

Eighteenth Session of the Group of Experts for the Global Sea Level Observing System (GLOSS)

Chilean Report

Julio Castro Barraza

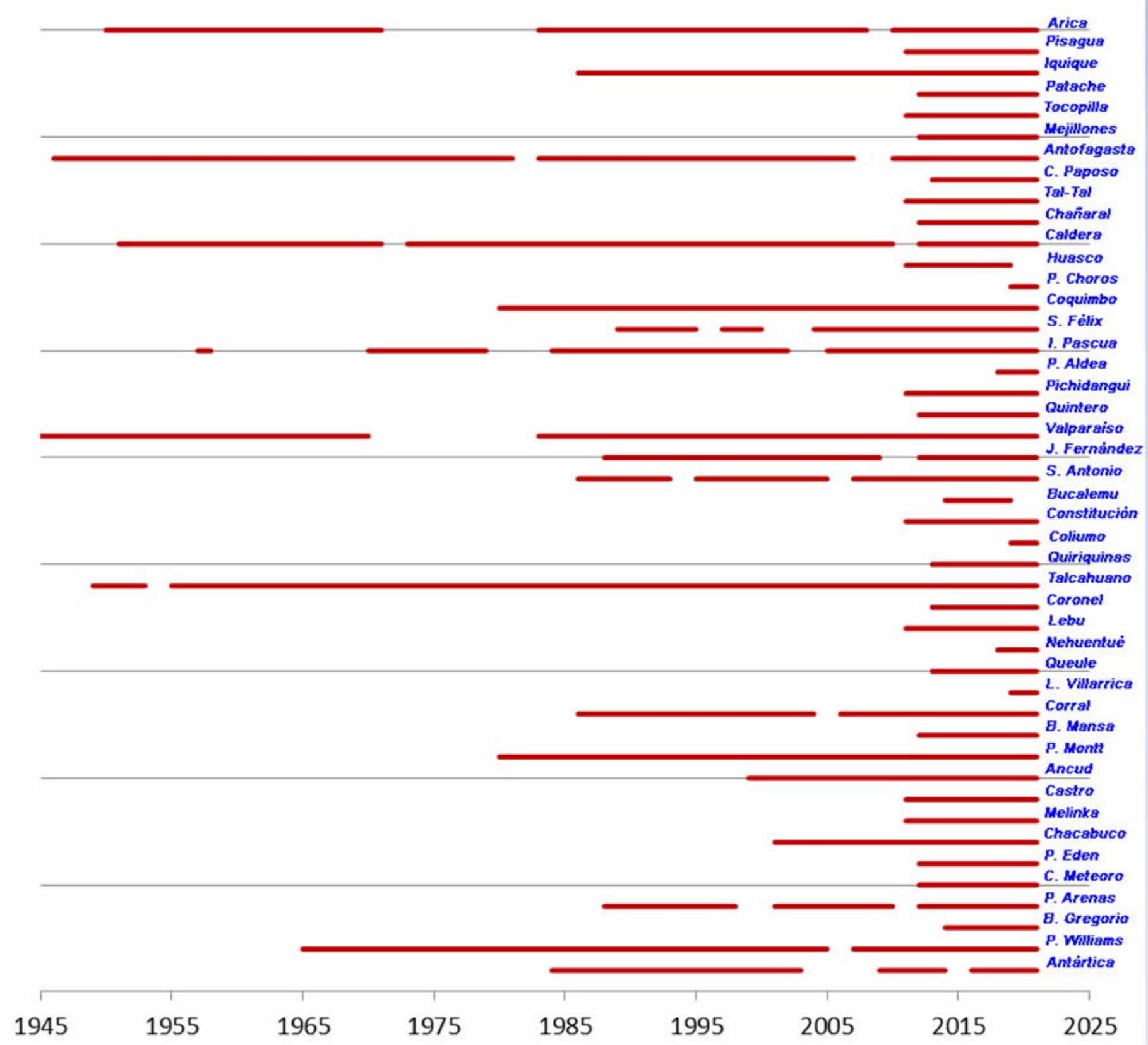
Oceanography Department

Hydrographic and Oceanographic Service of the Chilean Navy (SHOA)



PATRIOTISM

Honor - Loyalty - Bravery - Integrity - Duty



5 st +70 yr
8 st +40 yr
5 st +25 yr
9 st +15 yr

REPORTE DE OPERATIVIDAD ENM Y BOYAS OCEANOGRAFICAS

06-mar-2025 19:02

RED	ESTADO
ENM	93%
BOYAS DART	90%
BOYAS OCEANOGRAFICAS	100%

BLOQUE SIPAT	ESTACIÓN DE NIVEL DEL MAR	TRANSMISIÓN			SENSOR NIVEL DEL MAR		ESTADO
		GPRS	BGAN	GOES	PRS	RADAR	
B1	ARICA 2 (ENAPU)	OPE	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE
B1	ARICA	OPE	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE
B2	PISAGUA	OPE	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE
B2	IQUIQUE	OPE	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE
B2	PATACHE	OPE	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE
B3	TOCOPILLA	OPE	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE
B3	MEJILLONES	OPE	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE
B4	ANTOFAGASTA	OPE	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE
B4	PAPOSO	OPE	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE
B4	TALTAL	OPE	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE
B5	CHAÑARAL	OPE	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE
B5	CALDERA	OPE	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE
B6	HUASCO	OPE	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE
B7	PUNTA DE CHOROS	OPE	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE
B7	COQUIMBO	OPE	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE
B7	PUERTO ALDEA	OPE	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE
B7	PICHIDANGUI	OPE	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE
B8	QUINTERO	OPE	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE
B8	VALPARAÍSO	OPE	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE
B8	SAN ANTONIO	OPE	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE
B9	BOYERUCA ¹	OPE	N/A	NO OPE	NO OPE	OPE	OPE C/OBS
B10	CONSTITUCIÓN ²	OPE	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE
B11	COLIUMO	OPE	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE
B11	ISLA QUIRIQUINA	OPE	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE
B11	TALCAHUANO	OPE	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE
B11	CORONEL	OPE	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE
B11	LEBU	OPE	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE
B12	NEHUENTÚE ³	OPE	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE
B12	QUEULE	OPE	N/A	NO OPE	OPE	OPE	OPE C/OBS
B13	VILLARRICA	OPE	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE
B13	CORRAL	OPE	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE
B14	BAHÍA MANSA	OPE	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE
B14	PUERTO MONTT ²	OPE	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE
B15	ANCUD	OPE	N/A	NO OPE	OPE	OPE	OPE C/OBS
B15	CASTRO	OPE	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE
B16	MELINKA	OPE	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE
B16	PUERTO AGUIRRE	OPE	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE
B16	PUERTO CHACABUCO	OPE	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE
B17	PUERTO EDÉN	OPE	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE
B17	PUERTO NATALES	OPE	N/A	NO OPE	OPE	OPE	OPE C/OBS
B17	CALETA METEORO ¹	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE	OPE
B17	PUNTA ARENAS	OPE	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE
B17	BAHÍA GREGORIO	OPE	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE
B17	PUERTO WILLIAMS	OPE	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE
B18	BASE PRAT ¹	N/A	OPE C/OBS	OPE C/OBS	OPE	OPE	OPE C/OBS
B18	BASE O'HIGGINS ¹	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE	OPE
B19	JUAN FERNANDEZ	OPE	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE
B20	SAN FÉLIX	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE	OPE
B21	ISLA DE PASCUA	OPE	N/A	OPE	OPE	OPE	OPE



