

RECURRENCIA DE TSUNAMIS SOBREDIMENSIONADOS EN LA BAHÍA DE QUINTERO



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

GNL Quintero se localiza muy cerca del mar y eso la hace vulnerable a tsunamis.

Estudios previos intentan predecir niveles de inundación.

- Modelos matemáticos y estadísticos
- Análisis estadísticos de los datos obtenidos

Las estimaciones varían entre 5 y 11 m.

- Diferentes parámetros macrosísmicos
- Corto registro histórico para un fenómeno geológico

Así, este estudio propone un enfoque diferente:

Más que preocuparse de la altura que podría alcanzar un tsunami, sería mejor responder a la pregunta:

¿Qué tan probable es que ocurra un tsunami realmente destructivo durante el período de vida útil de la planta?

Sin embargo, nuevamente se topa con el problema del corto registro histórico.

¿Cómo se puede dar una idea adecuada de la recurrencia de los tsunamis destructivos ocurridos en la bahía de Quintero?

El presente estudio utilizó la geología de tsunamis, en conjunto con estudios históricos y la estadística para generar un modelo predictivo basado en la recurrencia de largo plazo de eventos sobredimensionados.

Así, fue posible estimar y validar estadísticamente la probabilidad de ocurrencia de un tsunami destructivo durante el tiempo de operación de la Planta.

Para esto, se determinó la recurrencia que han tenido los tsunamis sobredimensionados en el pasado (histórica como prehistóricamente).

Las conclusiones del estudio servirán para tomar decisiones, científicamente validadas, con respecto a la necesidad de construir obras de mitigación.

OBJETIVOS

Los objetivos planteados originalmente fueron:

1. Realizar un estudio histórico del terremoto y tsunami de 1730; único candidato para ser un tsunami sobredimensionado en la historia escrita de bahía de Quintero.
2. Realizar un estudio de geología de tsunamis en la bahía de Quintero para determinar si el tsunami de 1730 dejó su registro en la estratigrafía; y de ser así, determinar cuándo ocurrió su antecesor inmediato (principio de analogía).

En base a los resultados que se estaban obteniendo y a las reuniones de coordinación con GNL Quintero, estos dos objetivos fueron ampliados y se agregó un tercero.

En el caso del objetivo histórico fue ampliado para abarcar a todos los eventos ocurridos en Chile central con el fin de calibrarlos entre ellos.

En el caso del objetivo geológico, a medida que se hallaban más registros de tsunamis pasados, se planteó la posibilidad de construir una cronología lo más completa y continua posible.

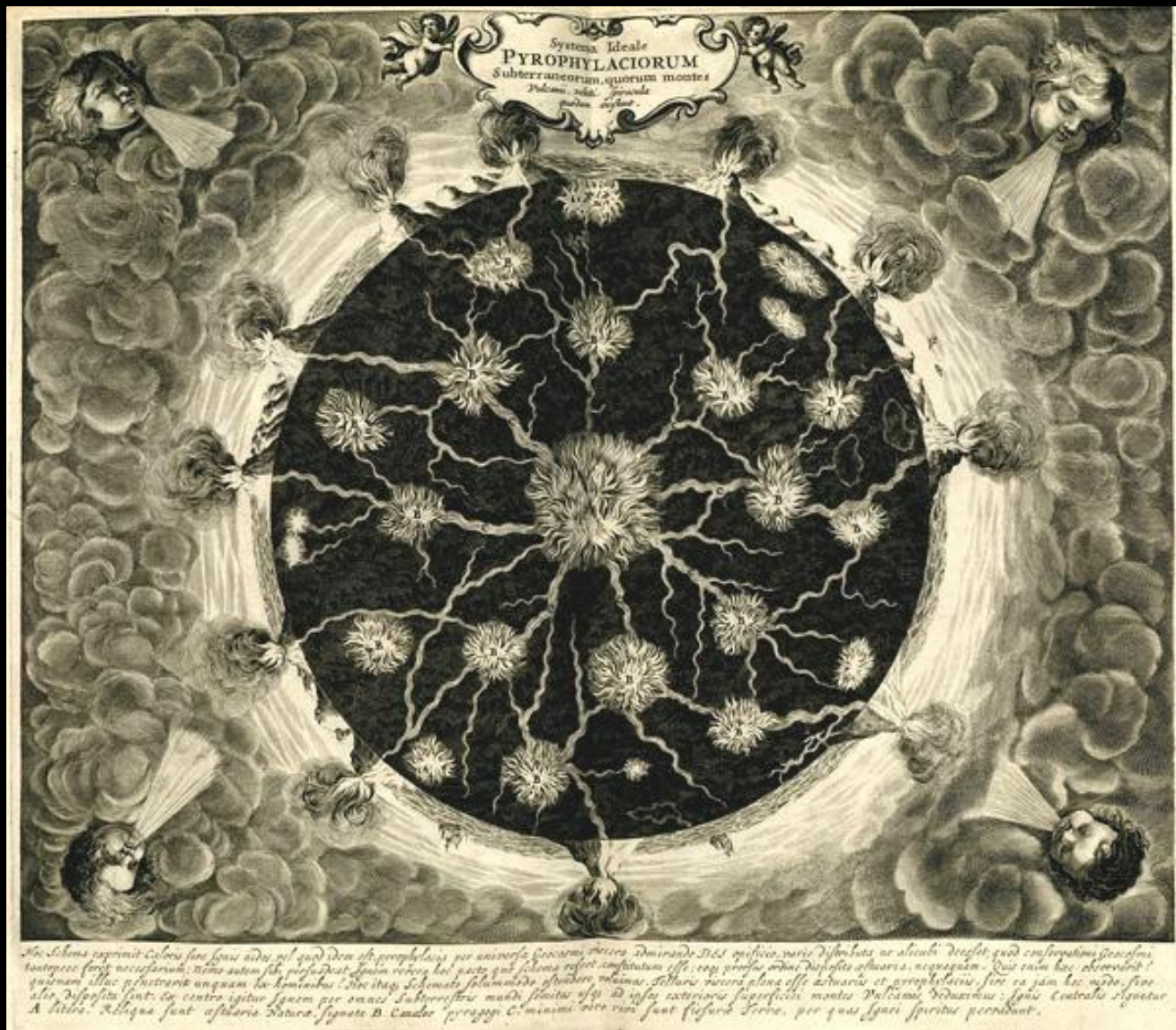
Considerando que la geología produjo una secuencia mayor a la esperada de tsunamis, se propuso plantear un nuevo objetivo:

3. Generar un modelo predictivo probabilístico basado en los datos obtenidos de los estudios geológicos e históricos.

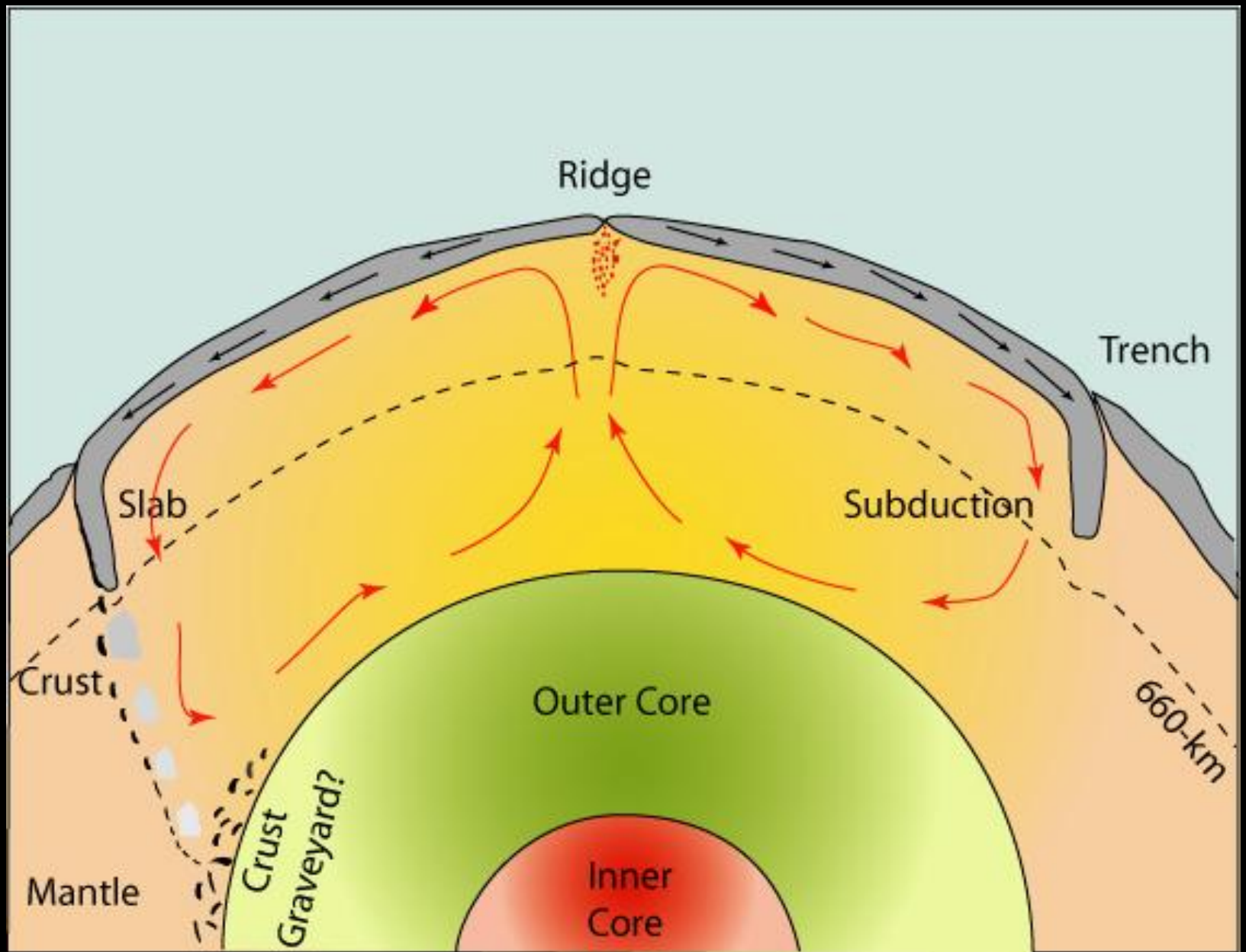
Así, se presentarán tres grandes secciones: i) El estudio histórico de los terremotos y tsunamis de Chile central; ii) El estudio geológico de los registros hallados; y iii) El desarrollo de un Modelo de predicción probabilística.

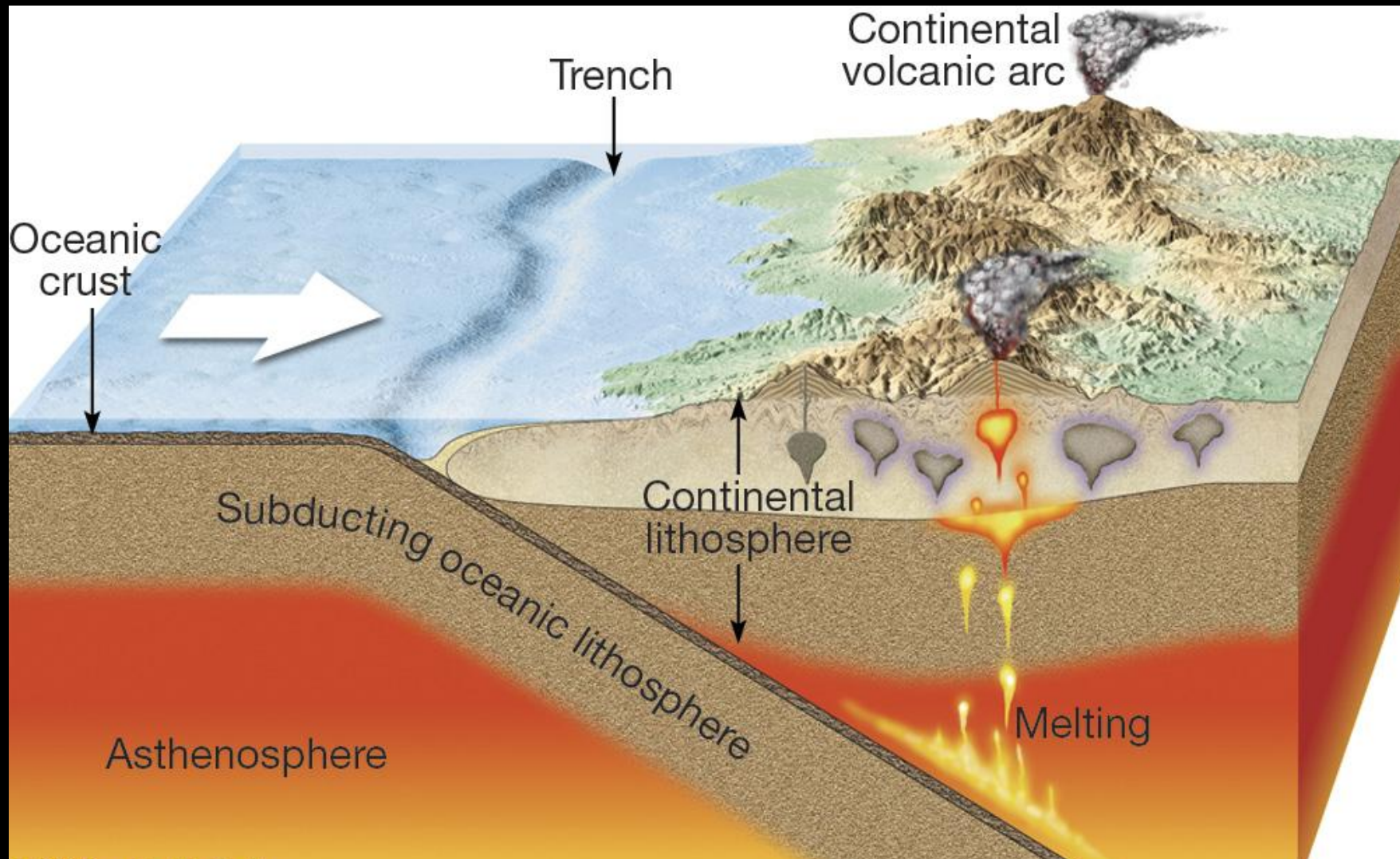
ANTECEDENTES CIENTIFICOS

Athanasius Kircher
(1602-1680)



"Que en las vísceras de la Tierra existen abismos enormes llenos de fuego, lo demuestra la existencia de los montes de Vulcano [...] que tiene sus oficinas en las más profundas vísceras de la Tierra [...] destinándola a cárcel eterna para castigar a los malos". [Mundus Subterraneus, 1665, Libro II, capítulo XIX]





