s. XIX y comienzos del s. XX, siguiendo con la secuencia cartográfica de 1937 a 1960, realizada por el Departamento de Navegación de la Armada de Chile y finalmente la serie de cartas de navegación del Instituto Hidrográfico de la Armada de Chile hasta 1998. Esta cartografía, al igual que la documentación histórica, sirvió como información cruzada independiente para probar lo reconocido en la estratigrafía. Específicamente, se estu-

diaron los cambios de la línea de costa como un indicador de subsidencia.

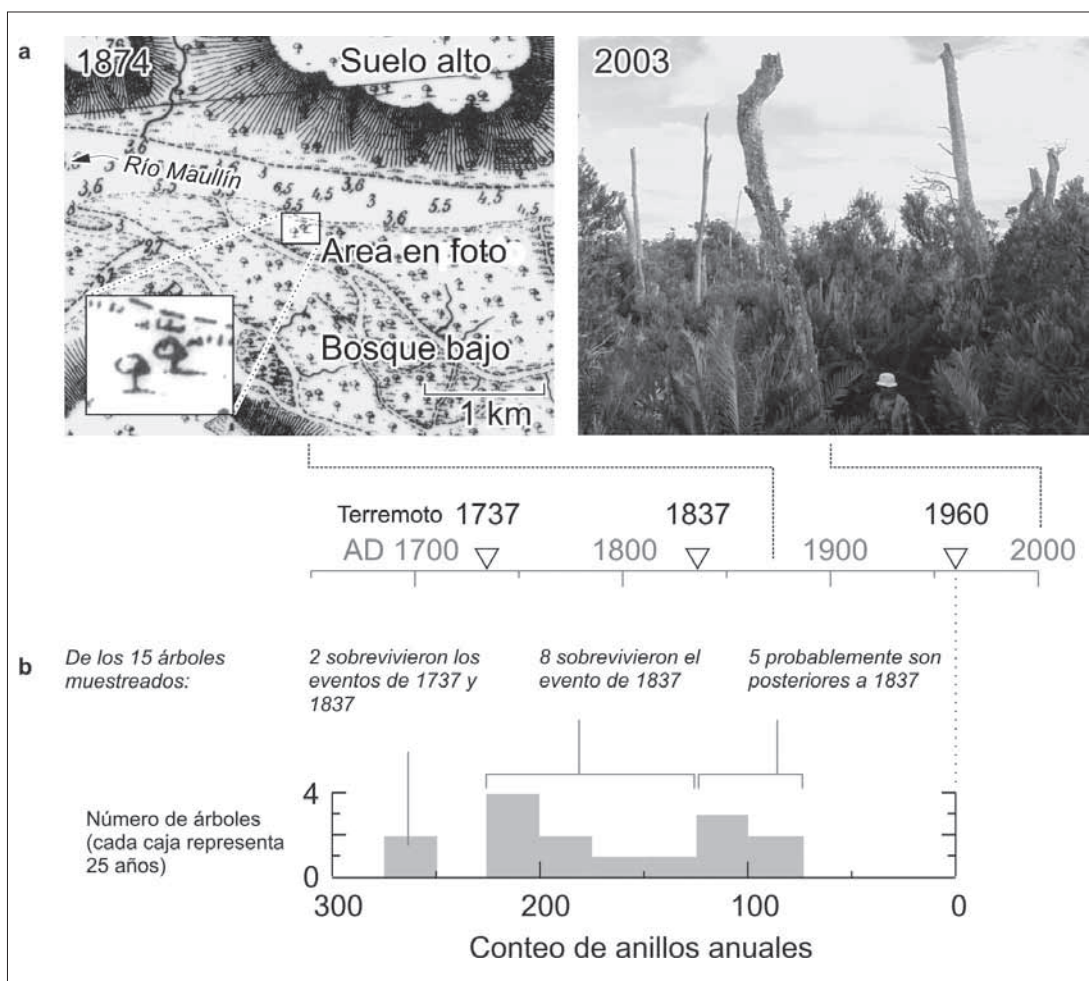
e) La información ecológica estuarina se convierte en el tercer vértice de apoyo de la información almacenada en los suelos enterrados

El terremoto de 1960 hundió en aproximadamente 1,5 m el sector bajo de Misquihué, localizado unos 20 km río arriba de Maullín. De acuerdo a sobrevivientes, el área estaba cubierta por un bosque de unos 10 km² compuesto por arrayanes, tepúes, olivillos y temus. El hundimiento dejó a estos árboles sometidos al accionar de las mareas, y en el lapso de un año la totalidad murió; probablemente debido a asfixia radicular o exceso de sales.

Utilizando el principio de analogía propuesto, muestreamos estos árboles muertos para contar sus anillos de crecimiento. Se localizaron ejemplares con más de 300 años de edad, lo que prueba que el sector falló en hundirse en 1737 y 1837 tanto como lo hizo en 1960 (figura N° 9). Considerando que el grado de hundimiento es una de las variables para determinar la magnitud de los terremotos, podemos afirmar que probablemente los eventos de 1737 y 1837 no tuvieron la intensidad del evento de 1960.