VOLCÁN HUNGA TONGA-HUNGA HA'APAI

1. ANTECEDENTES GENERALES DEL EVENTO

La erupción del volcán Hunga Tonga-Hunga Ha'apai ocurrió el 15 de enero del año 2022. La erupción de un tsunami que se propagó por todo el océano Pacífico, causando daños a nivel local, regional y en algunas costas más lejanas. Una de las zonas más afectadas fue el archipiélago de Tonga, el cual está compuesto por 177 islas, de las cuales aproximadamente 36 están habitadas. El tsunami generado golpeó a Tongatapu, la isla principal del archipiélago a solo unos 45 km al sur del volcán. Según los primeros reportes, las ondas de tsunami que afectaron las costas occidentales de las islas Tongatapu, Tuo y Hāpāi, alcanzaron un run up de entre 15 a 20 m, mientras que se observaron inundaciones de 500 m en Nukunua y 600 m en Mānanga, ambas localidades ubicadas en la isla Hāpāi (Firanoux, 2022).

Las ondas del tsunami también se propagaron a través del océano hacia el noroeste del Pacífico, registrándose variaciones del nivel del mar en lugares como Alaska, costa E de Estados Unidos, México, Centroamérica y partes de América del Sur. Misma situación se registró en países del sector E, como Japón y Australia.

Esta es la primera vez que los países miembros del Sistema Internacional de Alerta y Mitigación de Tsunamis del Pacífico (PTWC) han tenido que responder a un evento volcánico destructivo de estas características, por lo que no existían protocolos establecidos para el manejo de este tipo de amenaza a nivel regional ni internacional. Por lo anterior, los Centros de Alerta de Tsunamis Nacionales se vieron obligados a utilizar procedimientos operacionales estándar (SOP) locales para enfrentar la emergencia y de este modo requerir la ayuda de las comunidades costeras.

2. VOLCÁN HUNGA-TONGA-HUNGA HA'APAI (HTHH)

El volcán HTHH es uno de los muchos volcanes en el arco volcánico Tonga-Kermadec, que se formó en respuesta a la subducción de la Placa del Pacífico debajo de la Placa Indo-Australiana. Tonga se encuentra en la parte N del sistema Tonga-Kermadec, donde el volcán HTHH y un arco de 5 se alinean en el borde de una caldera submarina. Las islas y el arco están con las únicas características de su tipo que definen la presencia del volcán, en gran parte sumergido (Figura 1). Antes del año 2014, estaba compuesto por dos pequeñas islas andeocíticas deshabitadas, Hunga-Hāpāi y Hunga-Tonga, que sobresalen unos 100 m sobre el nivel del mar, pero escondido bajo el mar hoy un volcán enorme, de unos 1800 m de altura y 20 km de ancho, cuya caldera es una depresión similar a un cráter de unos 5 km de diámetro (Cronin, 2022).

Los estudios publicados indican que el volcán Hunga ha tenido notables erupciones antes de la ocurrida el 15 de enero de 2022, las que fueron registradas en los años 2015/2014, 2009, 1988, 1937 y 1912 (Byrnes et al., 1972; Kusky, 2022).

El evento del 14 de enero comenzó con una importante erupción de ceniza y vapor, acompañada de un sismo de magnitud 5.8 a 5 km de profundidad (GDACS, 2022), y con una glama volcánica que alcanzó rápidamente más de 20 km en la atmósfera. Posteriormente, el 15 de enero de 2022 a las 08:10 UTC (01:10 H.), aproximadamente, ocurrió la mayor erupción, acompañada de un importante sismo asociado a esta actividad volcánica de magnitud 4.3 y una gran explosión sísmica. La erupción fue altamente energética y de gran fuerza expansiva, causada por la interacción del agua de mar y el magma que aflora con una temperatura cercana a los 1000 °C. Adicionalmente, la erupción volcánica produjo un pulso de presión barométrica, que se extendió globalmente en circuitos concéntricos desde el volcán, rodeando la Tierra durante al menos dos días (Figura 2). El pulso de presión se denomina onda Lamb atmosférica, que se genera por la expansión del aire alrededor del volcán debido al calor de la erupción (Katsuki et al., 2022).

3. ANÁLISIS DEL TSUNAMI

La violenta y explosiva erupción del volcán HTHH del 15 de enero de 2022, generó un fuerte tsunami que se registró en todo el Océano Pacífico y en otras cuencas oceánicas, incluyendo los mares del Caribe y del Mediterráneo, lo que causó sorpresa a los expertos de los Centros de Alerta de Tsunami que monitorizan el evento y a la comunidad científica, que analizó los datos registrados por los diferentes redes de sensores, como el Sistema Mundial de Navegación por Satélite (GNSS), redes de sistemas DART y estaciones de nivel del mar, como también meteorológicas.

Las primeras hipótesis apuntan a que la fuente de generación del tsunami en este caso es compleja y podría ser el resultado de una combinación de mecanismos de origen volcánico que incluyen la explosión submarina, flujo piroclástico, deslizamientos submarinos, colapso de la caldera junto con el del banco de levas que interactúan con el agua de mar circundante, ondas de choque y de presión atmosférica, entre otros.