Fuentes de terremotos y tsunamis en Chile central

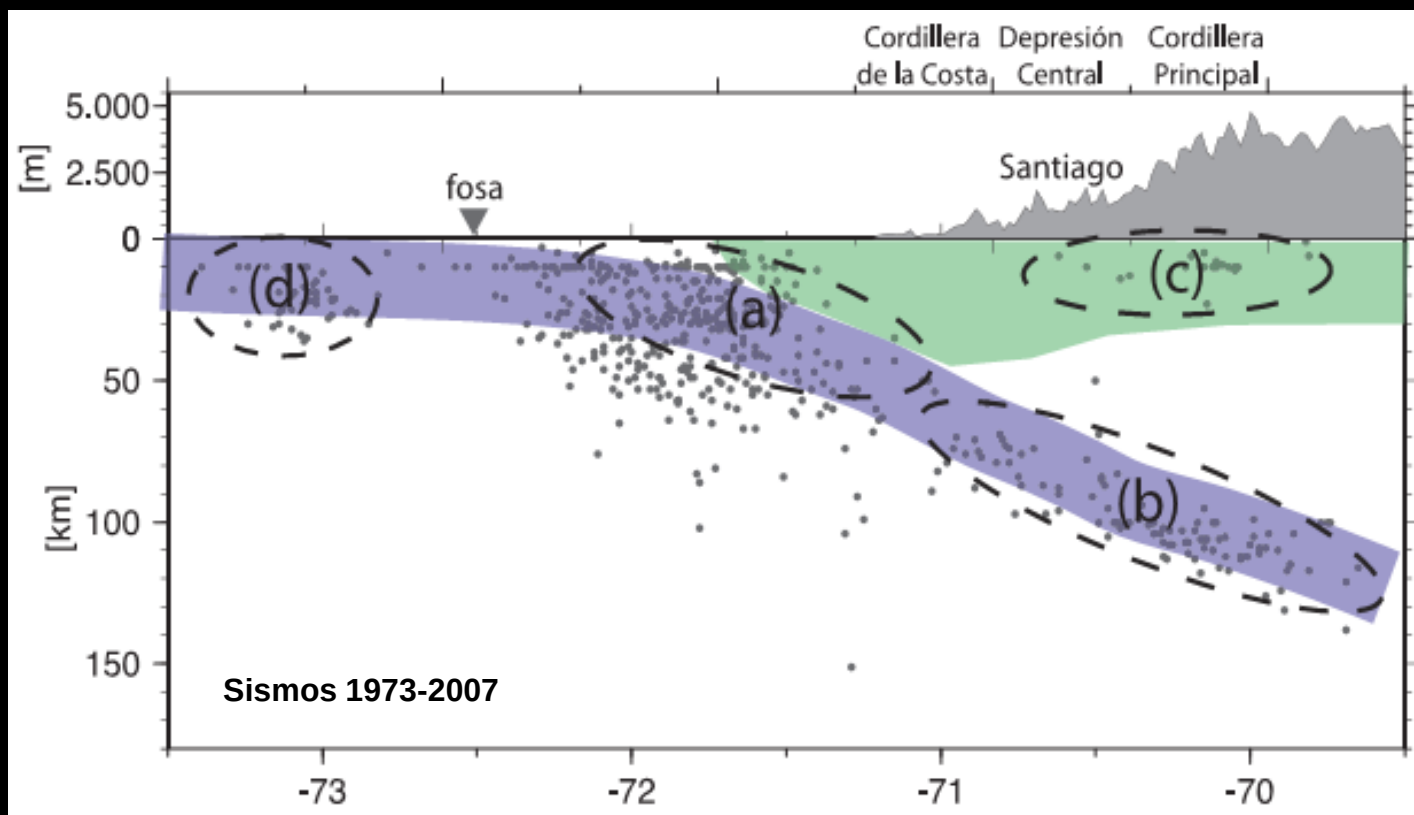
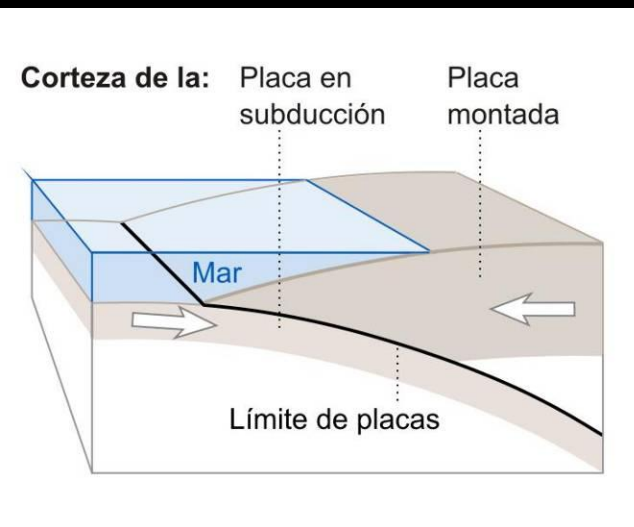
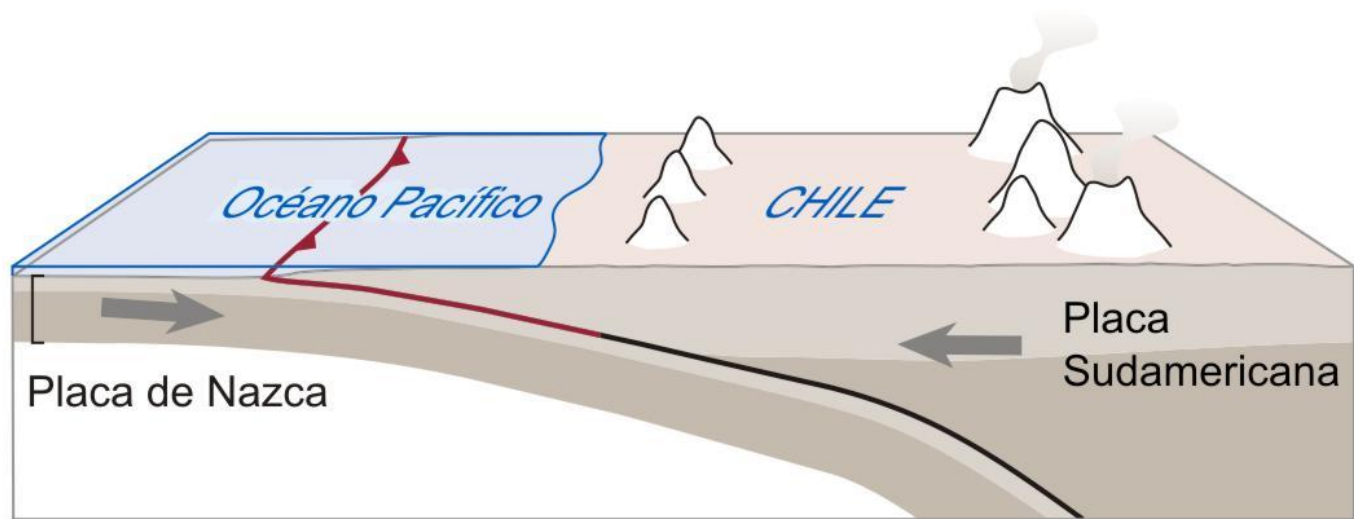


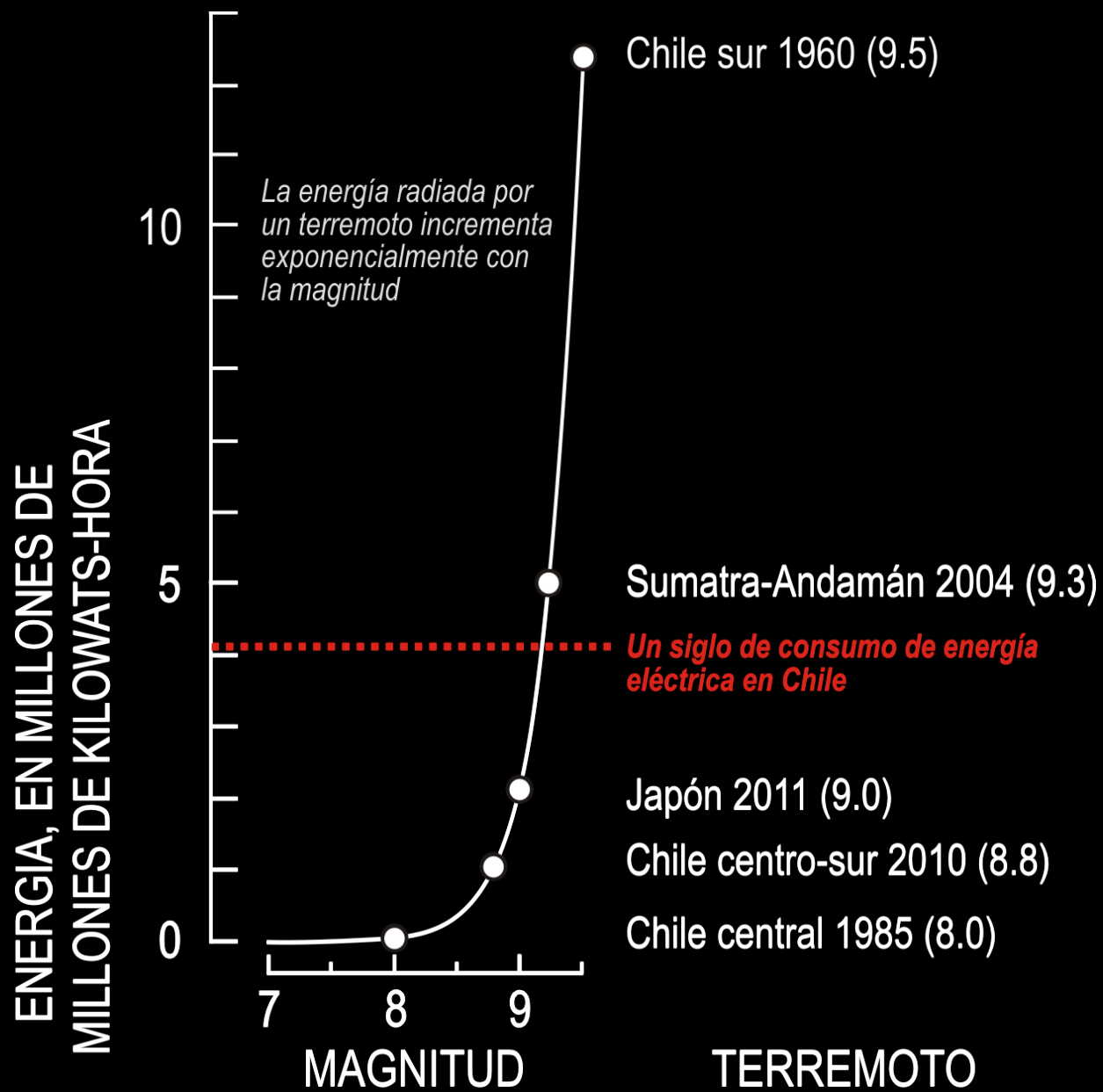
Figura tomada de Leyton et al. (2010)

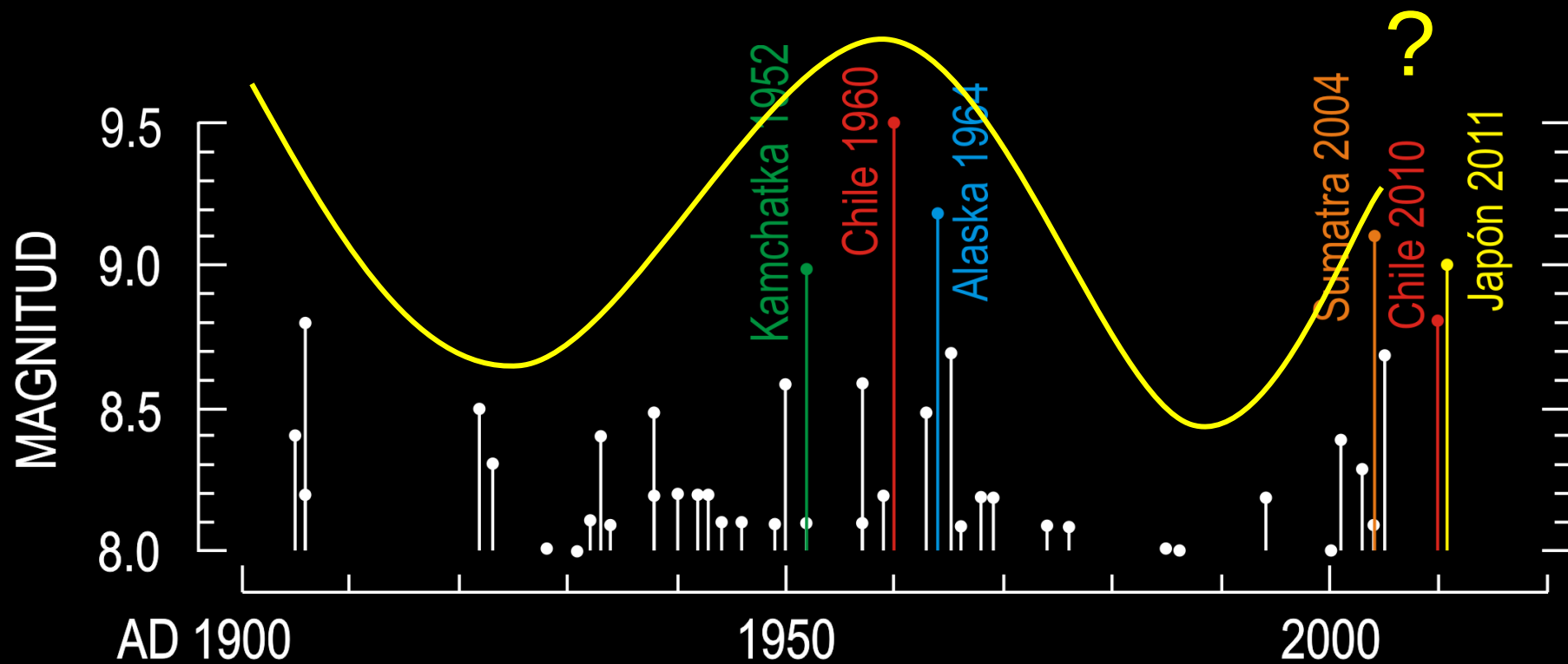
Mecanismo generador de terremotos de inter-placa y tsunami





El tamaño del tsunami es proporcional al tamaño de la ruptura (magnitud)







ESTUDIO HISTÓRICO DE LOS TERREMOTOS Y TSUNAMIS DE CHILE CENTRAL

INTRODUCTION

Much of the large-magnitude seismicity in central Chile has been reported by Lomnitz (1971), Kelleher (1972), Nishenko (1985) and Ramírez (1988) among others. A brief summary is presented here. The first reports of large earthquakes begin in 1575; continue in 1647, 1730, 1822 and 1906, and the most recent report is of the 1985 event.

Barrientos, 1997

CENTRAL CHILE, BETWEEN 32° AND 35°S, has been the site of great earthquakes in 1575, 1647, 1730, 1822, and 1906. This sequence gives a remarkably constant return period of 83 ± 9 (mean $\pm$ SD) years for great shocks in the region.

Comte, 1986

Valparaíso–Pichilemu (33–35°S)

This is the region with the longest historic earthquake record in Chile because it was part of the first settlements of the Spanish conquerors, who kept written records after 1541, when the city of Santiago was founded, with Valparaíso being its main sea-port.

The earthquake in central Chile on 3 March 1985 corresponds to the last example of the sequence that has been taking place regularly in the region every $82 + 6$ years. The events that constitute the sequence 1647, 1730, 1822, 1906 and 1985 present several common features: offshore epicentre location, rupture lengths of over 150 km, systematic coastal uplift and small tsunamis compared to the size of earthquakes, with the possible exception of the tsunami associated with the 1730 event.

The Geology of Chile, Barrientos 2007

1575, 1647, 1730, 1822, 1906, 1985

Sin embargo, el próximo pronóstico para Chile central requerirá, al menos, de cuatro suposiciones bastante debatibles:

- 1) El registro histórico está completo.
- 2) Todos los terremotos ocurrieron en la misma falla. Debatible para los pre-instrumentales al existir tres fuentes.
- 3) Todos tuvieron un tamaño similar.
- 4) Los terremotos se ajustan al modelo “*time-predictable*”.

Usando tanto fuentes conocidas como las recientemente halladas (Archivos nacionales, peruanos y españoles), se redefine la secuencia previamente propuesta y cuestiona los supuestos considerados previamente.

El escrutinio de cada sucesor del evento de 1575, especialmente del evento de 1730, sugiere una recurrencia compleja de terremotos y tsunamis en Chile central.

Al menos uno de los terremotos tiene una fuente diferente.

Otro empequeñeció al resto en tamaño o, alternatively, fue una rápida serie de terremotos menores con tsunamis independientes.

Estos hallazgos complican la tarea de pronosticar futuros terremotos y tsunamis en la región más poblada de Chile.

La debilidad del primer supuesto se demuestra aumentando el catalogo histórico de los terremotos de Chile central.

Se halló una carta original que describe un terremoto destructivo en Santiago y sus alrededores el 7 de Agosto de 1580.

Terremoto de 1575

De acuerdo a los catálogos, el terremoto del 17 de Marzo de 1575 (Góngora y Marmolejo, 1575), es único evento que ocurrió en el primer siglo de historia escrita de Chile central.

“Luego que Saravia salió de Santiago,[...] á las diez horas del dia, año de [75], comenzó en la ciudad de Santiago un temblor de tierra **al principio fácil con sólo una manera de sentimiento**, y desde á poco, no dejando de temblar, tomó **tanto ímpetu que traía las casas y edificios con tanta braveza que parescia acabarse todo el pueblo**. Fue Dios servido que [...] **no cayó casa ninguna**, [...]; abriéndose algunas, haciendo sentimiento de lo que por ellas habia pasado”.



Terremoto de 1580

Sin embargo, nuestro estudio descubrió un documento que prueba que sólo 5 años después de 1575 ocurrió un terremoto más grande y que permanecía desconocido para los sismólogos.

Es parte de un reporte para el Rey, Felipe II, del estado de cosas en el Reino de Chile.



Ala. S. C. R. M. del Rey don
Felipe. Mio señor
Doctor Lope de Azoca de Chile
Su M. Consejo de Indias.

Fue escrito por el Teniente de
Gobernador Doctor Luís López
de Azoca.

esta ciudad de Santiago de Chile.
A once de agosto de 1580 años
Doctor Lope de Azoca
Acaso

De y rpidiendo Lima. quando saliere de tierra no y en ello
 b. mag. me Sara muy y grm mrd ya lo fante. Enotablem
 Este off. en toa lo que Epociao Epocurao sienpre mirar el seruy de
 dios y b. mag. y lapaz y quietud de tierra y no conseruando si otre
 el respectu. q. sedue a tra zult y el p. d. que aqui estubiere pro
 curare conmuene bora e sazerlo ari. sup. a. v. mag. que puer do
 sien naado y. Esi do colegial. enecolegio de guma y enec sienpre
 me oare enleer algunas catredas de m. facultad. q. fueron a m.
 cargo. y el l. e. Santillan. siendo vno o por chel aud. de los rdy
 por la calidad de este off. a. en que bra de mayor. traua. o que el sup.
 o. sino afeuy. por t. de don gria de mendo. a. prouido por el
 t. de rdy. de p. ruy. y. v. mag. de puer de este off. de p. ruy. de
 p. ruy. de v. aud. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de
 t. de rdy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de
 me sienpre. mrd. que yo sienpre. tendie cuida. de seruir leal
 y. limpia mente. a. b. mag. como soy. obligado y. a. presente y. en
 tra. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de
 q. uero. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de
 al p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de
 me de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de
 p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de
 cas. y. to. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de
 ronalietas. por mu. a. partes. y. sin te. q. que reono. de a. malit. de
 enleer. sin mu. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de
 m. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de
 y. que andurao. por. toda. la. gente. esta. alborotada. y. con mu. de
 Na. por. p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de
 de. la. ciudad. a.uido. q. m. d. a. no. que. a. lo. q. se. entiendo. No. de
 de. p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de
 p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de
 tenblo. y. sean. as. el. a. do. alguna. a. p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de
 que. lo. y. no. se. a. de. h. m. m. a. a. u. e. d. o. de. p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de
 na. o. para. esta. tierra. por. que. como. tengo. d. de. to. a. o. e. s. t. a. n. con. nota
 de. p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de
 socorro. de. fuera. con mu. y. mu. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de
 n. a. o. n. e. s. y. No. p. a. no. solamente. no. se. s. u. s. t. e. n. t. a. r. a. Antec. si
 dios. milagro. s. a. mente. No. lo. prouee. se. a. u. a. r. a. de. p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de p. ruy. de

“Al punto que esta escribia, Domingo en la tarde, siete deste presente mes de agosto, después de Visperas, temblo la tierra en esta ciudad grandemente, y duro el temblor casi media ora [,] derribo algunas casas y todas en general recibieron muy gran daño porque quedaron abiertas por muchas partes y sin teja que creo no se podra abitar en ellas sin mucho recelo, y ace que deste gran temblor hasta oy miercoles en la noche a avido otros muchos temblores pequeños y que an durado poco [,] toda la gente esta alborotada y con mucha razon porque fue dia de gran tribulacion. En toda la comarca desta ciudad a avido gran daño que alo que se entiende no se reparara con cien mil pesos y no sabemos lo que abra sido en las demas ciudades deste reino donde otras bezes a avido muy grandes temblores y sean asolado algunas por el suelo. Dios se acuerde de su pueblo y nos tenga de su mano”.