Los resultados dendrológicos fueron confirmados por el análisis de la cartografía antigua, específicamente la carta del río Maullín, hecha por Vidal Gormaz en 1874 (figura N° 9a). En ella se observa que 37 años después del terremoto de 1837, Misquihué contenía árboles en buenas condiciones (de hecho Vidal Gormaz permaneció allí trabajando por cuatro días, junto al botánico Carlos Julliet). Sin embargo, 43 años después del terremoto de 1960, todos los árboles del sector permanecen muertos. Esto también demuestra que el terremoto de 1837 no fue capaz de hundir el sector en la magnitud que lo hizo el evento de 1960.

FIGURA N° 9
ANÁLISIS DENDROLÓGICOS Y ESTUDIO DE CARTOGRAFÍA ANTIGUA CONFIRMAN LOS HALLAZGOS REALIZADOS MEDIANTE EL ESTUDIO DE SUELOS ENTERRADOS



a) El bosque de Misquihú representado por cartografía de 1874, 37 años después de 1837, y fotografado en el 2003, 43 años después de 1960. B) El conteo de anillos de árboles muertos por la subsidencia de 1960, revela que los árboles sobrevivieron los terremotos de 1737 y 1837.

Comentarios y conclusiones

Es necesario reconocer que al inicio de la investigación no esperábamos conseguir el nivel de logro finalmente alcanzado. Tanto la potenciación del grupo de trabajo, debido en parte al apoyo internacional, como la calidad de los registros sedimentarios del estuario del río Maullín posibilitaron determinar 2.000 años de recurrencia de terremotos gigantes y tsunamis en el centro sur de Chile.

Esta información inédita permitió solucionar dos importantes incógnitas científicas

de interés nacional e internacional: i) entender la secuencia temporal de liberación de energía en zonas de placas convergentes, y ii) solucionar el enigma que significaba, para los geofísicos y sismólogos, el gigantesco tamaño del terremoto chileno de 1960. Considerando la velocidad de convergencia de las placas Sudamericana y de Nazca, y que ellas habían cedido solo 123 años antes (1837), los científicos no podían entender cómo el terremoto de 1960 había alcanzado una magnitud 9,5; la mayor registrada hasta ahora por instrumento alguno. Los resulta-

dos de esta investigación proponen una solución al enigma.

En este contexto, consideramos la posibilidad de que los resultados pudieran ser publicados en la revista *Nature*. Para cumplir con los requerimientos de esta publicación fue necesario desarrollar una estrategia asentada en reforzar las pruebas y los argumentos utilizados a través de información ecléctica cruzada independiente (suelos enterrados, información histórica y de sobrevivientes y dendrología).

Las lecciones sucintamente presentadas en el presente artículo muestran que las costas del centro-sur de Chile almacenan valiosa información para entender más acerca de la recurrencia de eventos catastróficos de alta magnitud.

Sin embargo, es necesario reconocer que teniendo Chile más de 5.000 km de costa, este trabajo requiere ser realizado por más que solo un equipo de trabajo. Por esto, queremos estimular a otros investigadores nacionales, interesados en los ambientes costeros, que se nos unan en este objetivo. Solo desarrollando diversos equipos de investigación independientes será posible algún día llegar a predecir la ocurrencia de estas catástrofes en nuestro país. La validez de este postulado fue trágicamente demostrada por los recientes acontecimientos del sudeste asiático, donde los científicos no esperaban la ocurrencia de un evento de tales características debido al completo desconocimiento de su recurrencia.

Bibliografía

ATWATER, B.; CISTERNAS, M.; BOURGEOIS, J.; DUDLEY, W.; HENDLEY, J. & STAUFFER, P. Surviving a Tsunami, Lessons from Chile, Hawaii, and Japan. US

Government Printing Office, *U.S. Geological Survey*, Circular 1187.

BARRIENTOS, S. & WARD, S. The 1960 Chile earthquake: inversion for slip distribution from surface deformation. *Geophysical Journal International*, 1990, N° 103, p. 589-598.

CIFUENTES, I. The 1960 Chilean earthquakes. *Journal of Geophysical Research*, 1989, N° 94, p. 665-680.

CISTERNAS, M.; CONTRERAS, I. y ARANEDA, A. Reconocimiento y caracterización de la facies sedimentaria depositada por el tsunami de 1960 en el estuario Maullín, Chile. *Revista Geológica de Chile*, 2000, 27(1), p. 3-11.

DE METS, C.; GORDON, R.; ARGUS, D. & STEIN, S. Current plate motions. *Geophysical Journal International*, 1990, N° 101, p. 425-278.

KANAMORI, H. & CIPAR, J. Focal process of the great Chilean earthquake May 22, 1960. *Physic and Earth Planetary Interior*, 1974, N° 9, p. 128-136.

LOMNITZ, C. Major earthquakes and tsunamis in Chile during the period 1535 to 1955. *Geological Rundschau*, 1970, N° 59, p. 938-960.

PLAFKER G. & SAVAGE, J. Mechanism of the Chilean earthquakes of May 21 and 22, 1960. *Geological Society of America Bulletin*, 1970, N° 81, p.1001-1030.

WRIGHT, C. & MELLA, A. Modifications to the Soil Pattern of South-Central Chile Resulting from Seismic and Associated Phenomena during the Period May to August. 1960. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1963, N° 53, p.1367-1402.