Dentro de la cuenca del océano Pacífico, las amplitudes máximas de tsunami registradas oscilaron dentro del rango de 0.1 a 2.0 m. De acuerdo a lo informado por el Centro de Alerta de Tsunamis del Pacífico (PTWC) y lo publicado por el Centro Nacional de Información Ambiental (CNIA) de la NOAA, las mayores amplitudes, con valores superiores a 0.8 m, fueron medidas en las estaciones de Tonga, Fiji, Nueva Caledonia, Nueva Zelanda, Islas Cook, Vanuatu, Japón, Hawái, California (EE.UU.), México, Perú y Chile. Dentro de este grupo, cabe destacar que las mayores amplitudes fueron registradas en las estaciones de Playa Nayóna, Lambayeque en Perú, con 2.0 m y Chañaral, en Chile con 1.96 m (Figura 3).

Además, algunas estaciones del Mediterráneo y del Caribe mostraron amplitudes máximas del orden de 0.1 m, lo que resulta notable dado la distancia y localización de dichas estaciones respecto del volcán. Adicionalmente, el tsunami también fue registrado en estaciones del océano Índico, como Indonesia, Malasia, Sri Lanka, Islas Maldivas y Sudáfrica, entre otros, con amplitudes no superiores a los 0.3 m.

Por otra parte, la fluctuación de presión atmosférica y el tsunami fue registrado a lo largo de la costa de Chile y zonas insulares, en 40 estaciones de nivel del mar de la Red Nacional, desde Arica a Base O'Higgins en la Antártica Chilena. En 33 estaciones se observaron fluctuaciones del nivel del mar muchos antes de lo esperado para el ancho del tsunami de ondas largas costeras. Respecto de las fluctuaciones de presión atmosférica, éstas fueron registradas primeramente en la estación insular de Isla de Pascua a las 07:20 H., y posteriormente, en un fan propagando secuencialmente desde sur a norte por las estaciones costeras continentales. Consecuentemente, el inicio de las fluctuaciones del nivel del mar asociadas al paso de la onda Lamb, no se registró en el mismo orden secuencial de llegada de sur a norte en la red de estaciones.

La diferencia de tiempo entre el paso de la onda de presión atmosférica y la primera fluctuación del nivel del mar medida en las estaciones (SL) en Tabla N° 1) presentó una gran variabilidad en los valores de tiempo registrados, los que fluctuaron en el rango entre 7 y 130

minutos (Tabla N° 1). De igual forma, la diferencia entre los tiempos de arribo pronosticados por el TTT y los tiempos de arribo del tsunami (ondas largas) observados (SL en Tabla N° 1), se desprende que en el 80.5% de los casos, el tiempo de arribo observado es menor al pronosticado, es decir las ondas de tsunami fueron registradas de forma previa a lo estimado.

En la Tabla N° 2 se presentan los registros de amplitudes máximas del tsunami medidas por las estaciones de la red nacional, cuyos valores máximos fluctuaron entre un mínimo de 0.06 m y un máximo de 1.96 m. La estación que presentó la mayor amplitud fue Chañaral, con 1.96 m, seguida de Coquimbo con 1.47 m y Arica con 1.37 m. En términos generales, el 63% de las estaciones registraron amplitudes máximas dentro del rango de entre 0.3 y 1.0 m, el 20% con valores menores a 0.3 m y sólo el 17% mostró amplitudes superiores a 1.0 m (Figura 4). Cabe hacer presente que todos los valores de amplitudes máximas de los registros, están asociados al arribo del tsunami de ondas largas generados por la erupción volcánica y no a la fluctuación inicial provocada por el paso de las ondas Lamb (meteo-tsunami), la que posteriormente se acopla a las ondas largas que se propagan. Cabe destacar, que los valores de amplitudes máximas se observaron en bahías que presentan resonancia. Al igual que para las estaciones de nivel del mar, el tsunami fue registrado por cuatro sistemas DART instalados como parte de la red de monitoreo nacional y cuyos tiempos de arribo y amplitudes máximas aproximadas se presentan en la Tabla N° 3.

Los periodos más energéticos observados en los registros del tsunami fluctuaron en torno a los 5, 15, 30, 45 y 90 minutos. No se evidencia un claro patrón respecto de los periodos que permita establecer una relación directa respecto de las ondas asociadas al meteo-tsunami y a las ondas largas de tsunami.

De forma comparativa, se efectuó un breve análisis de las señales de tsunami registradas en la costa de Chile para el evento de las Islas Kermadec-Nueva Zelanda, ocurrido el 4 de marzo de 2011 con el evento de Tonga de 2022. Al respecto se observó que en ambos casos los tiempos de arribo pronosticados presentaron importantes diferencias respecto de lo observado, es decir para el evento de las I. Kermadec, los tiempos de arribo observados fueron posteriores a lo pronosticado y para el caso de Tonga fue todo lo contrario. Respecto de la comparación de las amplitudes máximas, se observó que para el tsunami de las I. Kermadec, las estaciones de Bahía Mansu, Chañaral, Caldera y Arica fueron las que presentaron los mayores valores, mientras que para el evento de Tonga los mayores registros de amplitudes incluyen los sectores determinados para el evento de las I. Kermadec, todas las cuales son bahías resonantes. En términos energéticos, los eventos de tsunami de las I. Kermadec y de Tonga no son comparables, dadas las diferentes fuentes de generación, no obstante a partir de la comparación en los registros de amplitudes medidas en el sistema DART de Iquique (Figura 5), se pudo establecer que en términos de energía, el tsunami producido de la erupción del volcán HTHH, es comparable al tsunami generado por el terremoto de Iquique de magnitud 9.1 Mw, por lo que es viable efectuar una estimación de los efectos esperables en la costa por las ondas del tsunami, no así de las amplitudes máximas ni sectores más afectados.

Dentro de este contexto, el análisis preliminar de las amplitudes máximas registradas en los sistemas DART efectuado durante la emergencia para el evento de Tonga, apoyó los procesos de evaluación y monitoreo para la toma de decisiones del SNAH.