Contents lists available at [SciVerse ScienceDirect](#)

Journal of South American Earth Sciences

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jsames



Amending and complicating Chile's seismic catalog with the Santiago earthquake of 7 August 1580

Marco Cisternas^{a,*}, Fernando Torrejón^b, Nicolás Gorioitia^c

^a Escuela de Ciencias del Mar, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Av. Altamirano 1480, Valparaíso, P.O. Box 1020, Valparaíso 1, Chile

^b Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile, Universidad de Concepción, Barrio Universitario s/n, P.O. Box 160-C, Concepción, Chile

^c Instituto de Historia, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Paseo Valle 396, P.O. Box 1049, Viña del Mar, Chile

ARTICLE INFO

Article history:

Received 6 June 2011

Accepted 19 September 2011

Keywords:

Historical earthquakes

Seismic catalog of Chile

16th century Chilean earthquakes

1580 Santiago earthquake

ABSTRACT

Historical earthquakes of Chile's metropolitan region include a previously uncatalogued earthquake that occurred on 7 August 1580 in the Julian calendar. We found an authoritative account of this earthquake in a letter written four days later in Santiago and now archived in Spain. The letter tells of a destructive earthquake that struck Santiago and its environs. In its reported effects it surpassed the one in the same city in 1575, until now presumed to be the only earthquake in the first century of central Chile's written history. It is not yet possible to identify the source of the 1580 earthquake but viable candidates include both the plate boundary and Andean faults at shallows depths around Santiago. By occurring just five years after another large earthquake, the 1580 earthquake casts doubt on the completeness of the region's historical earthquake catalog and the periodicity of its large earthquakes. That catalog, based on eyewitness accounts compiled mainly by Alexander Perrey and Fernand Montessus de Ballore, tells of large Chile's metropolitan region earthquakes in 1575, 1647, 1730, 1822, 1906 and 1985. The addition of a large earthquake in 1580 implies greater variability in recurrence intervals and may also mean greater variety in earthquake sources.

Terremoto de 1647

Análisis de la evidencia histórica demuestra que el terremoto de 1647 no fue inter-placa.

Devastó Santiago y mató a un quinto de su población.

Su inusual intensidad destruyó la mayoría de sus edificios y generó deslizamientos de roca.

Sin embargo, no se conocen reportes de un tsunami en Valparaíso.

Devastó Santiago y mató a un quinto de su población.

Su inusual intensidad destruyó la mayoría de sus edificios y generó deslizamientos de roca.

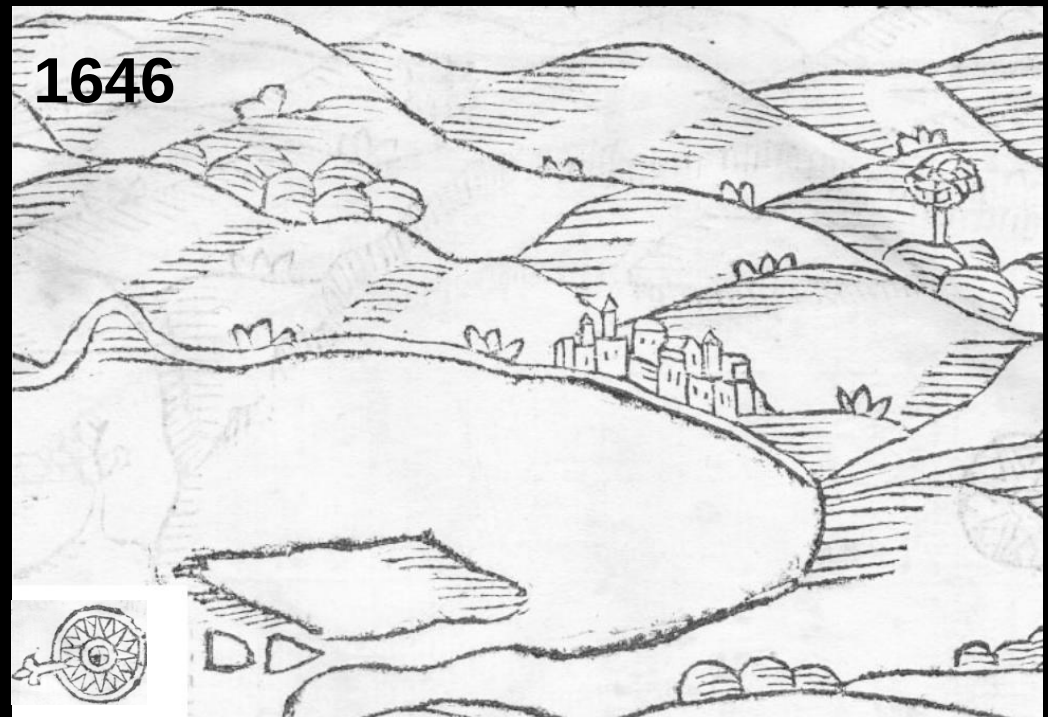
Sin embargo, no se conocen reportes de un tsunami en Valparaíso.



Más insólito aún es que en la bahía de Concepción no se reporte un tsunami.

Aunque los posteriores terremotos de Chile central generaron tsunamis que destruyeron la ciudad en 1730, la inundaron parcialmente en 1906 y generaron ondas de 1.8 m en Talcahuano en 1985.

Incluso ha recibido tsunamis de campo lejano, del extremo norte de Chile y de Alaska.



Paralelamente, la bahía ha sido afectada por sus propios tsunamis en 1570, 1657, 1751, 1835 y 2010.

Esta tendencia a recibir tsunamis forzó a los vecinos de Concepción a mover la ciudad tierra adentro después del tsunami de 1751.



Sin embargo, en 1647 no hubo un tsunami en Concepción.

El gobernador de Chile, Martín Mujica, en Concepción durante el terremoto de 1647, no reporta anomalías en el mar.



“A esta ciudad [Concepción] llegó el temblor y fue á las diez y media de la noche y aun que duro buen tiempo no hizo daño alguno, [...]

D. Martin de Muxxica”.

A pesar de lo anterior, se ha sostenido que el terremoto de 1647 sí generó un tsunami.

Esta idea se basa en sólo un documento: la carta de la Real Audiencia (en Santiago) enviada al Rey. Tres referencias al mar:



“El mismo día salió el mar furiosamente contra la muralla del puerto del Callao [...] se llevó un lienzo de ella”.

“Y a siete de mayo en el puerto de Arica sin viento se levantó el mar desusadamente [...] hizo varar al navio San Nicolas”.

“Y todos los puertos de esta costa advirtieron los pescadores tanta inquietud y tan extraordinaria violencia en las olas del mar”.

Aunque estos indicios parecieran apoyar la idea de un tsunami, hay algunas ambigüedades en ellos.

1. Debido a que el terremoto ocurrió el 13 de Mayo de 1647 alrededor de las 22:30 en Chile central, es difícil que el tsunami llegue “el mismo día” al Callao (~2.400 km al norte de Valparaíso).

El tsunami del 27/F,
gatillado ~ 300 km al sur
de Valparaíso, demoró 4
horas en llegar al Callao.



2. El referido naufragio del San Nicolas ocurrió claramente seis días antes del terremoto, el 7 de Mayo.

La fecha es corroborada por una carta enviada el 13 de Julio desde Lima por el Padre Juan Gonzalez al Padre Alonso de Ovalle:

“En la bahía de Arica había naufragado seis días antes del terremoto el barco San Nicolas con 200.000 pesos”.

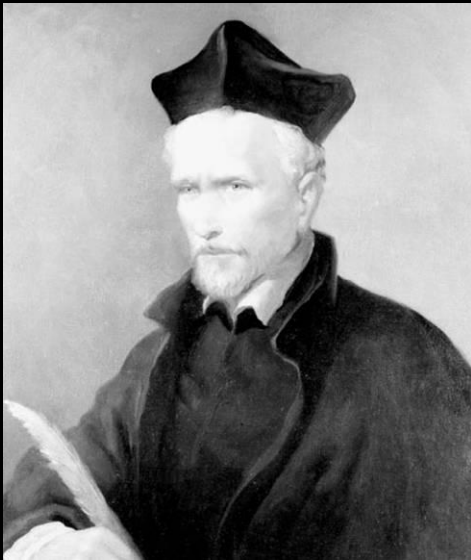


3. Cuando el reporte de la Audiencia dice: “Y todos los puertos de esta costa”, no especifica dónde se observaron las olas.

Por coherencia de la redacción pareciera que se refiere a las costas del norte de Chile y sur del Perú.

Mal tiempo de invierno en las costas del norte de Chile y sur del Perú podrían explicar el reporte de tsunami de la Audiencia.

El mismo Padre Juan Gonzalez escribe desde Lima al Padre Ovalle:



“y poco antes [del terremoto] se levantaron en esta costa del Peru horribles tormentas en las orillas del mar, tragando navíos. Arrose también el aire, congelando densas nubes y arrojando poco después granizos y recios aguaceros”.

Probablemente, debido a las pobres comunicaciones de la época, las noticias de la tormenta, anterior al sismo, llegaron atrasadas al devastado Santiago y fueron interpretadas como causa-efecto.

Así, se propone que el terremoto de 1647 no produjo tsunami, al menos en la costa central y centro-sur de Chile.

La combinación de alta intensidad y falta de un tsunami podrían indicar que la fuente del terremoto de 1647 no fue en la zona de subducción, sino en alguna de las dos placas.

Los terremotos chilenos de intra-placa pueden ser extremadamente destructivos debido a que tienen altas caídas de estrés.

Además, comparados con los inter-placa, liberan la energía en altas frecuencias, dañando principalmente a edificaciones bajas.

El terremoto de Chillán de 1939, recientemente reconocido como intra-placa, cobró más de 30.000 vidas; más que cualquier otro terremoto en la historia de Chile.



Si el terremoto de 1647 fue en realidad intra-placa, esto implicaría que el verdadero predecesor del terremoto de 1730 fue el recientemente descubierto terremoto de 1580.

Así se explicaría el gran tamaño del terremoto y tsunami de 1730.

Terremoto y tsunami de 1730

Se ha reportado daño entre La Serena y Chillán. Sin embargo, el daño pudo bien extenderse más al norte de La Serena.

Un tsunami inundó Valparaíso, arrasó con Concepción e hizo retroceder las aguas del río Valdivia.

El Tsunami también cruzó el Pacífico hasta Japón, inundando campos de arroz.

El presente estudio demuestra que el evento de 1730 ha sido por mucho el más grande de la secuencia.

Un convento Franciscano en Copiapó fue destruido “hasta sus fundaciones”.

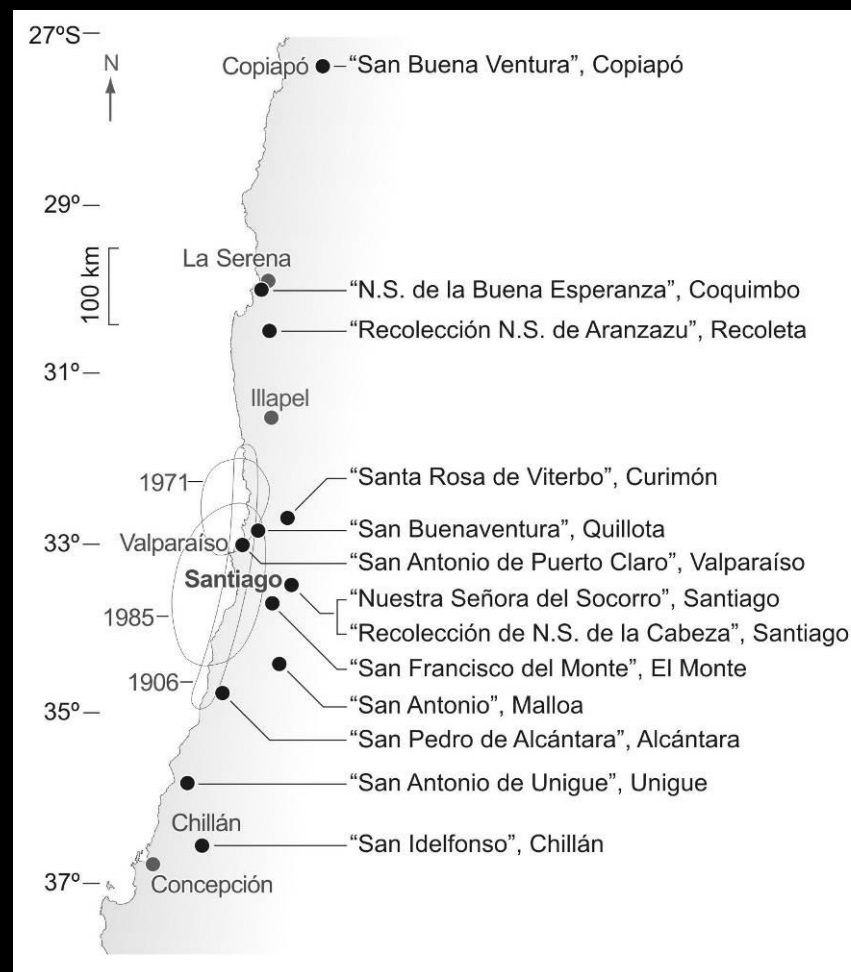
Se trata de un reporte de daños en conventos enviado por el delegado de la orden Franciscana, Francisco Seco, al Rey.

A inicios del s. XVIII los franciscanos tenían una amplia dispersión geográfica a través de sus monasterios.

16 conventos se distribuían entre Copiapó y Chiloé. Fray Seco reporta que 13 fueron dañados o destruidos por el terremoto de 1730.



[...] un gran terremoto, [...] que derribò [...] diferentes Conventos de la Religion Serafica, pues quedaron totalmente arruinados los de Campaña, Alcantara, Malloa, Monte, Santa Rosa, Quillota, Chillan, Unigue, Valparaíso, y gran parte del Convento principal de Nuestra Señora del Socorro [...] y en la Ciudad de Penco assolò, y destruyò el Mar la mitad de ella, y el Convento, que allí tenia la dicha Orden, como tambien los de la Ciudad de Coquimbo, y Copiapo, y los de las Recolectones, que igualmente fueron arruinados hasta sus cimientos: de forma, que en toda aquella basta Provincia no ha quedado en pie otro algun Convento de la Orden”



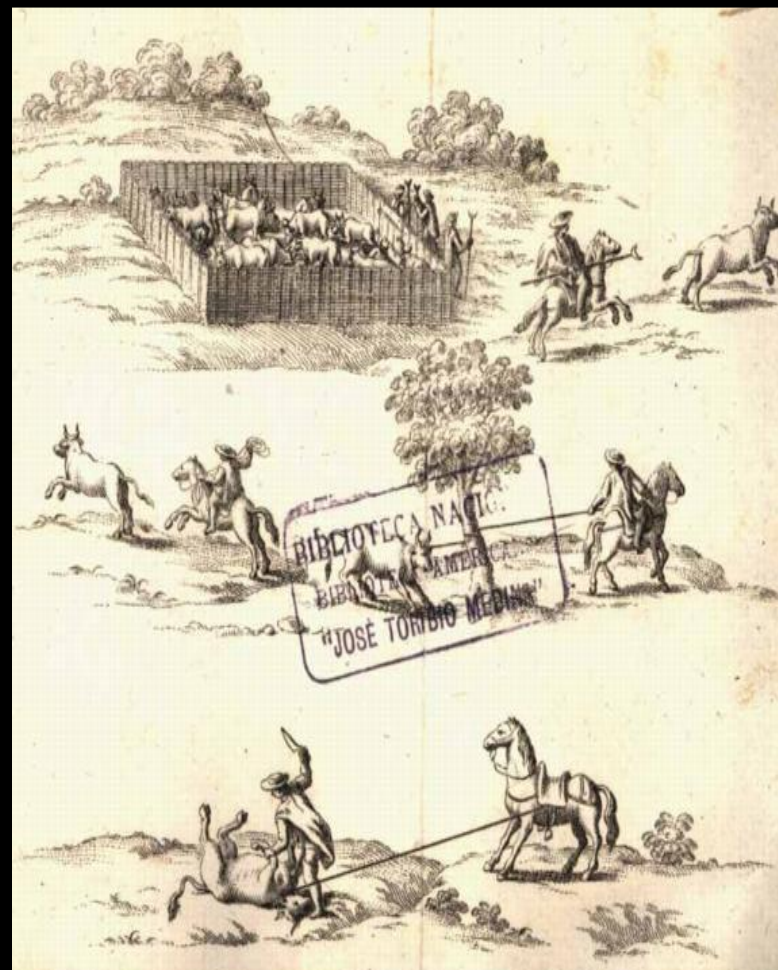
En Concepción el mayor daño fue generado por el tsunami; sin embargo, el obispo de la ciudad describe dificultad para mantener el equilibrio.

Fuentes encontradas en el AGI mejoran nuestro conocimiento de los efectos del evento de 1730 en Chile central.

Por ejemplo, un reporte de daños en una hacienda de los Dominicos en Santo Domingo describe una laguna desecada y un tsunami capaz de matar miles de cabezas de ganado.

Esto sólo a 65 km al sur de Valparaíso.