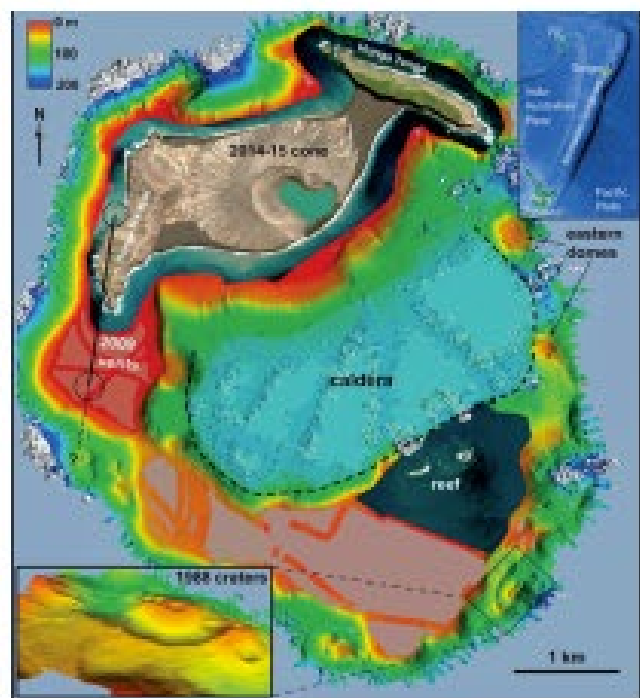


Figura 1. Mapa de las Islas Hunga Tonga-Hunga Ha'apai y sus alrededores de volcanes submarinos, se muestra la posición de la caldera del volcán volcánico sumergido. La línea negra representa el relieve de la caldera, anteriormente no documentada, que se encuentra entre 200 y 300 metros bajo la superficie. Los puntos de erupción preceden al inicio del tsunami de volcán con un tiempo variable, el evento brinda las ubicaciones de los epicentros de 1988 con mayor detalle. Los datos de calor fueron reportados por fundidos superiores a 200 metros, más allá del borde del cono. Fuente: Cronin et al., 2021.

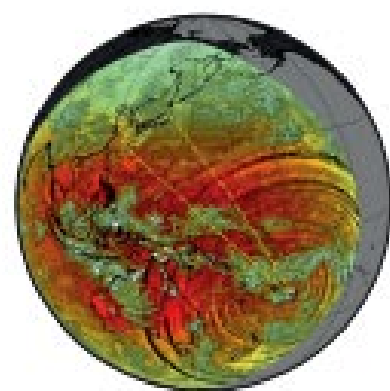


Figura 2. Análisis y propagación de las ondas Lamb generadas por la erupción volcánica mediante Imágenes satelitales. Fuente: Katsuki et al., 2022.

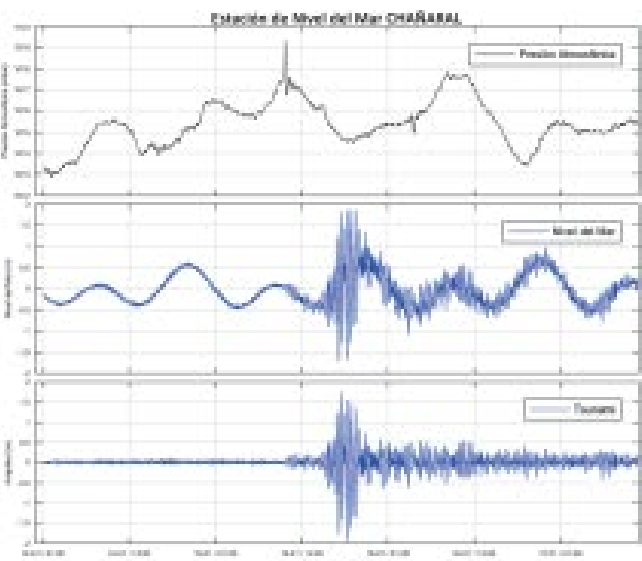


Figura 3. Registro de la variación de presión y fluctuaciones del nivel del mar, producto de la erupción volcánica del HTHH, en la estación de Chañaral (Fuente: SNAH, 2022).

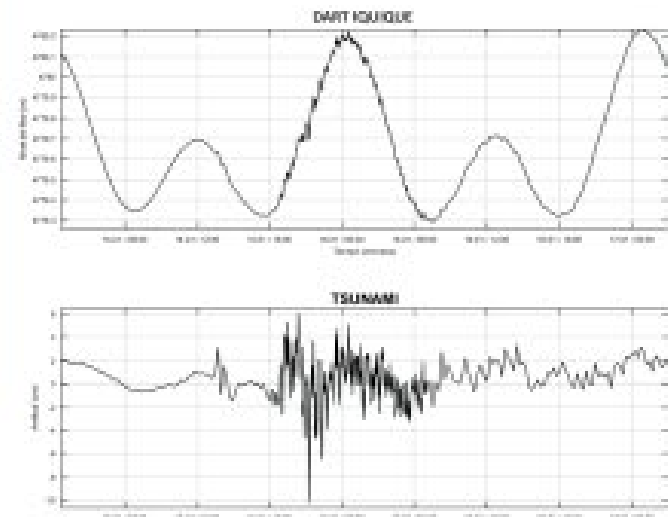


Figura 4. Registro de tsunami en bahías de nivel del mar (DART) de Iquique (Fuente: SNAH, 2022).

15 de enero de 2022 (Hora Local - UTC -3)