“En la [...] Estancia de Santo Domingo, [...] el terremoto magno [...] Vi que una Iglesia que tenian [...] totalmente arruinada [...] pasando a reconocer los ganados mayores, y menores he visto que con la seca general que padecio este Reyno el año antecedente ha perdido este Convento segun la cuenta que seme manifesto fueron el año antecedente [11.361] cabezas[,] son al presente solamente [...] como [600] por haverse muerto todo lo demas asi con la referida seca como con la salida del mar que ocasiono dicho temblor que ahogo mucha porcion de dicho Ganado que se hallaba alas orillas del Mar, y habiendo sucedido lo mismo en los Ganados menores, [...] Y habiendo asimismo ydo a reconocer una laguna [...] ha quedado seca.



Aunque el terremoto de 1730 ha sido catalogado como “grande”, estimándose M 8-9, la nueva evidencia podría demostrar que en realidad se trató de un “gigante”, $M > 9$.

Para llegar a ser un gigante, el terremoto debió tener una extensa y continua ruptura.

Sin embargo, el análisis detallado de las fuentes cuenta una historia más compleja, incluyendo dos rupturas y dos tsunamis independientes dentro de tres horas.

Dos semanas después del terremoto el Gobernador de Chile, Gabriel Cano y Aponte, reporta, desde Santiago al Virrey del Perú, de tres temblores:



“[...] la calamidad en la cual esta ciudad ha sido puesta por el mas grande terremoto sentido desde que es habitada por Españoles, y experimento **entre una y dos de la mañana** [...], cuando la tierra comenzo a moverse por alrededor de un cuarto de hora, **pero sin violencia**, [...] merced de Dios, avisarnos con este primer retumbe para que todos asustados salieran de sus casas [...] y ocurrió que **a las cinco de la mañana** con mayor fuerza y casi igual duracion el segundo terremoto cuya fuerza ha hecho la total desolación de esta ciudad [...] y **a medio dia** volvió a repetirse pero con menos vigor”.

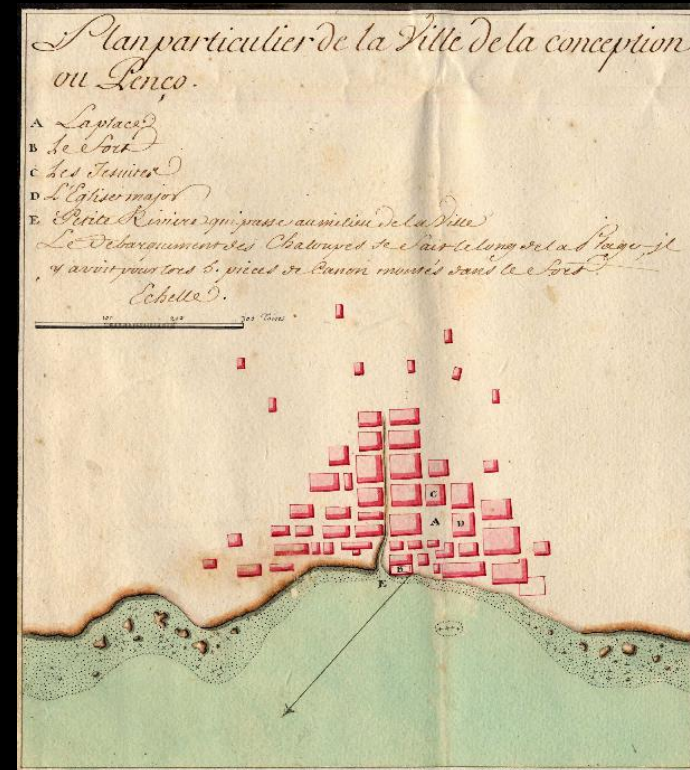
En acuerdo con lo anterior, y considerando los efectos en Santiago, el primer temblor se ha clasificado como un simple “temblor precursor”.

Sin embargo, una historia diferente estaba ocurriendo en Concepción.

Allí el obispo de la ciudad sintió el “precursor” como un verdadero terremoto que generó un tsunami.

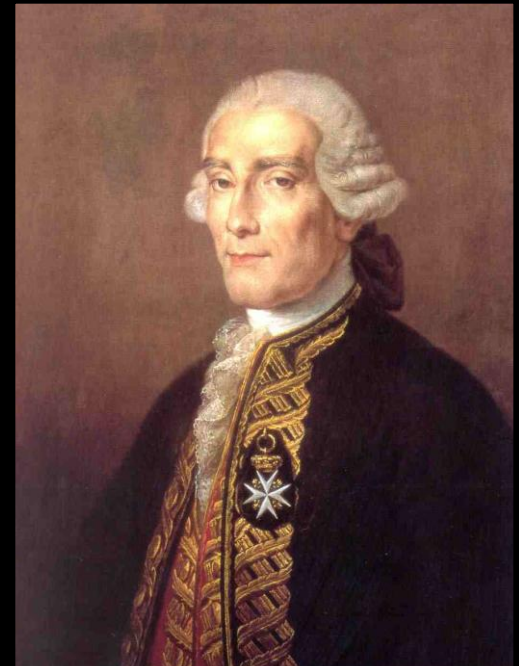
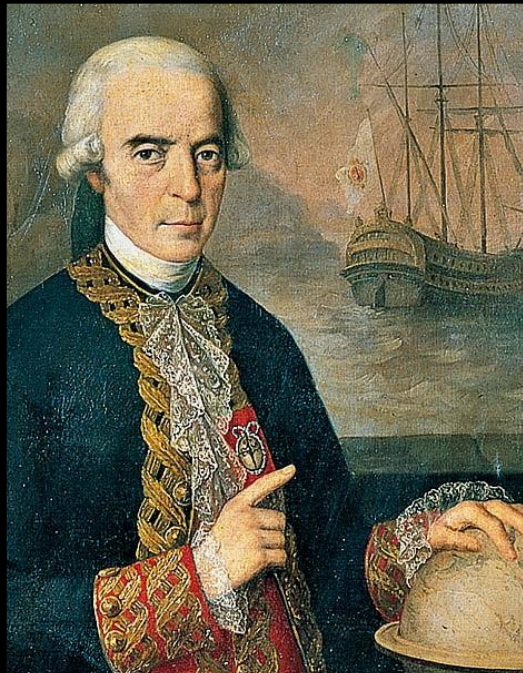
Dos horas después, sintió el terremoto de Santiago como un segundo gran terremoto y con su correspondiente segundo tsunami.

“[...] alrededor de **la una y media de la mañana**, un terremoto fue sentido tan grande que la conmoción de la tierra alcanzo al Reino completo, siendo tan extraordinario el efecto causado en la tierra como en el mar que las aguas se retiraron mas allá de sus limites [...] ellas volvieron [...] y entraron a esta miserable ciudad comenzando la devastación, repitiendose esto por cuatro o cinco veces la entrada y salida, y cada una con mas impetuosa fuerza; especialmente la tercera, cuando **alrededor de las tres de la mañana, el terremoto se repitió**, incluso con mayor duracion y con tan violentas sacudidas que parecía queria la tierra sacarse de encima a todos los mortales. **A esta gran conmoción le correspondió el movimiento del mar**, que entro a traves de las plazas y calles de la ciudad ”



El reporte de una expedición científica, que partió de España 5 años después del terremoto de 1730, también describe dos tsunamis en Concepción.

Jorge Juan y Antonio de Ulloa eran parte de una expedición geodésica Franco-Española para medir el arco de la tierra.



Cuando en su reporte los exploradores se refieren a Concepción señalan:



“El formidable terremoto del año 1730 [...] empezó a moverse la Tierra [...] a la una de la mañana y con los remezones, que dio, se retiró el Mar a bastante distancia: pero dentro de poco se hincho tanto, que excediendo sus regulares limites inundo la Campañas, y dejó anegada la Ciudad. Este repentino suceso puso al vecindario en la precision de abandonarla y de acudir [...] a las altas eminencias: repitiose el movimiento de la Tierra por tres, o cuatro veces; y poco antes del amanecer, a cosa de las 4 de la Mañana volvió a temblar con mas espantosos vaivenes [...] acabaron de vencer los pocos Edificios, que habian resistido el primer movimiento, y ímpetu del Agua, repitiendose este por segunda vez, con mas horror que la primera”.



Sismo
fuerte

Sismo
débil

Gobernador

Obispo

Cabildo

Obispo

Maestro de campo

Juan y Ulloa

SANTIAGO

420 km
aparte

CONCEPCION

12

6

12

Medianoche

am

Mediodía

8 Julio, 1730

Esto plantea incógnitas en torno al terremoto de 1730.

¿Cómo se puede conciliar una ruptura compleja en Concepción con destrucción de un convento en Copiapó?

Las fuentes indican que el primer movimiento fue enérgico en Concepción y suave en Santiago; sin embargo, el segundo fue fuerte en ambos lugares. ¿Hubo una ruptura doble?

¿Pudo el primer sismo “alrededor de la una de la mañana” romper un poco más al norte de Concepción, cerca de Maule? (considerando los efectos del tsunami de 1960).

Otra posibilidad es que haya sido un tsunami generado por un terremoto “outer-rise” o por un deslizamiento submarino.

La segunda ruptura “alrededor de las cuatro” podría haber continuado extendiéndose hacia el norte, dañando Santiago y Valparaíso y generando el tsunami que mató a miles de cabezas de ganado en Santo Domingo e inundó Valparaíso.

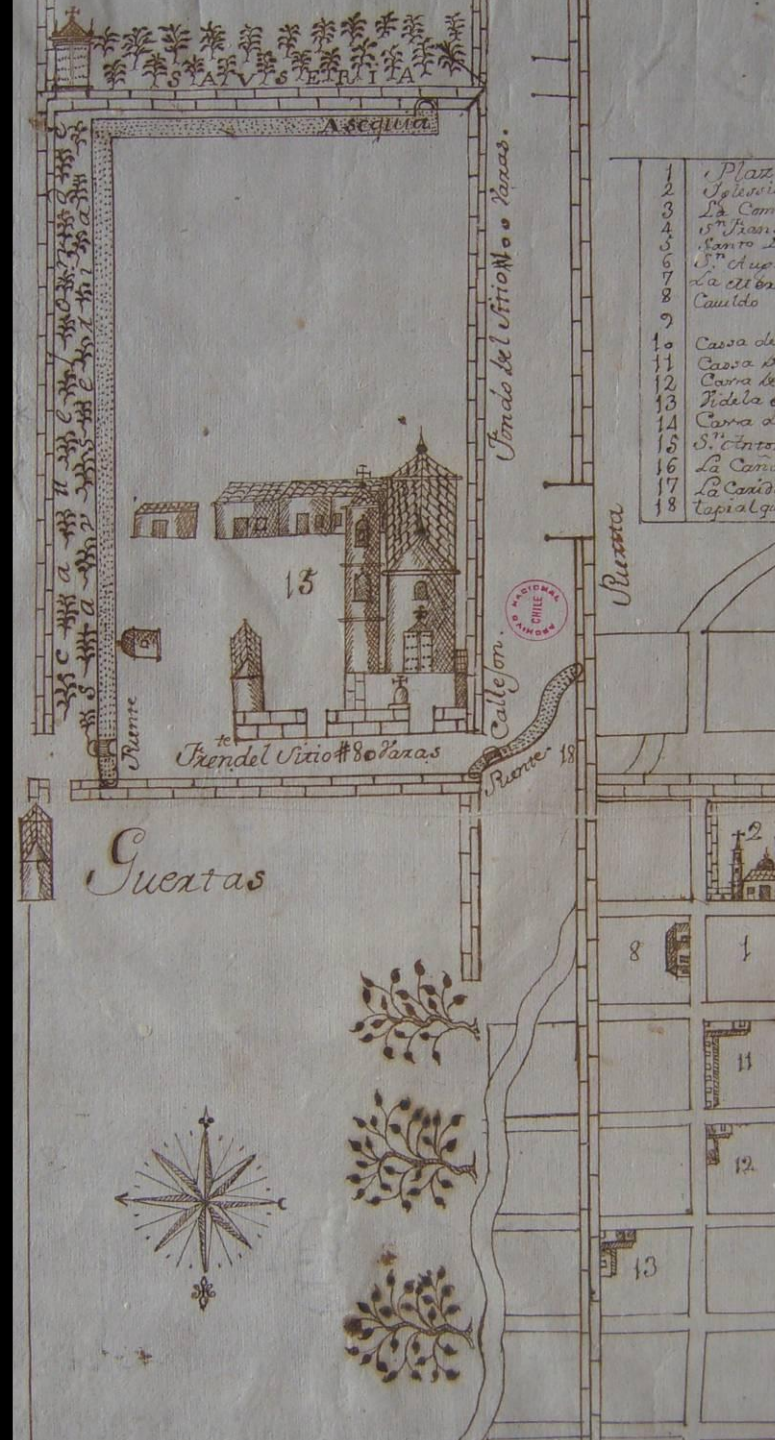
¿Pero que hay acerca de La Serena y Copiapó? Fueron dañados por esta segunda ruptura o lo fueron por la “réplica” sentida en Santiago al mediodía?

Independientemente de estas complejidades, es claro que el terremoto de 1730 fue más grande que los demás en la secuencia y que no se ajusta al modelo “time-predictable”.

Dos argumentos adicionales corroboran que el evento de 1730 ha sido el mas grande de la secuencia:

- Su tsunami traspacífico
- Destrucción de Mendoza

“La ciudad de Mendoza. Cabeza de la Provincia de Cuyo. Partido que esta de la parte de el oriente de esta de Santiago distante por los tornos de la cordillera que separa para ella ochenta leguas. Esta situada a sus faldas y en la altura de treynta y tres grados [...]. Sus calles son ynhieladas y de doce varas de ancho [...]. Sus edificios son compuestos de adobes y madera, cubiertos por lo general de paja y tortas de barro; **desmantelada ella y sus templos a causa de el terremoto ultimo que padecio este Reyno el año de 30 [...]. Su iglesia [...] está principada a edificarse, por que los temblores de el año de 30 la echaron por el suelo [...].** Joseph Fernádes de Campino, 1744.



Para el modelo “time-predictable” el tiempo antes de un terremoto aumenta con el tamaño de su predecesor inmediato.

En este caso el tiempo entre terremotos debería variar más para ser congruente con la diversidad de tamaños.

El intervalo después del terremoto de 1730 debió ser más largo que los 92 años antes del evento de 1822.

El terremoto y tsunami de 1822

A diferencia del terremoto de 1730, los efectos en 1822 tuvieron una extensión mucho menor.

Hubo destrucción a lo largo de ~260 km, entre Illapel (~31.5° S) por el norte y Rapel (~34° S) por el sur.

Aunque menos extenso, el sismo fue muy energético y focalizado en la costa. Destruyó gran parte de Valparaíso (300 víctimas).

En la costa, se generaron grietas y eyecciones de arena y fango (licuefacción) en suelos aluviales.

En Quintero la gente fue lanzada al suelo.

Por el contrario, los efectos fueron relativamente benignos al interior de Chile central.

Aunque hubo daños en Santiago, no se reportan víctimas fatales.

En consecuencia, Perrey, 1854 reporta:



“El terremoto ocasionó menos desastre en Santiago [...]. Ninguna persona perdió su vida; no hubieron casas devastadas, aunque muchas fueron dañadas al igual que las iglesias”.

El testigo más famoso del terremoto de 1822, la escritora inglesa Maria Graham, quien vivía en Quintero, apunta tres días después del terremoto en su diario de vida:



“To-day, however, we learn that Santiago is less damaged than we expected. [...]; the houses and churches are in some instances cracked through: but no serious damage is done, excepting the breaking down the canals for irrigation in some places”.

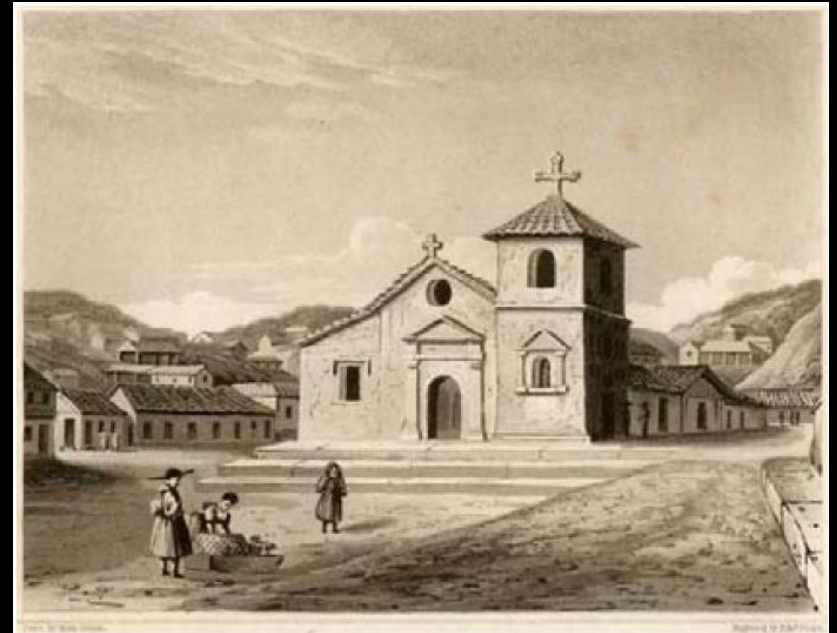
Un tsunami moderado inundó tres veces las partes bajas de la costa de Valparaíso.

Miers reporta que poco después del terremoto el nivel del agua en un vado, de una laguna costera entre Quintero y Concón (quizás Mantagua), estaba más alto que lo usual:

“This appears to have been caused by an influx of salt-water into the lake, during the great rise of the sea which accompanied the first and most violent shock”.

Por su parte, Graham, aunque estaba en Quintero durante el terremoto, escribe en su diario:

“On the night of the nineteenth, during the first great shock, the sea in Valparaíso bay rose suddenly, and as suddenly retired in an extraordinary manner, and in about a quarter of an hour seemed to recover its equilibrium;”



En otra notable entrada de su diario, Graham relata cómo la tripulación de un bote, incluyendo al célebre Almirante Lord Cochrane, sobrevivió el tsunami de 1822 en Valparaíso.



“The officers [...], told me, that, on feeling the shock and hearing the horrible noise, [...], they had looked towards the land, and had seen only one cloud of dust and heard one dreadful shriek: Lord Cochrane and others threw themselves immediately into a boat, to go to the assistance [...]. The rushing wave landed them higher than any other boat had been before; and they then saw it retire frightfully, and leave many of the launches and other small vessels dry. They fully expected a return, and the probable drowning of the town; but the water came back no more [...].”

En los dos primeros relatos conocidos de cambios de elevación relacionados a terremotos en Chile, Graham y Miers reportan ~1 m de levantamiento costero producto del terremoto de 1822.

“[...] I had a pleasant walk to the beach [...]; we went chiefly for the purpose of tracing the effects of the earthquake along the rocks. At Valparaíso, the beach is raised about three feet, and some rocks are exposed, which allows the fishermen to collect the clam, or scallop shell-fish, which were not supposed to exist there before. [...] although it was high water, many rocks, with beds of muscles, remain dry, and the fish are dead; which proves that the beach is raised about four feet at the Herradura [Bahía de Quintero].

Cambios en el nivel de la costa, fundamentales para determinar la fuente y la extensión de las rupturas, serán también reportados para los posteriores terremotos de Chile central, en 1906 y 1985.

Considerando los antecedentes descritos, se concluye que el terremoto de 1822 cuenta con todas las características de un terremoto inter-placa en la mega falla de subducción:

- i) gran intensidad en la costa
- ii) cambios de nivel en la costa
- iii) un tsunami

Sin embargo, es evidente que este terremoto fue bastante menor que su predecesor, también inter-placa, de 1730.

Las diferencias son obvias en cuanto a la extensión latitudinal de los daños y el tamaño del tsunami.

El terremoto y tsunami de 1906

El penúltimo terremoto de la serie, en 1906, parece ser el segundo evento más grande de Chile central.

El sacudimiento dañó edificios a lo largo de ~500 km, entre los 31.5° y 36° S.

Sus mayores efectos fueron reportados en Valparaíso, Santiago y los pueblos intermedios.

Sin embargo, en Valparaíso, donde se reportan 3700 víctimas, es difícil diferenciar entre el efecto del terremoto el de los subsecuentes incendios.

En la mucho más poblada ciudad de Santiago tanto las víctimas, alrededor de 70, como los daños en infraestructura fueron comparativamente menores.

Grandes grietas y eyecciones de arena y fango (licuefacción) fueron reportadas en sedimentos poco consolidados en la costa sur del área afectada.

Barcos anclados en el puerto de Valparaíso sufrieron daños moderados durante el sismo debido al sacudimiento.

El tsunami resultante, con alrededor de 1.5 m de altura, fue más evidente en la costa central y sur del región afectada.

En Valparaíso, el nivel del mar bajó lentamente 4 m en la vertical, para después subir rápidamente sin sobrepasar las defensas del puerto.

Al igual que en 1822, se observó levantamiento costero después del terremoto de 1906.

Sin embargo, la extensión de la costa levantada en 1906 fue mucho mayor, entre Los Vilos (31.9° S) y Llico (34.8° S), a lo largo de 320 km.

De este modo, el terremoto de 1906 cuenta con todas las características esperables para un terremoto de interplaca:

- fuerte sacudimiento costero
- cambios de nivel en la costa y
- tsunami

Sin embargo, se diferencia de los otros eventos de Chile central por ser probablemente el segundo más grande de la secuencia, después del evento de 1730.

Terremoto y tsunami de 1985

El último terremoto de la serie, en 1985, pareciera ser uno de los menores de la secuencia.

Se reportó daño a lo largo de ~200 km, desde Quintero (32.8° S) a San Fernando (34.6° S).

El mayor daño se focalizó en la costa, entre Valparaíso y San Antonio, reportándose 180 víctimas y 600 heridos.

La mayor destrucción se produjo en edificaciones antiguas de adobe, explicando su colapso el 45% de las muertes.

Importantes daños fueron también observados en infraestructura construida sobre sustratos poco consolidados.

Algunos deslizamientos en dunas costeras y grietas en el suelo fueron reportados sobre pendientes inestables.



Se observó un número menor de derrumbes y caídas de rocas a lo largo de la costa.

Se reportaron algunos casos de licuefacción; sin embargo, parecen haber sido modestos y sus evidencias transitorias. G. Plafker describe extrusión de agua y arena desde el suelo:

“At the San Antonio pier and along the Río Viña in Viña del Mar, liquefaction was accompanied by extrusion of water and sand (sand boils). Although such extrusions undoubtedly occurred elsewhere, evidence for them was largely obliterated by the time of my reconnaissance almost 4 weeks after the earthquake”.

Contrariamente en 1822, M. Graham describe que la evidencia de licuefacción en Viña del Mar aun sobrevivía una semana después del terremoto de 1822:

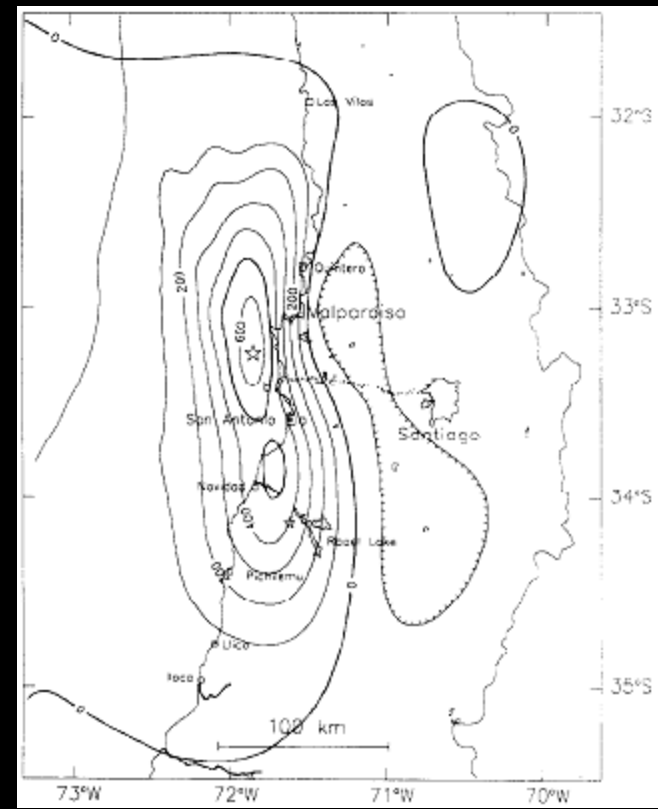
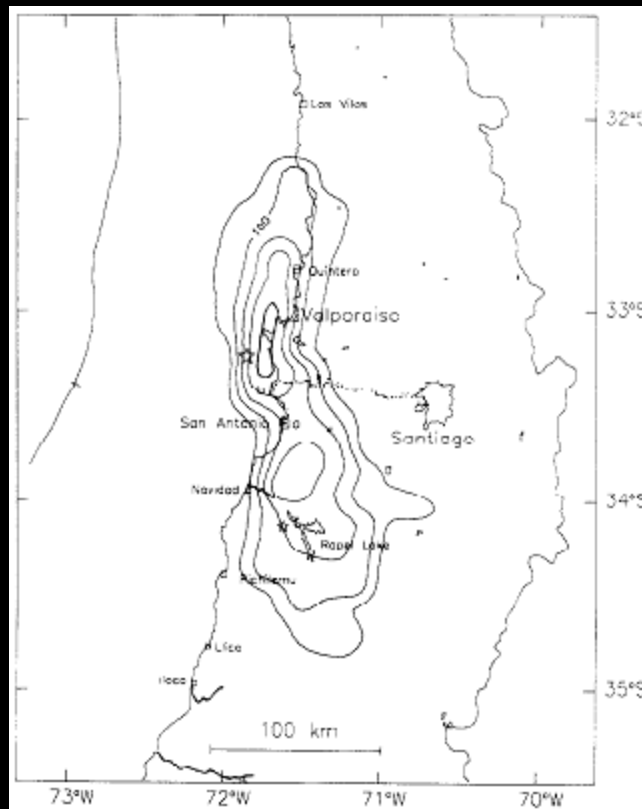
“At Viña a la Mar [...]. The whole of the little plain is covered with small cones from one to four feet high, thrown up from below on the night of the 19th, and from which sand and water had been thrown out”.

Al igual como ocurrió en 1822 y 1906, un segmento de la costa fue levantado como consecuencia del terremoto de 1985.

Entre Algarrobo (33.4° S) y Boca Rapel (33.9° S) la costa fue levantada entre 20 y 40 cm

La diferencia entre dos nivelaciones geodésicas, una realizada antes del terremoto y otra después, muestra que la costa entre San Antonio y Algarrobo se levantó hasta en 50 cm.

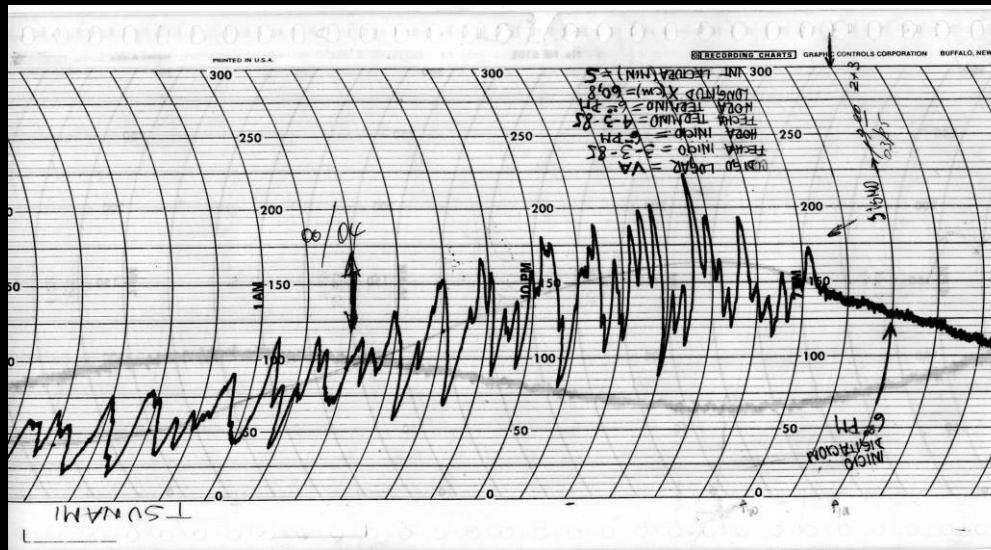
Barrientos (1988) usó esta información topográfica para modelar la dislocación de la falla y de aquí inferir la deformación vertical co-sísmica del terremoto de 1985.



El modelo predice valores de levantamiento máximo de hasta 60 cm a la cuadra de Valparaíso y casi ningún hundimiento.

Este movimiento vertical generó un pequeño tsunami perceptible a simple vista a lo largo de la costa entre Quintero, por el norte y Matanzas por el sur.

El mareógrafo de Valparaíso detectó 20 cm de aumento del nivel apenas 3 min. después del sismo, para posteriormente alcanzar una amplitud máxima de 1.2 m una hora después.



Hacia el norte, el tsunami fue detectado por los mareógrafos de Arica, con una amplitud máxima de 0.5 m, de Antofagasta y Caldera, con 0.3 m, y de Coquimbo con una máxima de 0.5 m.

Hacia el sur, el tsunami alcanzó su máxima amplitud, medida instrumentalmente, en la Bahía de Concepción con 1.8 m.

Testigos reportan que el nivel del agua subió 1 m en Quintero, 1.2 m en Valparaíso, 1.5 m en Algarrobo, 2 m en Quintay, 2-3 m en Cartagena, entre 4 y 5 m en San Antonio y 3 m en Matanzas.

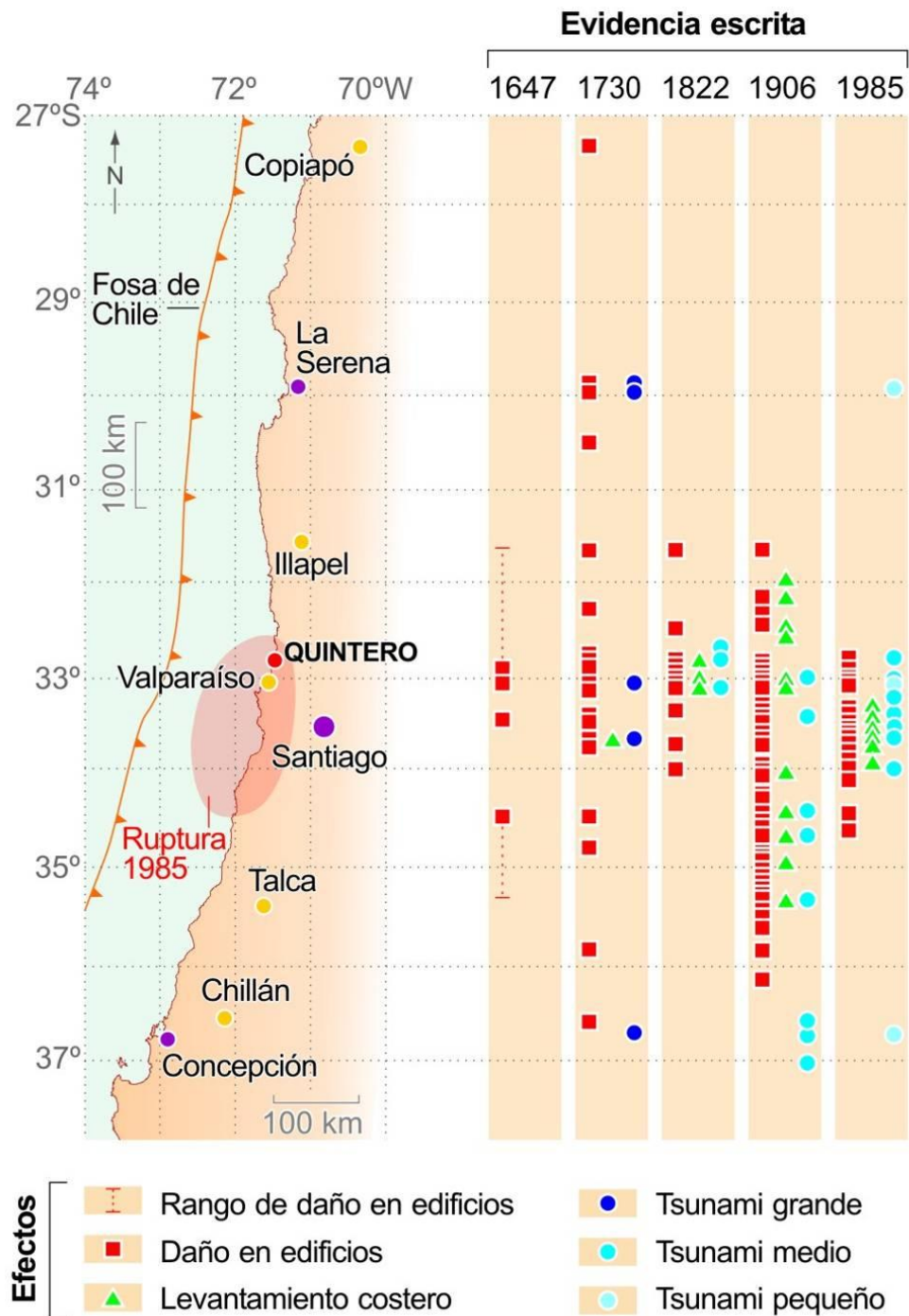
Así, es evidente que el tsunami tuvo una mayor expresión hacia el sur del área afectada.

A través del Pacífico, el tsunami fue detectado, a escala de centímetros, en Guayaquil, Papeete, Hawai, Japón y Alaska.

Al igual que sus tres predecesores, el terremoto de 1985 tiene todas las características de un evento inter-placa.

Teniendo en cuenta la distribución del daño por sacudimiento, los cambios verticales de nivel, y el comportamiento del tsunami, es posible sugerir que el tamaño del terremoto de 1985 fue similar al de 1822.

Sin embargo, la localización de la ruptura del primero pareciera estar distribuida un poco más al sur que la de 1822.



Implicancias y conclusiones del estudio histórico

Se demuestra que las suposiciones que sostienen la idea que los grandes terremotos y tsunamis de Chile central se repiten a intervalos regulares son difíciles de probar.

Complejidad parece ser la regla: no todos los terremotos fueron originados en la misma falla, tuvieron diferentes tamaños y no se ajustan al modelo “time-predictable”.

Aunque se demostró que el evento de 1575 no fue el único del primer siglo de historia, pues fue pronto seguido por uno más grande, es probable que ninguno de ellos califica para entrar en la lista de grandes terremotos de Chile central, ni tampoco como generadores de tsunamis destructivos.

Así, el terremoto de 1647 debiese ser considerado como el primer gran sismo. Sin embargo, no ocurrió en la zona de inter-placa ni generó un tsunami, por lo que también debería ser excluido de la lista.

Por lo tanto, la serie debería en realidad comenzar con el evento de 1730. El terremoto de 1730 contó con todas las características de un gran terremoto inter-placa de subducción.

Así entonces el verdadero primer terremoto inter-placa de Chile central ocurrió casi 200 años después de la llegada de los españoles y hace 281 años desde la actualidad.

Es decir, en casi 500 años sólo ha ocurrido sólo un evento sobredimensionado.

La secuencia continúa con una serie de eventos menores, en 1822, 1906 y 1985, separados por alrededor de 80 años.