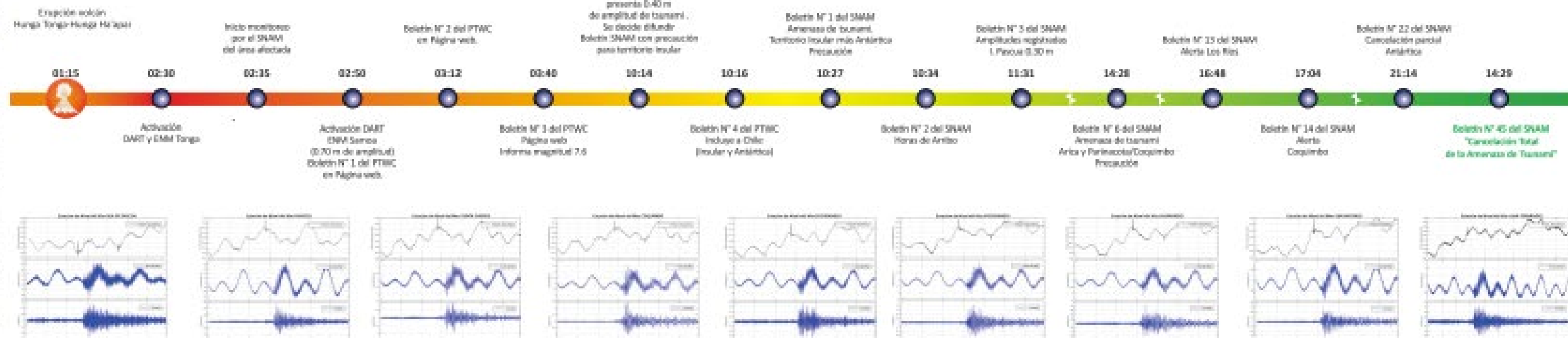


Tabla N° 1: Registro de tiempos de arribo de ondas de presión atmosférica, fluctuaciones del nivel del mar y tiempo de arribo pronosticados para el tsunami (Fuente: SNAH, 2022). Tabla con 5 columnas: Estación de Nivel del Mar, Amplitud máxima (m), Tiempo de arribo (min), Tiempo de arribo pronosticado (min), y Diferencia (min).

Tabla N° 1. Registro de tiempos de arribo de ondas de presión atmosférica, fluctuaciones del nivel del mar y tiempo de arribo pronosticados para el tsunami (Fuente: SNAH, 2022).

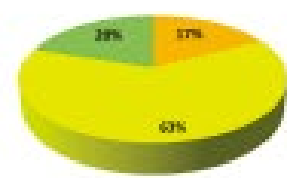


Figura 4. Distribución porcentual de registros con amplitudes máximas medidas en las bahías de nivel del mar (Fuente: SNAH, 2022).

Tabla N° 3: Registro de amplitudes máximas y periodos más energéticos medidos en las bahías de nivel del mar para el tsunami del 20 de enero de 2022 (Fuente: SNAH). Tabla con 5 columnas: Estación DART, Amplitud primer peak (m), Hora de arribo primer peak (H:M), Amplitud máxima (m), y Hora de arribo máxima (H:M).

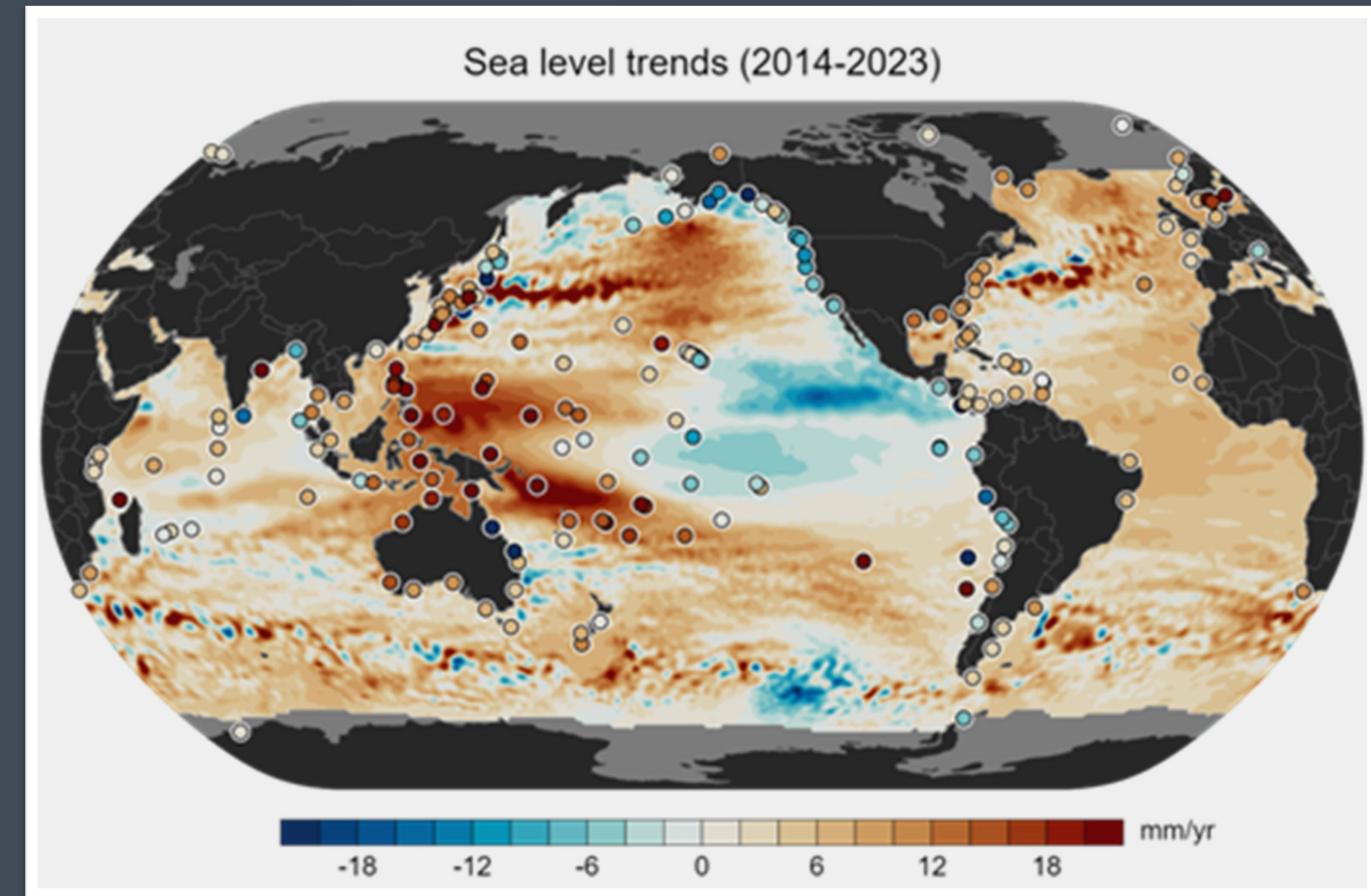
Tabla N° 3. Registro de amplitudes máximas y periodos más energéticos medidos en las bahías de nivel del mar para el tsunami del 20 de enero de 2022 (Fuente: SNAH).

Tabla N° 4: Registro de amplitudes máximas y tiempos de arribo medidos en los sistemas DART para el tsunami del 15 de enero de 2022 (Fuente: SNAH). Tabla con 5 columnas: Estación DART, Amplitud primer peak (m), Hora de arribo primer peak (H:M), Amplitud máxima (m), y Hora de arribo máxima (H:M).

Tabla N° 4. Registro de amplitudes máximas y tiempos de arribo medidos en los sistemas DART para el tsunami del 15 de enero de 2022 (Fuente: SNAH).

STATION	PSMSL ID	GLOSS ID	UHSLC ID
VALPARAISO	499	175	81
ANTOFAGASTA	510 / 511	174	80
TALCAHUANO	571		
ARICA	618		83
CALDERA	619		88
CALETA PERCY	994		
CORRAL	1057 / 2262		
PUERTO WILLIAMS	1122		287
EASTER ISLAND	1272 / 1462	137	22
JUAN FERNANDEZ	1644	176	21
SAN FELIX	1751	177	35
DIEGO RAMIREZ*	1785	180	
IQUIQUE	1963 / 2261		
PUNTA ARENAS	2263		
ANCUD	2264		
MELINKA	2265		
PUERTO MONTT		178	684
BASE PRAT		189	730

* NO ACTIVE



EASTER ISLAND-E

Station Information

Station ID: 1272
 Latitude: -27.154722
 Longitude: -109.472778
 GLOSS ID: 137
 Coastline code: 810
 Station code: 3
 Country: CHILE
 Time span of data: 1970 – 2020
 Completeness (%): 83
 Date of last update: 07 Apr 2021

Green Arrow: Current Station

Yellow Marker: Neighbouring RLR Station

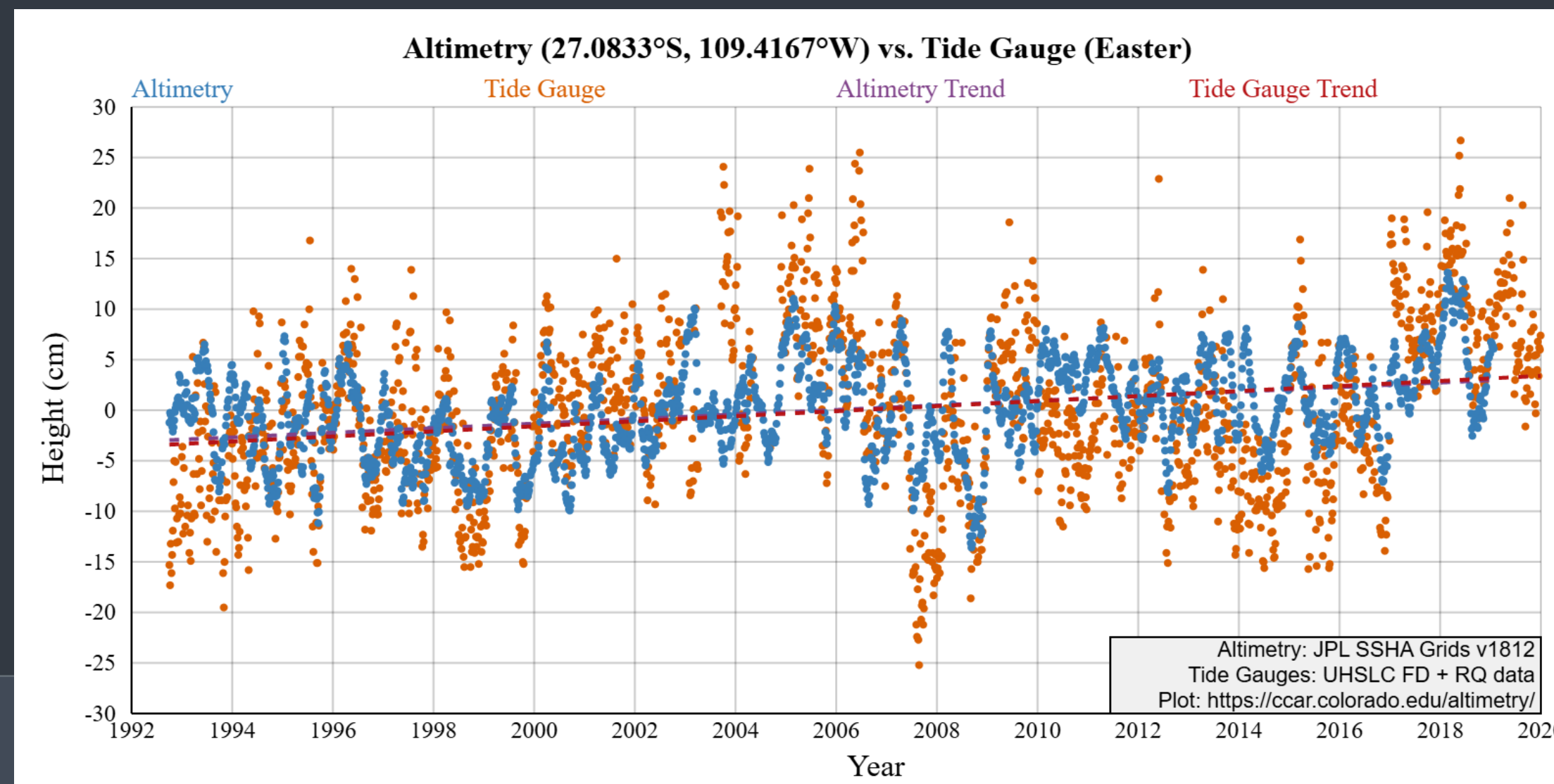
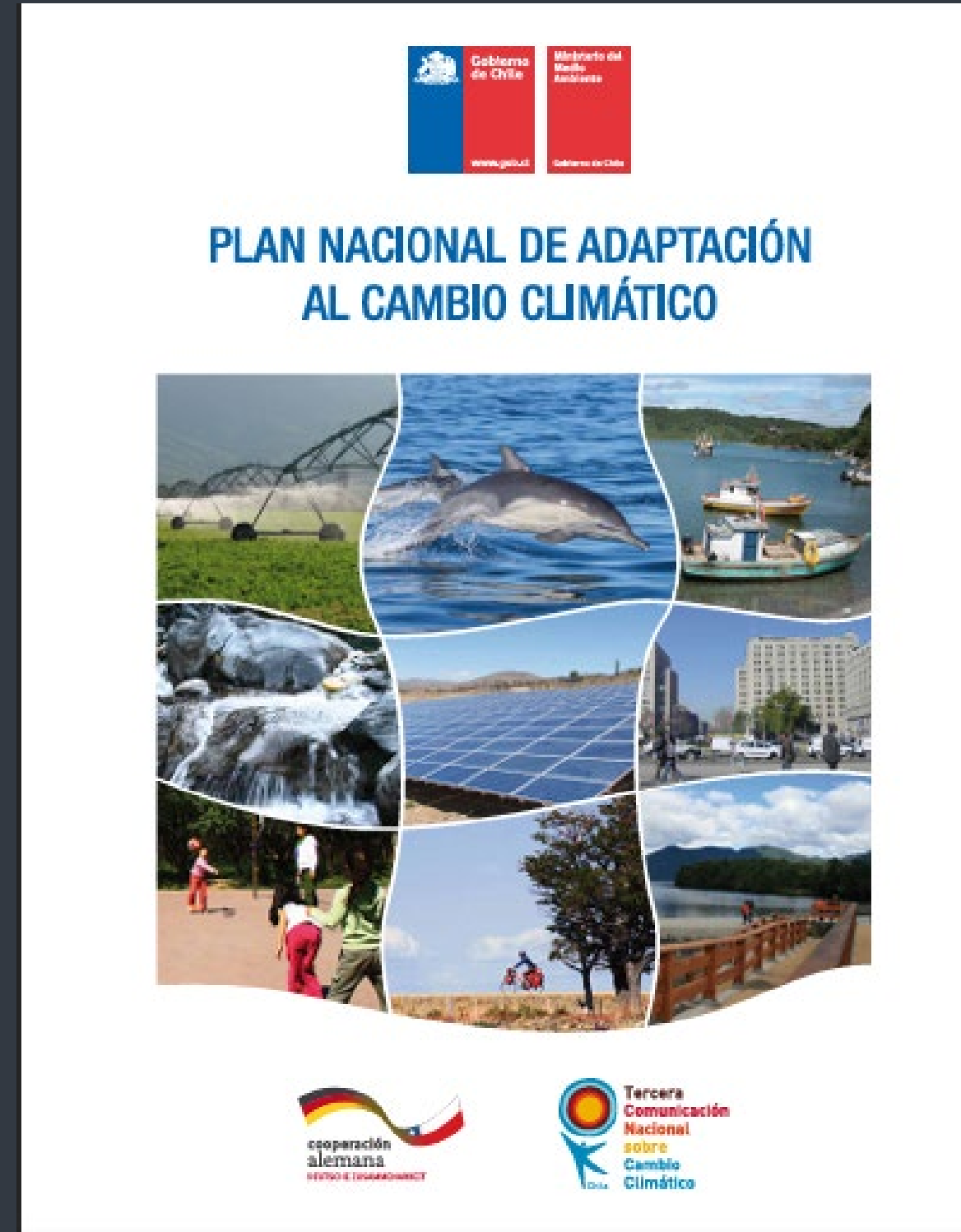
Red Marker: Neighbouring Metric Station