De estos, es evidente que el más grande fue el de 1906, mientras que los terremotos de 1822 y 1985 parecen tener un tamaño similar.

Así, la secuencia de grandes terremotos de inter-placa (generadores de tsunamis) de Chile central se reduce sólo a cuatro eventos y que, respecto a su tamaño, han tenido la siguiente categorización y tendencia temporal:

MUY GRANDE – MEDIANO – GRANDE – MEDIANO

De estos, sólo el “Muy grande” (1730) generó un tsunami destructivo, mientras que ni el “Grande” (1906) ni los “Medianos” (1822 y 1985) fueron capaces de generar tsunamis importantes.

Esta conclusión es de gran importancia para determinar el riesgo de tsunami en la Bahía de Quintero.

Quizás la conclusión más importante del estudio, además de reconocer al evento de 1730 como un gigante, es probar que la recurrencia de los terremotos inter-placa (tsunamigénicos) en Chile central ha sido irregular, con un período de tranquilidad de al menos 150 años (antes de 1730) que terminó con un evento muy grande y que ha sido seguido por menores cada 80 años, (la mitad del tiempo del primer período).

ESTUDIO GEOLOGICO DE LOS REGISTROS DE TSUNAMIS SOBREDIMENSIONADOS EN EL HUMEDAL ARRAYANES, BAHÍA DE QUINTERO, CHILE CENTRAL

Introducción

Tradicionalmente se ha determinado el riesgo de tsunami a través de modos matemáticos y estadísticos.

Los modelos requieren de supuestos que muchas veces no pueden ser verificados.

Especialmente, respecto a los parámetros macro-sísmicos de terremotos pasados.

Durante la última década se ha desarrollado una nueva forma de determinar riesgo de tsunami.

Se basa en la huellas reales dejadas por tsunamis pasados: La geología de tsunamis.

Durante la última década se ha desarrollado una nueva forma de determinar riesgo de tsunami.

Se basa en la huellas reales dejadas por tsunamis pasados:
La geología de tsunamis.







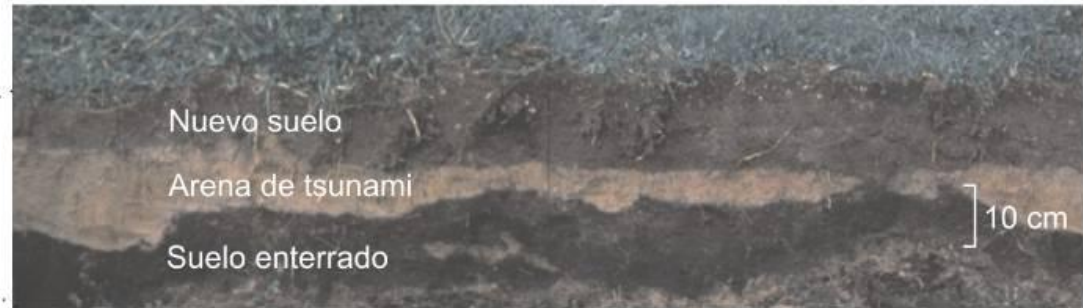
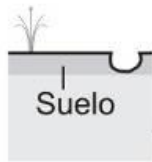




ANTES DEL
TERREMOTO

MINUTOS
DESPUES

DECADAS
DESPUES





CASO JAPONES: El gigante de Tohoku 2011









三嶋神社そば
0470-40-5311

 街あしナビ <http://tadp.jp>

白 子

 津波に注意
be careful to tsunamis

この地盤は

海拔 12.6m

南房総市

22.2



注意



LIFE & CULTURE | APRIL 9, 2011

The Man Who Predicted the Tsunami

By PETER LANDERS

The giant tsunami that assaulted northern Japan's coast surprised just about everyone. But Masanobu Shishikura was expecting it. The thought that came to mind, he says, was "yappari," a Japanese word meaning roughly, "Sure enough, it happened."

"It was the phenomenon just as I had envisioned it," says the 41-year-old geologist, who has now become the Japanese Cassandra.

[View Full Image](#)

Peter Landers/The Wall Street Journal

Masanobu Shishikura wrote in August about a likely tsunami

Dr. Shishikura's studies of ancient earth layers persuaded him that every 450 to 800 years, colliding plates in the Pacific triggered waves that devastated areas around the modern city of Sendai, in Miyagi Prefecture, as well as in Fukushima Prefecture.

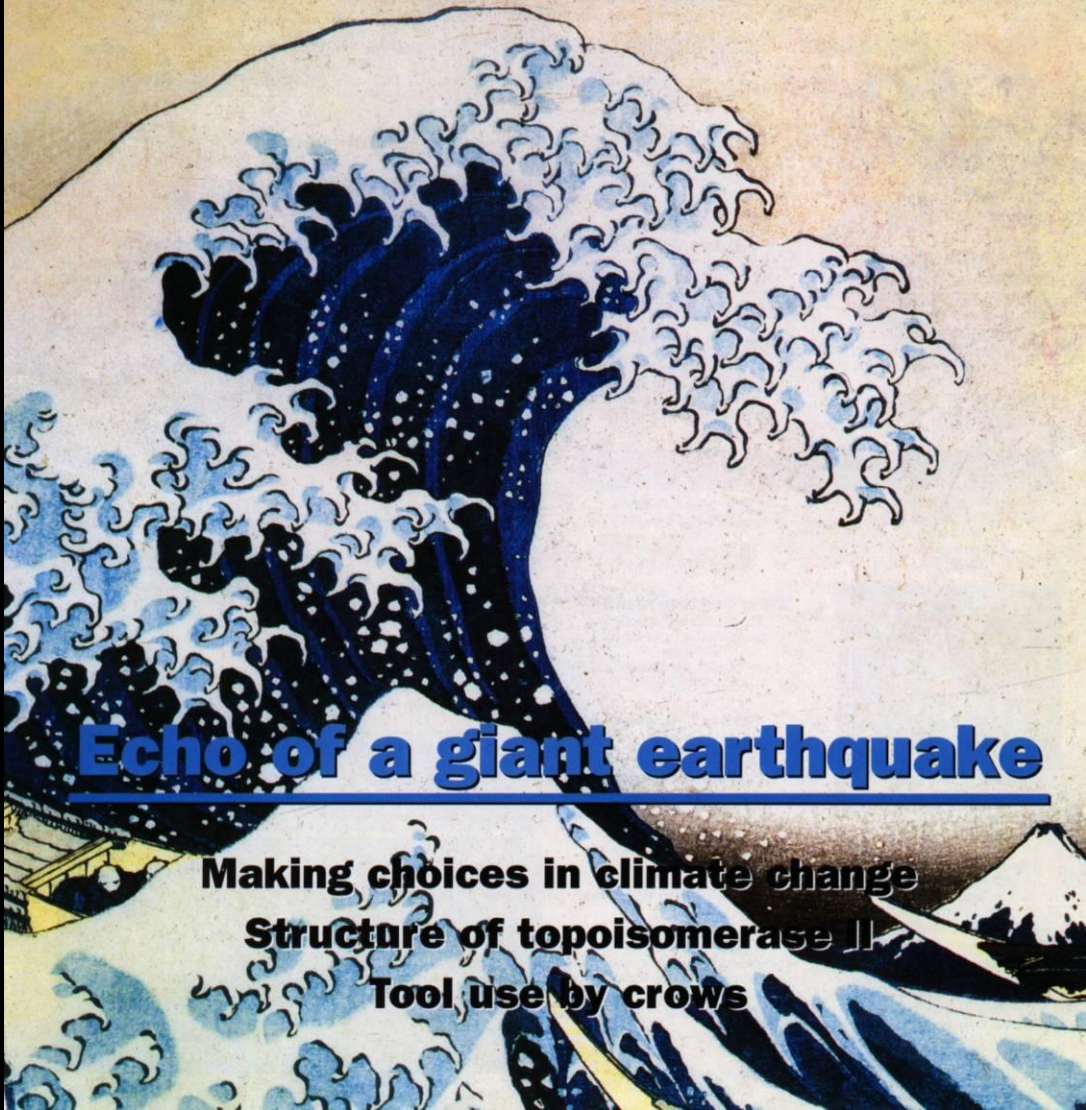
One early tsunami was known to historians. Caused by the 869 Jogan quake, its waves, according to one chronicle, killed 1,000 people. Dr. Shishikura had found strong evidence of a later tsunami in the same



nature

INTERNATIONAL WEEKLY JOURNAL OF SCIENCE

Volume 379 No. 6562 18 January 1996 \$10.00



Echo of a giant earthquake

Making choices in climate change

Structure of topoisomerase II

Tool use by crows

CASO DEL CENTRO SUR DE CHILE: predecesores del terremoto y tsunami gigante de 1960

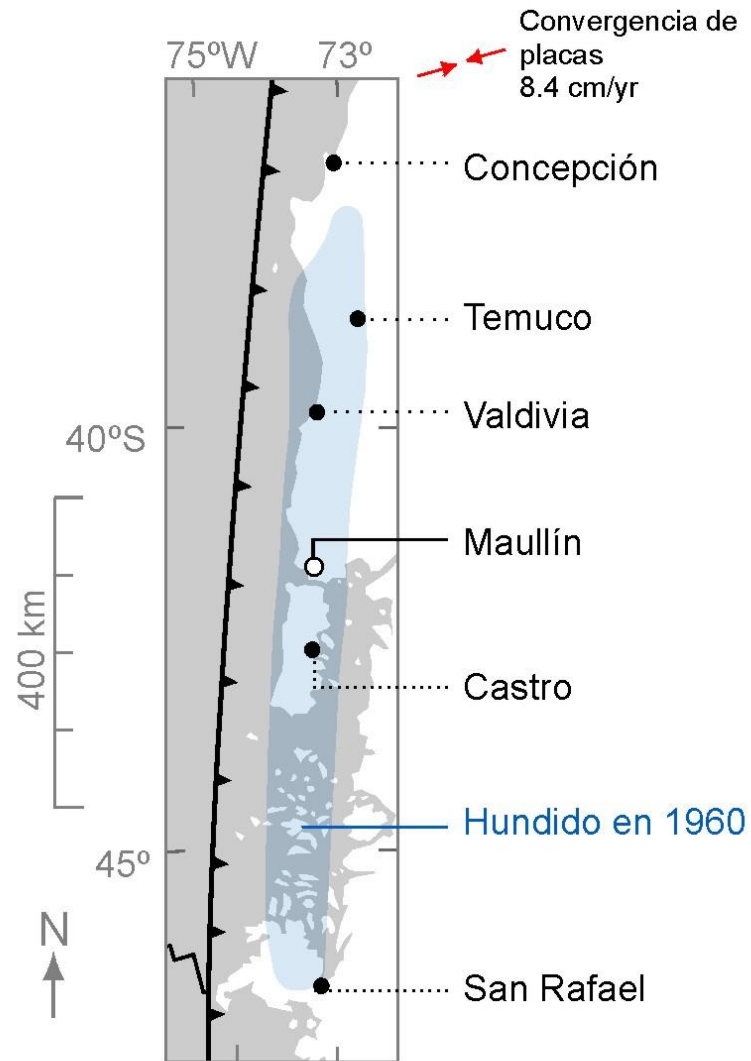






~1000 km





Grandes terremotos registrados por la historia en el centro sur de Chile

1575 1737 1837 1960





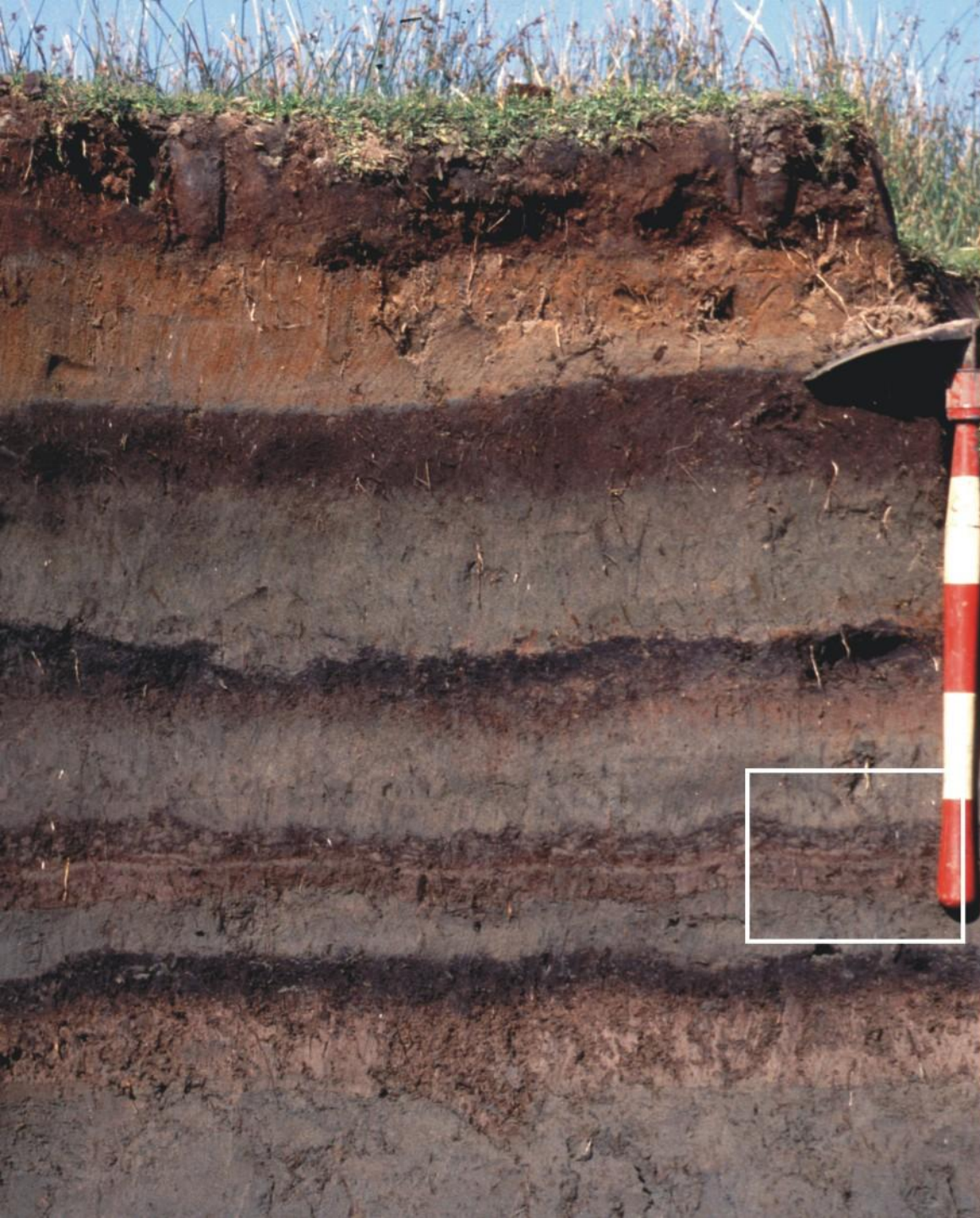


1960









FIELD EVIDENCE

○ Tsunami

▽ Subsidence

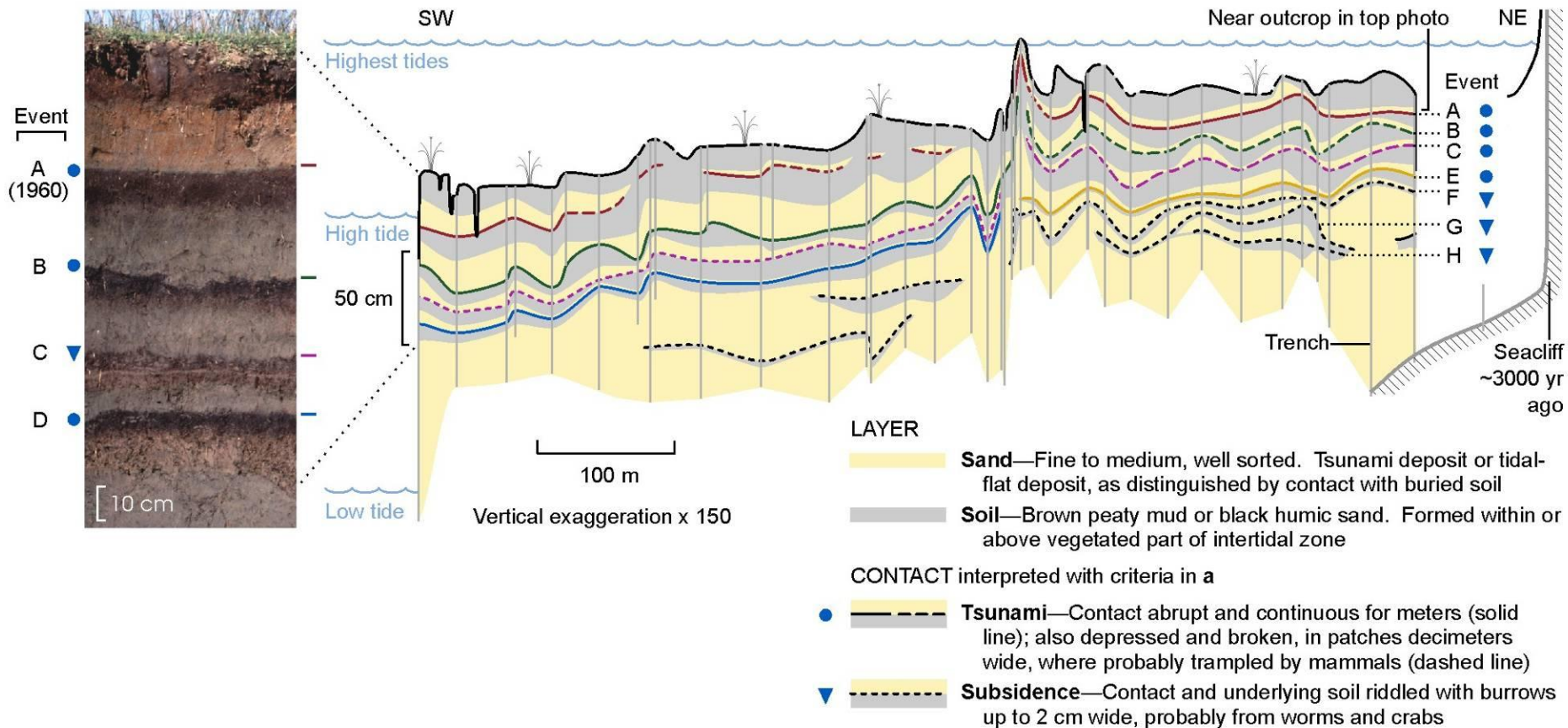
○ 1960

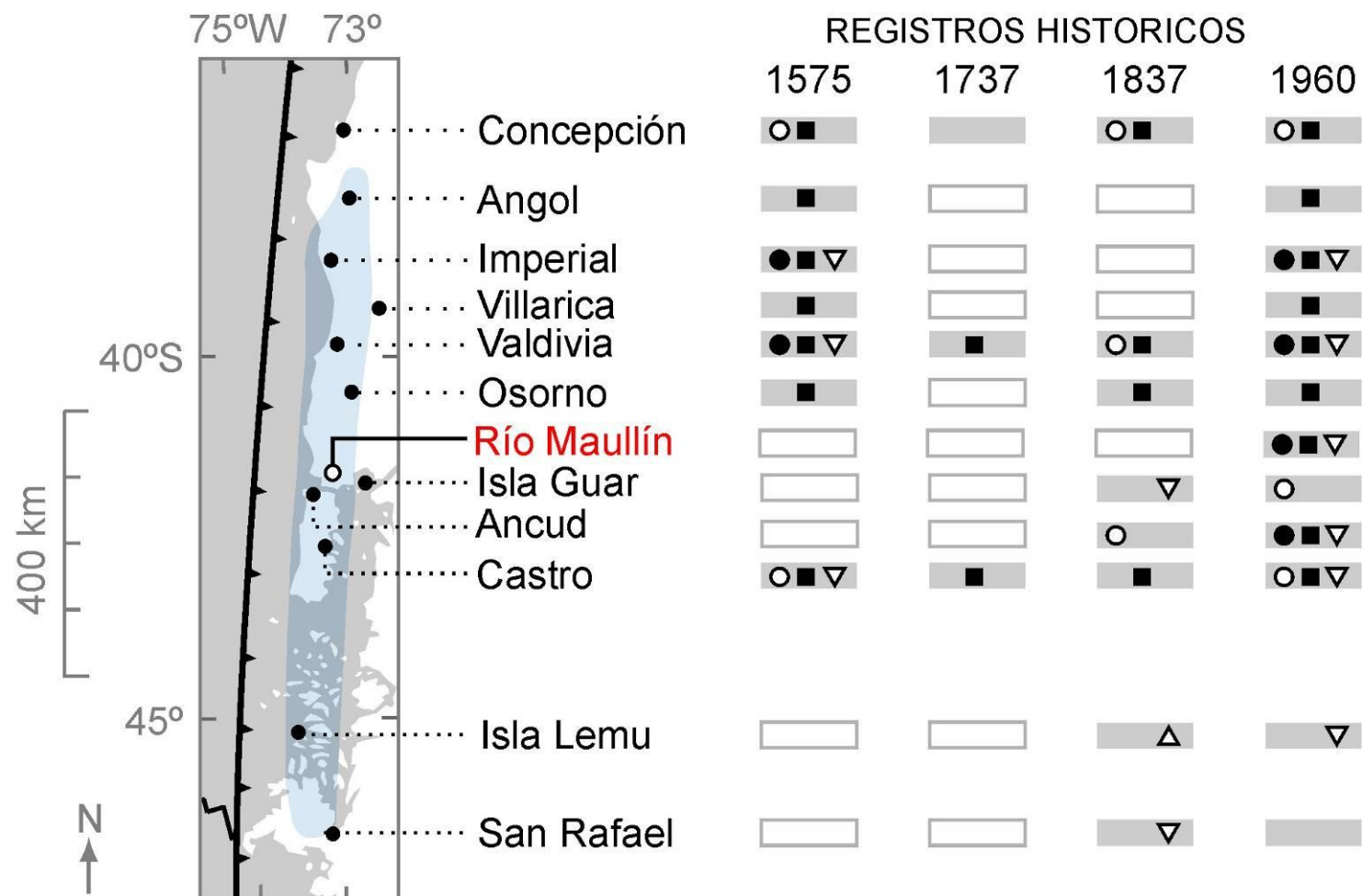
○ after 1450-1620

▽ 1280-1390

○ 1020-1190

10 cm





■ Terremoto

△ Levantamiento costero

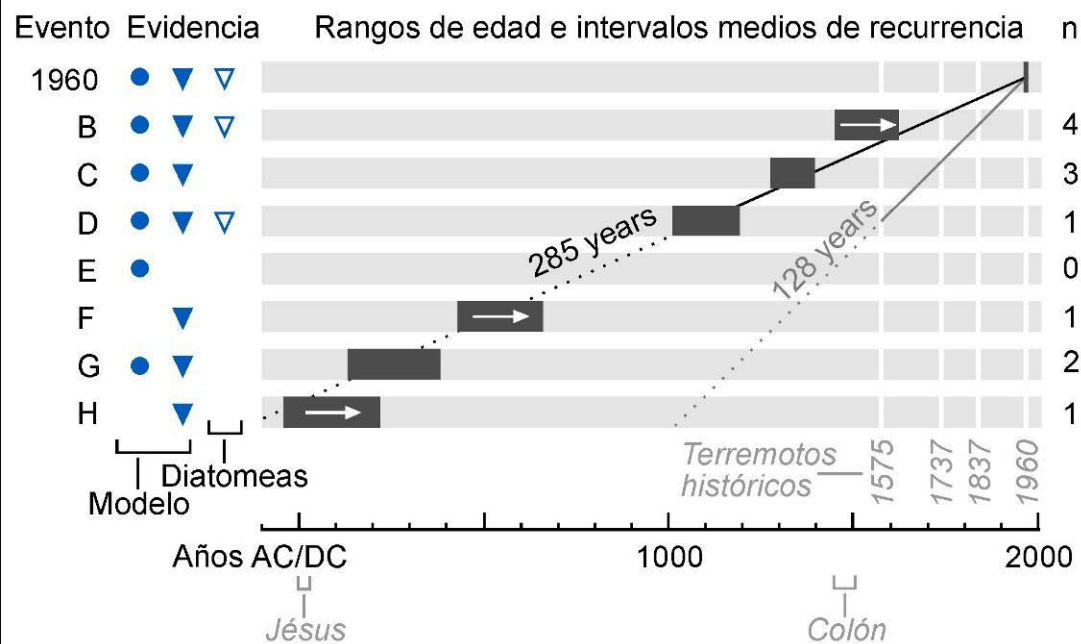
● Tsunami mayor

■ Escritos sin evidencia

▽ Hundimiento costero

○ Tsunami menor

□ Sin escritos



DATAACION CON RADIOCARBONO Bandas negras muestran rangos de edad de plantas fósiles. Flecha muestra potencial diferencia entre la edad de la planta y la fecha del evento:

■ Rango incluye al evento

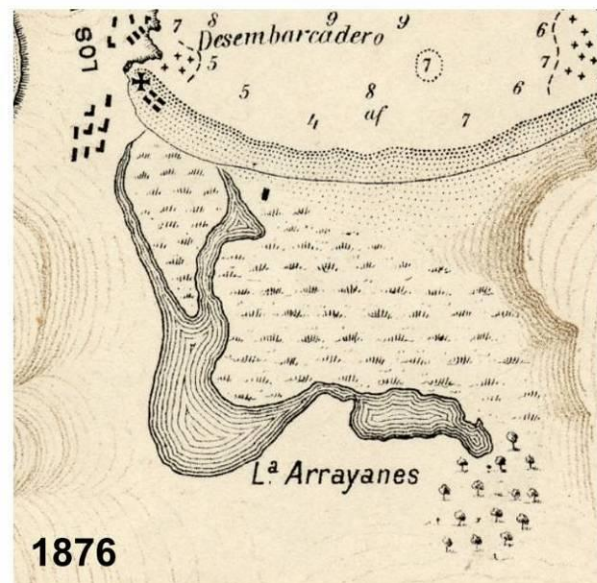
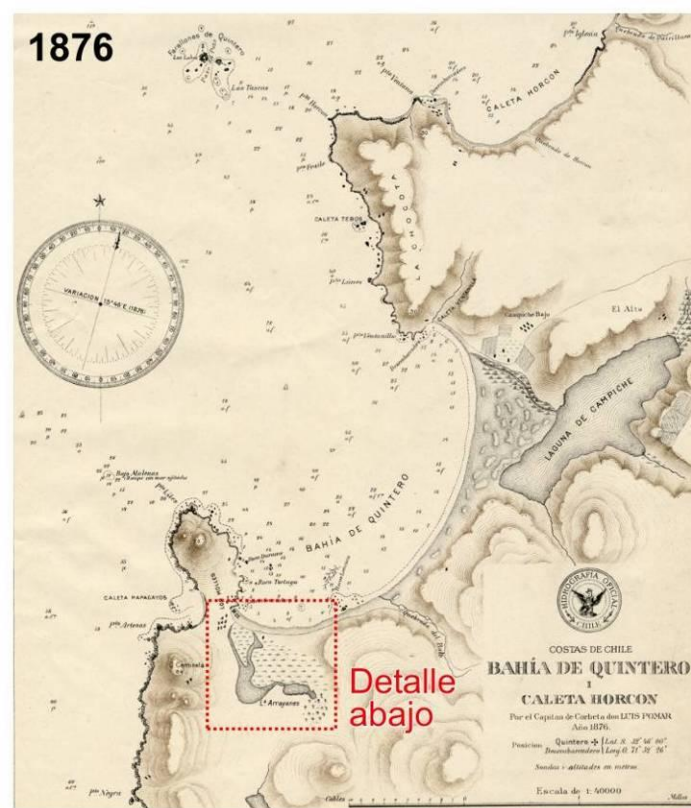
← Rango sigue o incluye al evento

→ Rango precede o incluye al evento

n Número de análisis en cada rango

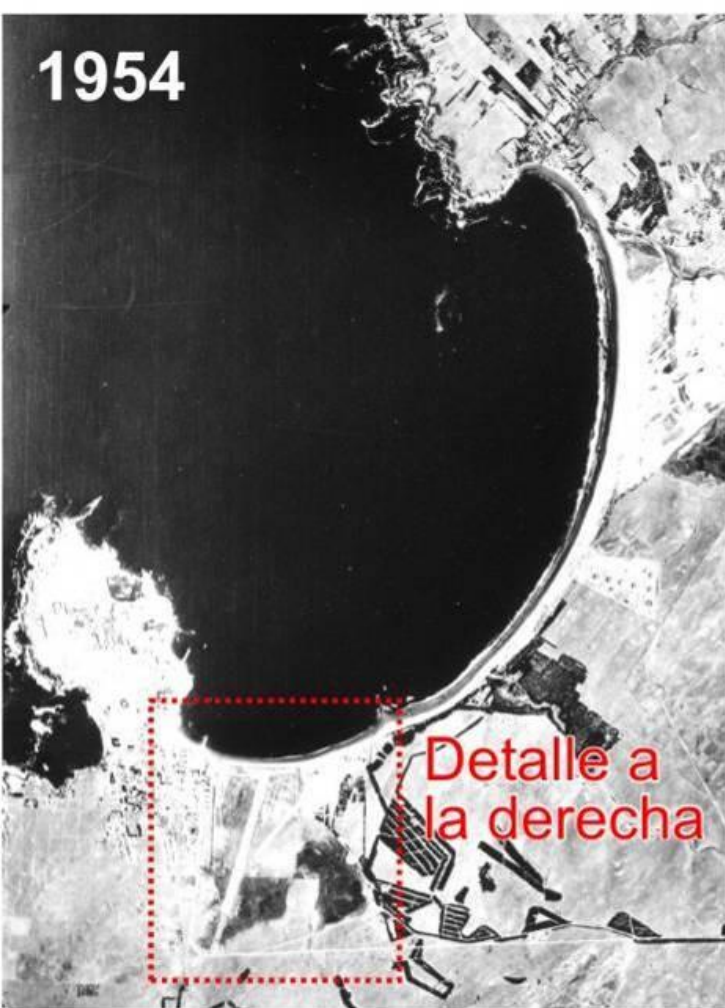
REGISTROS DE TSUNAMIS SOBREDIMENSIONADOS EN EL HUMEDAL ARRAYANES, BAHÍA DE QUINTERO, CHILE CENTRAL

1876



Carta “Bahía de Quintero”, levantada por Luis Pomar en 1876.

1954



Fotografía aérea de la Bahía de Quintero tomada en Diciembre de 1954.

2010



Imagen satelital (GoogleEarth) de la Bahía de Quintero adquirida en el 2010.

Metodologías
prospectivas.













Large ship

















Trabajo con el GPS diferencial y nivelación. Instalación de la base estática del GPS en la base aérea de Quintero (arriba). Vinculaciones de las mediciones con mediante el reposicionamiento del vértice “Cousiño Aux.”

Análisis radiocarbónico de las muestras y su calibración

Para conocer las fechas de los eventos registrados en el humedal se obtuvieron 11 muestras desde diferentes puntos de la estratigrafía.

Se transportaron al laboratorio, donde mediante una lupa binocular se procedió a su lavado con agua destilada.

Con pinzas se extrajeron mecánicamente todos los elementos contaminantes, especialmente raíces modernas.

Posteriormente las muestras fueron secadas y pesadas con una balanza analítica.

Las muestras así preparadas fueron enviadas a Estados Unidos para su análisis en el laboratorio comercial *Beta Analytic Inc.* (ISO 17025).

Las edades radiocarbónicas convencionales fueron calibradas en años calendario (AC-DC) y en años “antes del presente” (BP) mediante el software Calib v. 5.1 (www.calib.org), utilizando el set de calibración para el hemisferio sur.

Las calibraciones se realizaron considerando 1 sigma de error.

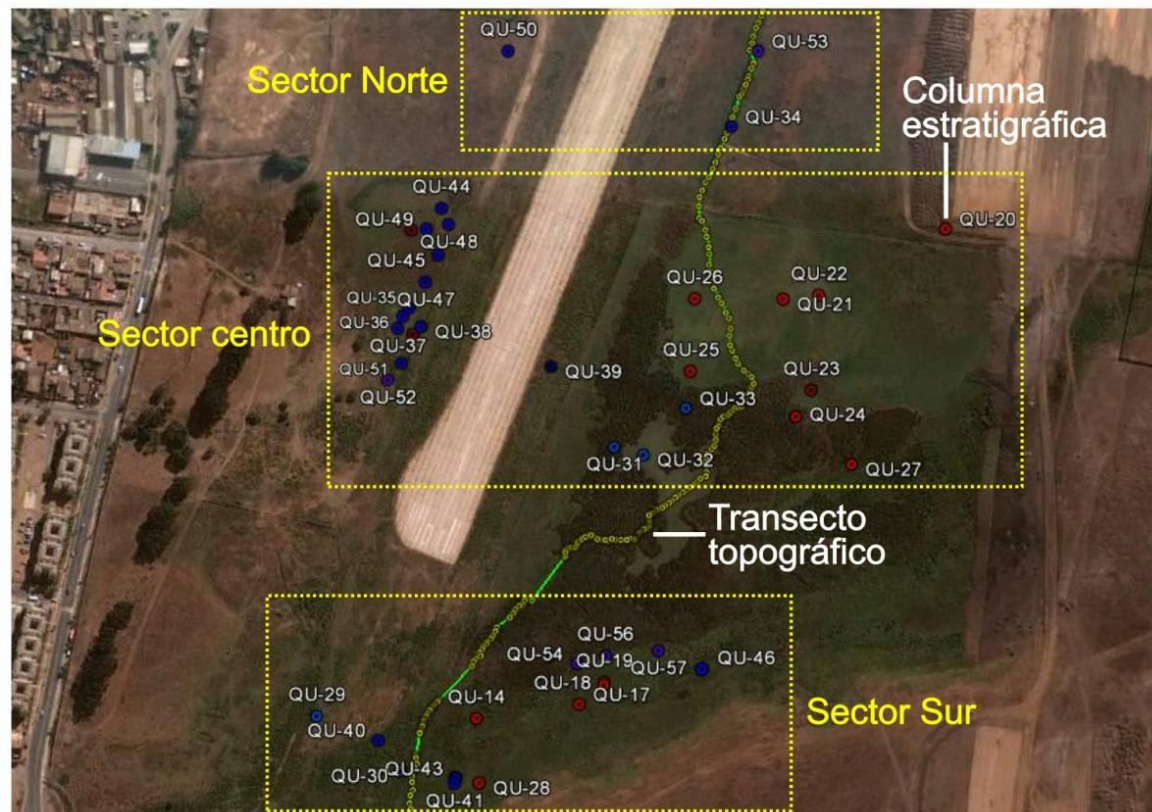
Finalmente se obtuvieron un total de 11 fechas radiocarbónicas para el humedal Arrayanes.