Sources: Esri, Garmin, HERE, NGA, USGS

Please note: In many cases, the station position in our database is accurate to only one minute. Thus, the tide gauge may not appear to be on the coast.

Tide Gauge Data

[Link to larger image of monthly data plot.](#)
[Download monthly mean sea level data.](#)



Project “Historical Sea Level Analysis of the Chilean Littoral” (MAR-CHILE) PUCV - SHOA



Historical Sea Level Analysis of the Chilean Littoral



Florencia García García (1), Víctor Sanz Fernández* (2), Pedro Apablaza Bastias (2), Tomás Berger Muñoz(2), Carolina Calvete Maldonado (3), Julio Castro Barraza (4)

(1) Alumno pregrado de Oceanografía, Escuela de Ciencias del Mar, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Universidad 330, Curauma, Valparaíso, Chile.

(2) Escuela de Ciencias del Mar, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Universidad 330, Curauma, Valparaíso, Chile.

(3) Centro Nacional de Datos Hidrográficos y Oceanográficos de Chile (CENDHOC). Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA).

(4) División Dinámica Costera, Departamento de Oceanografía. Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA).

*Author corresponding: victor.sanz@pucv.cl

INTRODUCTION

Mean sea level (MSL) has risen 20 cm since 1880, with projected increases between 30 and 122 cm by 2100 (UNDP,2020).In Chile about one million people live less than 10 meters above sea level, making the country highly vulnerable to these changes (Morales, Winkler & Herrera,2020).

Sea level rise causes coastal erosion, flooding and loss of territory affecting ecosystems and communities (Nicholls, 2002; Martínez et al., 2018).

This study examines the variability of the tide series allowing the detection of trends and anomalies, facilitating mitigation and adaptation strategies.

RESULTS

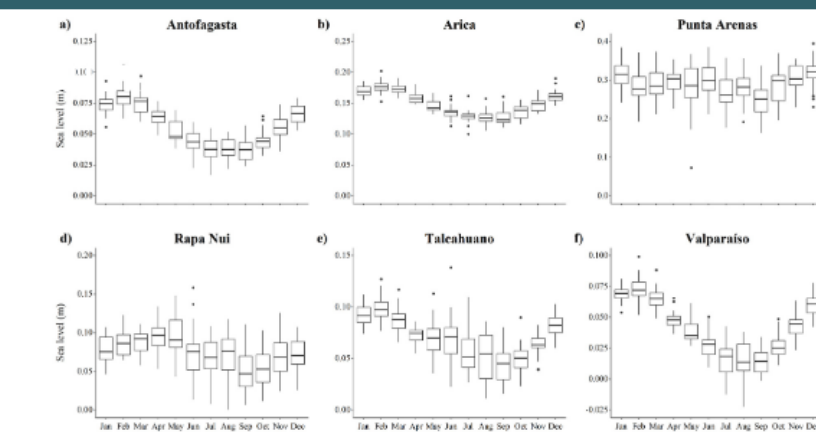


Figure 2. Seasonal variability of sea level by tide gauge stations (1999-2023). A cyclical pattern with fluctuations throughout the year is observed, showing changes in mean sea level in different months.