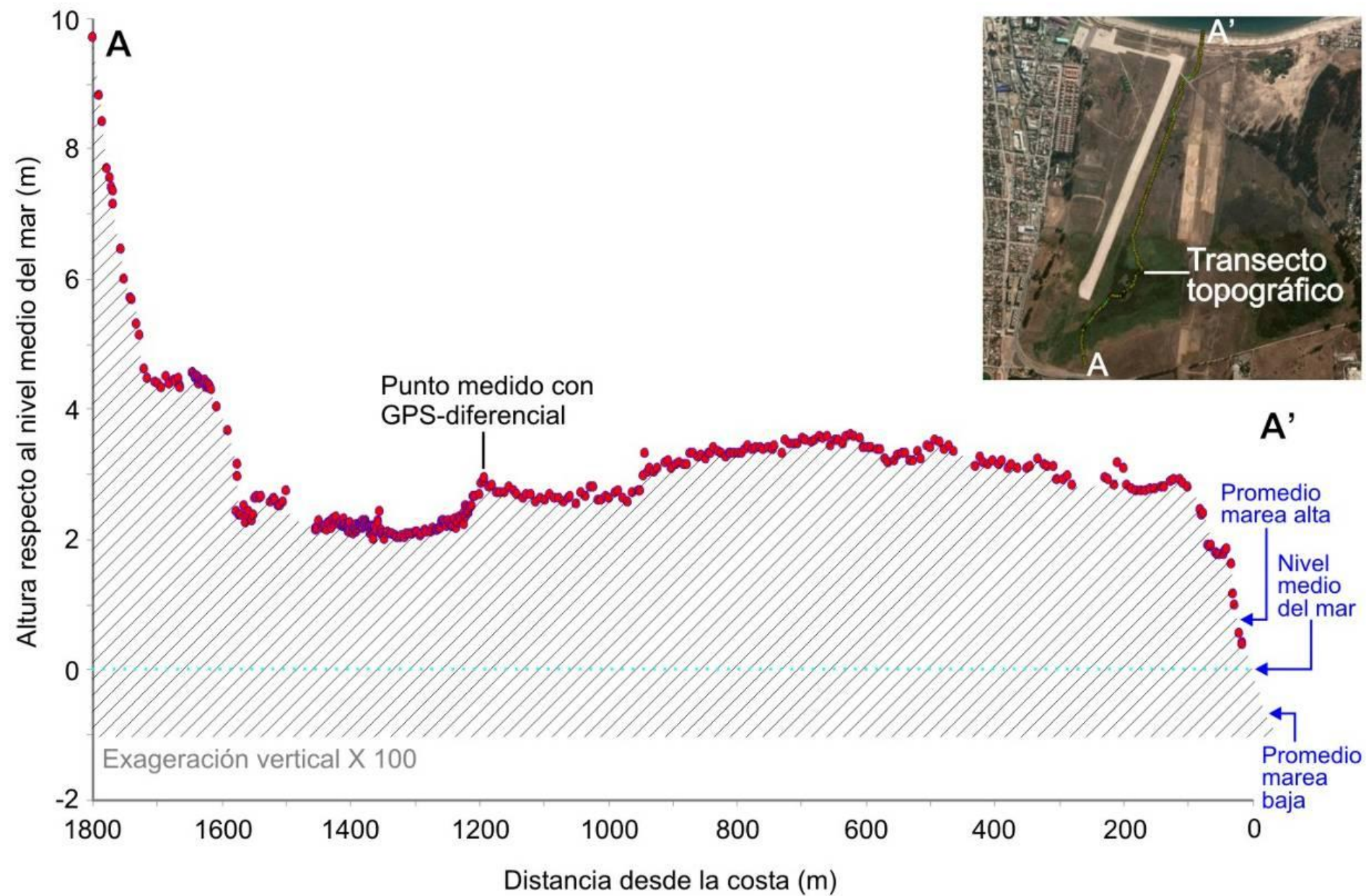
A esto se le suman otras tres fechas obtenidas previamente en el marco del estudio anterior (Cisternas, 2011).

Así, se presenta un total de 14 fechas que soportan la estratigrafía y recurrencia propuesta en el presente estudio.

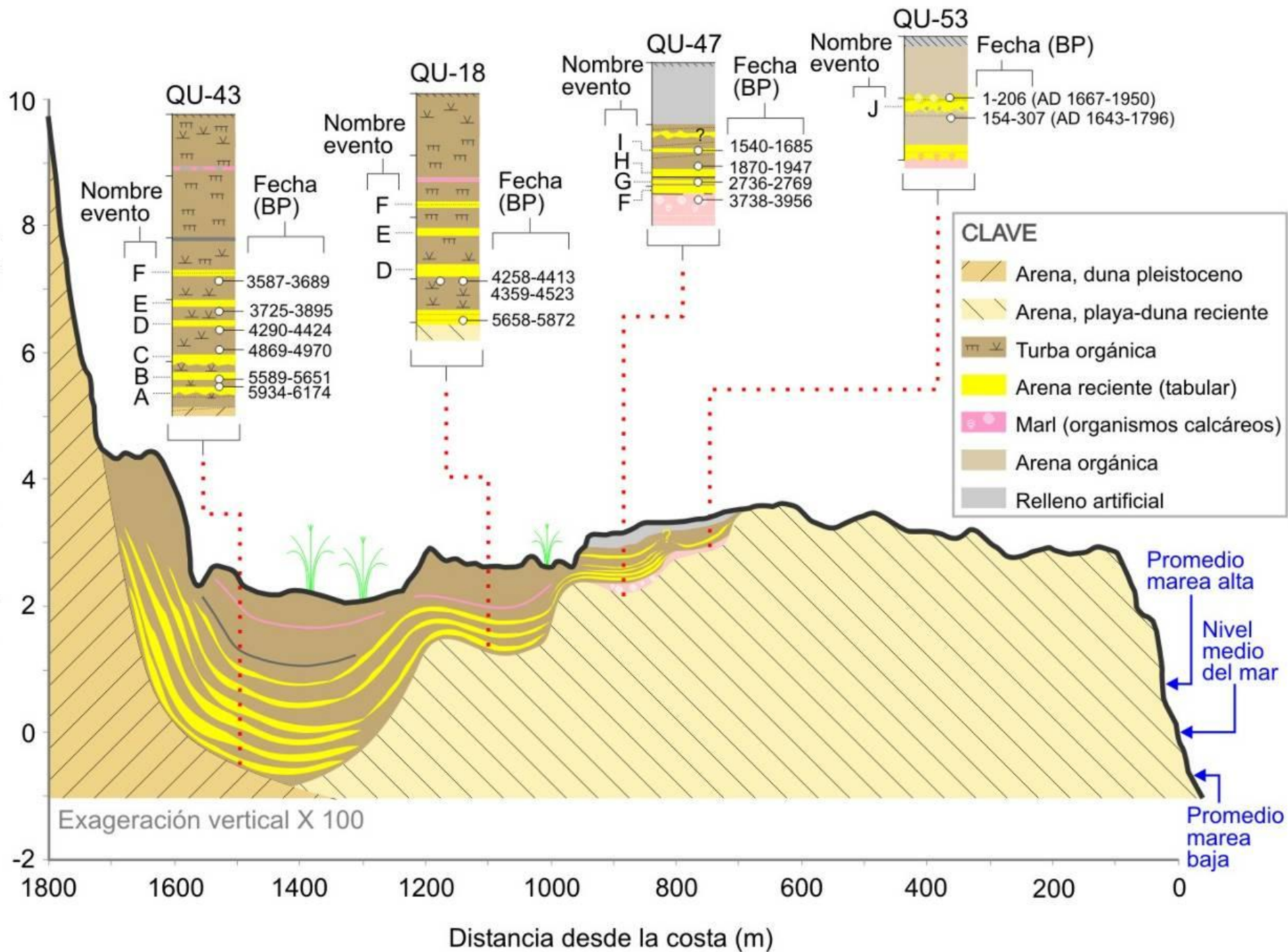


Localización de las columnas, perfil topográfico y estratigrafía conceptual





Altura respecto al nivel medio del mar (m)



Sector Sur

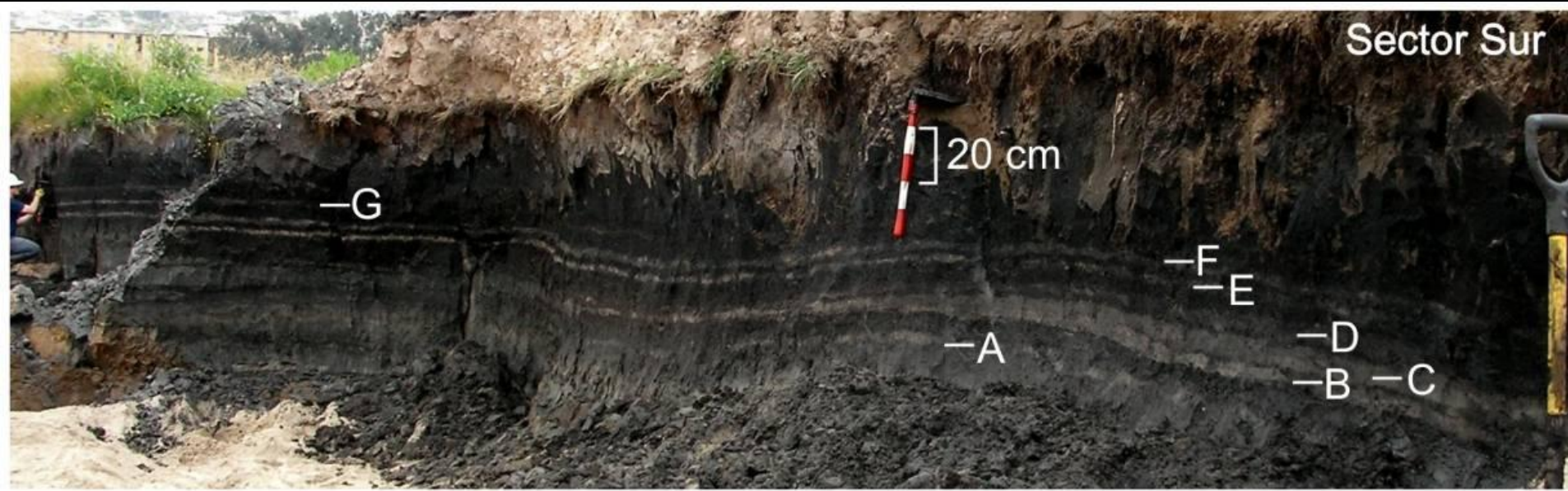
20 cm

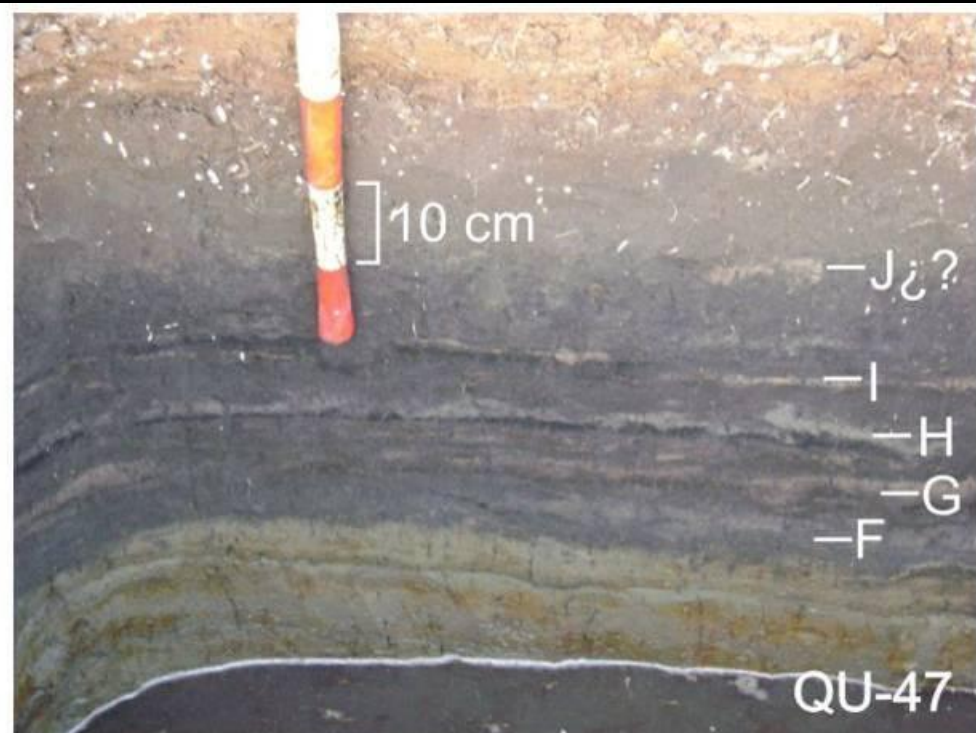
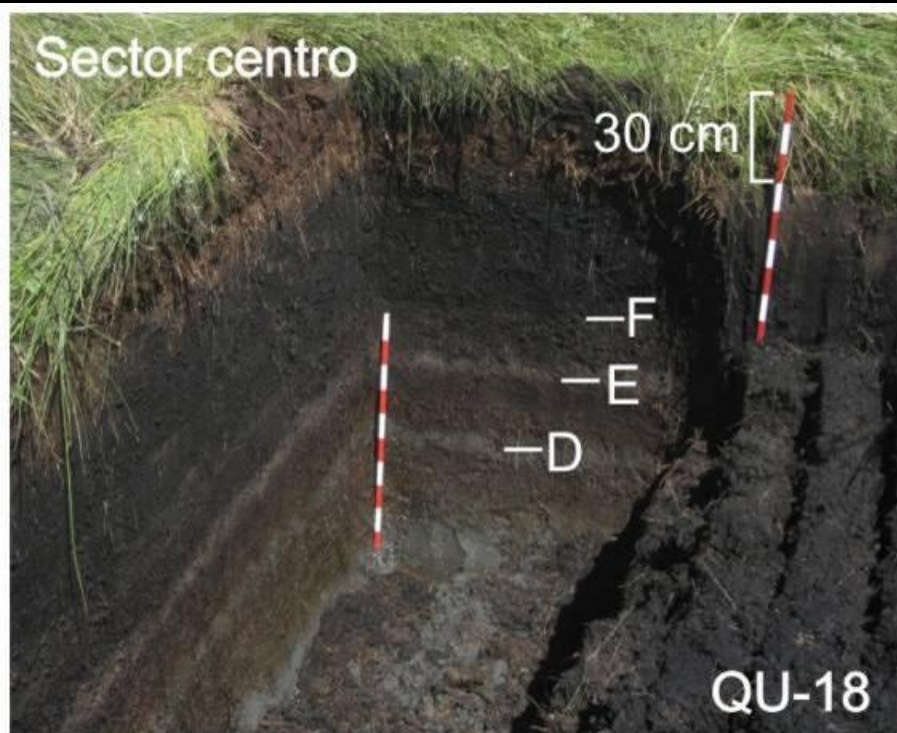
-G

-F
-E

-A

-D
-B -C





Sector Norte

10 cm

Detalle
derecha

QU-53

Restos
Planorbis sp.

10 cm

Evento	Nº muestra	Nº Beta analityc	Nº columna	Edad C ¹⁴ (BP)	Rango edad (BP)	Rango edad (AC/DC)	Material y Observaciones
A	QU-43a	302249	QU-43	5310 +-40	5934-6174	4180-3984 AC	Pequeño trozo de carbón en límite superior de la capa de arena
B	QU-41b	302248	QU-41	4940 +-40	5589-5651	3705-3639 AC	Ramita carbonizada en la superficie del suelo subyacente
C	QU-43f	302254	QU-43	4440 +-30	4869-4970	3020-2919 AC	Rizomas en posición de vida en la base del suelo que siguió a C
D	QU-43b	302250	QU-43	3980 +-40	4290-4424	2474-2340 AC	Rizoma (pragmites) en la superficie del suelo cubierto por D
*	011911-7	293371	QU-18	3950 +-40	4258-4413	2464-2309 AC	Ramita carbonizada en la superficie del suelo cubierto por D
*	011911-6	295081	QU-18	4020 +-30	4359-4523	2568-2410 AC	Rizoma (pragmites) en la superficie del suelo cubierto por D
E	QU-43c	302251	QU-43	3600 +-40	3725-3895	1945-1775 AC	Rizoma (pragmites) 1 cm bajo superficie suelo cubierto por E
F	QU-43e	302253	QU-43	3450 +-30	3587-3689	1739-1647 AC	Rizoma (pragmites) en la superficie del suelo cubierto por F
G	QU-47c	306353	QU-47	2680 +-30	2736-2769	819-786 AC	Trocito de carbón incluido en la arena
H	QU-47b	306352	QU-47	2010 +-30	1870-1947	3-80 DC	Trozo de carbón en la parte superior de la capa de arena
I	QU-47a	306351	QU-47	1740 +-30	1540-1685	265-410 DC	Trocito de carbón incluido en la arena
J	QU-40a	306347	QU-40	260 +-30	154-307	1643-1796 DC	Ramita en la superficie del suelo cubierto por J
	QU-53a	306354	QU-53	200 +-30	1- 296	1667-1950 DC	Concha de <i>Planorbis</i> sp., arriba de la capa de arena
Base	QU-44a	306348	QU-44	3620 +-30	3738-3956	2007-1789 AC	Concha de <i>Planorbis</i> sp., sobre el marl
Base*	FP-5	293373	QU-18	5060 +-40	5658-5872	3923-3709 AC	Ramita incluida en una fina lámina de fango en medio de la arena

Evento	Edad C¹⁴ (BP)	Rango edad (BP)	Rango edad (AC/DC)
A	5310 +/-40	5934-6174	4180-3984 AC
B	4940 +/-40	5589-5651	3705-3639 AC
C	4440 +/-30	4869-4970	3020-2919 AC
D	3980 +/-40	4290-4424	2474-2340 AC
E	3600 +/-40	3725-3895	1945-1775 AC
F	3450 +/-30	3587-3689	1739-1647 AC
G	2680 +/-30	2736-2769	819-786 AC
H	2010 +/-30	1870-1947	3-80 DC
I	1740 +/-30	1540-1685	265-410 DC
J	260 +/-30	154-307	1643-1796 DC