Table 1. Sea level characteristics by tide gauge stations, showing the presence and type of trend (linear or quadratic). Arrows indicate the main direction of the trend.

Variable	Trend
Antofagasta	Linear ↓
Valparaíso	quadratic ↗
Rapa Nui	Linear ↓
Talcahuano	Linear ↓
Punta Arenas	quadratic ↘
Arica	Linear ↑

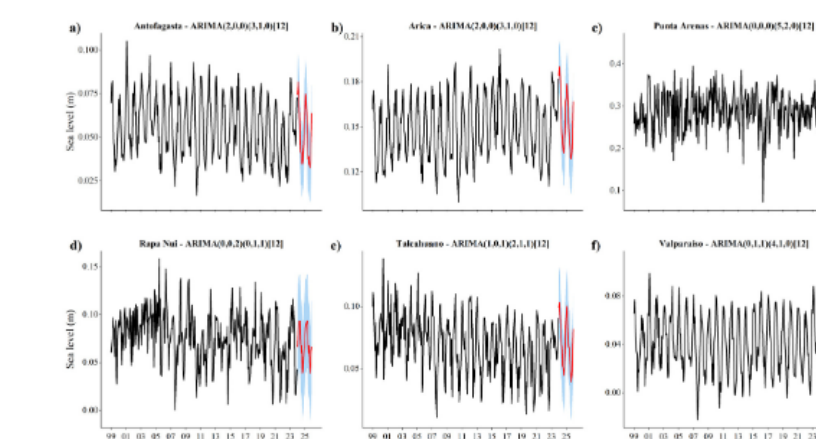


Figure 3. Future sea level projections by tide gauge stations. Observed data are represented in black while projections made by the ARIMA model in red associated with the uncertainty shaded in blue (95% confidence interval).

METHODOLOGY

Study area

The data used in this analysis were obtained from 6 sea level stations along the Chilean coastline (Figure 1) of the Chilean Navy Hydrographic and Oceanographic Service (SHOA) tide gauge network.

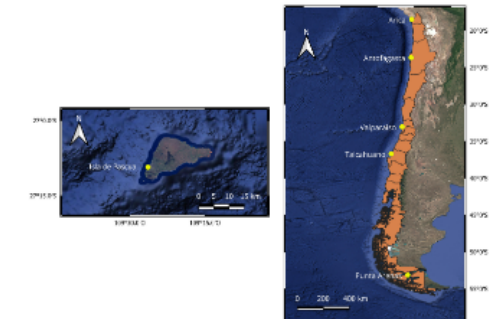


Figure 1. Locations of SHOA tide gauge stations. From North to South: Arica, Antofagasta, Rapa Nui (Easter Island), Valparaíso, Talcahuano and Punta Arenas.

Analysis techniques

The analysis of sea level time series was carried out in the Rstudio environment, where trends and seasonal characteristics were addressed through an exploratory analysis with linear and nonlinear approaches.

To model and project sea levels, ARIMA models were applied following the Box-Jenkins methodology (Box & Jenkins,1976) with the R forecast package (Hyndman & Khandakar,2018). Validation of the results was performed using error indices (RMSE, MAE, AICc) and fit metrics (R^2 , PI) to ensure the model with the best forward projection.

Missing data processing

Missing data from the sea level time series were processed according to the methodology of Emery & Thompson (2001). Two methodologies were used to handle gaps in the data: for gaps smaller than 6 hours, linear interpolation was used, while for gaps larger than 6 hours, harmonic analysis was used.

Sea level correction

The effect of the inverted barometer was corrected using sea level atmospheric pressure (SLP) data from the ERA5 reanalysis product, distributed by Climate Data Store, Copernicus (Hersbach et al., 2023). The methodology described by Vinogradova et al.(2015) was applied using the expression:

$$NM = NM - \frac{(SLP - P_{ref})}{(\rho_{air} * g)}$$

CONCLUSION

- Sea level seasonality:** Clear inter-monthly variability, possibly attributable to seasonal cycles of temperature, precipitation, atmospheric pressure and wind, reflecting upwelling patterns and local weather and climate conditions.
- Trends:** Presence of cyclical level changes, compatible with effects of climate change, weather events, decadal oscillations and seismic activity.
- ARIMA models and projection:** Short-term future trends with high variability indicating continuous increases or decreases, showing the need to develop adaptation and mitigation strategies for the Chilean coastline and the approval of the new Coastal Law.

REFERENCES

- Box, G. E., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M. (2015). Time series analysis: forecasting and control. John Wiley & Sons.
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Biavati, G., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., ... & Thépaut, J. N. (2023). ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS)(data set).
- Hyndman, R. J., & Khandakar, Y. (2008). Automatic time series forecasting: the forecast package for R. Journal of statistical software, 27, 1-22.
- Martínez, C., Contreras-López, M., Winkler, P., Hidalgo, H., Godoy, E., & Agredano, R. (2018). Coastal erosion in central Chile: A new hazard?. Ocean & coastal management, 156, 141-155.
- Morales, E., P. Winkler & M. Herrera (2020). Costas de Chile. Medio Natural, Cambio Climático, Ingeniería Oceánica, Gestión Costera. Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile. Valparaíso: 182 pp.
- Nicholls, R. J. (2002). Analysis of global impacts of sea-level rise: a case study of flooding. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 27(32-34), 1455-1466.
- Vinogradova, N. T., Ponte, R. M., Quinn, K. J., Tamsiea, M. E., Campin, J. M., & Davis, J. L. (2015). Dynamic adjustment of the ocean circulation to self-attraction and loading effects. Journal of Physical Oceanography, 45(3), 678-689.

ACKNOWLEDGMENTS

This research has been possible thanks to the project “Historical Analysis of Sea Level and Atmospheric Pressure of the Chilean Littoral (MAR-CHILE) (VCM 0724)” funded by the Dirección General de Vinculación con el Medio (PUCV) together with the Escuela de Ciencias del Mar (PUCV), in collaboration with the Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA).

Eighteenth Session of the Group of Experts for the Global Sea Level Observing System (GLOSS)

Chilean Report

Julio Castro Barraza

Oceanography Department

Hydrographic and Oceanographic Service of the Chilean Navy (SHOA)



PATRIOTISM

Honor - Loyalty - Bravery - Integrity - Duty