



*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos.*
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



ANÁLISIS FORENSE DE EVENTOS DE INUNDACIÓN COSTERA EN NUEVA ZELANDA, DESDE 1900 A 2010.

Trabajo realizado por:
Javier Rodríguez Seoane

Dirigido:
Sonia Castanedo Bárcena
Ana Cristina Rueda Zamora

Titulación:
**Máster Universitario en
Ingeniería de Caminos, Canales y
Puertos**

Santander, Febrero de 2018

TRABAJO FINAL DE MASTER



ANÁLISIS FORENSE DE EVENTOS EN INUNDACIÓN COSTERA EN NUEVA ZELANDA DESDE 1900 A 2010.

Trabajo realizado por:

Javier Rodríguez Seoane

Dirigido por:

Sonia Castanedo Bárcena

Ana Cristina Rueda Zamora

Titulación:

Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

Santander, febrero de 2018

Palabras clave:

Downscaling estadístico, tipos de tiempo, inundación costera, Nueva Zelanda, cota de inundación, marea astronómica, marea meteorológica, set-up del oleaje, ciclones extratropicales.

Resumen:

Las zonas costeras en todo el mundo son territorios que, en términos generales, atraen a mucha población. Los beneficios de este valor natural van desde el económico, por todas aquellas actividades desarrolladas en la costa, hasta el valor emocional que le otorgan los miembros de la sociedad que disfrutan de la vida junto al mar, ya sea de forma esporádica o estableciendo su hogar junto a la costa. La tendencia de población mundial es creciente según múltiples estudios, por lo que cabe pensar que estas zonas costeras sufrirán la misma tendencia.

Un aumento de población junto a la costa, incrementa el riesgo de sufrir daños por los estados del mar excepcionales. A esto hay que sumar las predicciones sobre el cambio climático y la subida del nivel del mar, que hace prever un aumento de las inundaciones costeras, tanto de carácter permanente, como provocadas por eventos tormentosos puntuales.



Es este valor económico y social que tiene la costa para las comunidades, lo que fomenta el estudio de los fenómenos costeros, en un intento de adaptarnos y emplazar nuestros bienes en esta franja litoral con el menor riesgo.

En este Trabajo Fin de Máster nos centramos en la región de Nueva Zelanda. Su situación geográfica (en el suroeste del océano Pacífico), la morfología de sus costas, y la distribución del territorio (país insular formado por dos islas grandes y otras muchas más pequeñas), lo convierten en un país afectado por condiciones atmosféricas y estados de mar únicos.

Con este estudio se pretende analizar los eventos de inundación costera que se han producido en Nueva Zelanda desde 1900 a 2010 como parte de una metodología que permita predecir futuros eventos, siendo con ello capaces de mejorar la planificación costera y disminuir el riesgo para la población. Para ello se ha aplicado una metodología para reconstruir el nivel total de agua (o cota de inundación), para los eventos registrados en el siglo XX. Como complemento, se ha utilizado un análisis basado en tipos de tiempo, que permite identificar patrones sinópticos y estados energéticos comunes en las inundaciones, con el fin de profundizar en el entendimiento de las inundaciones en la región de Nueva Zelanda.

El cálculo del nivel total del agua se realiza sumando tres componentes. La marea astronómica puede obtenerse de diferentes formas, aunque en este estudio se ha empleado el análisis armónico, al disponer de una serie de mareógrafos con registros de nivel del mar en 19 puntos de la costa neozelandesa. La marea meteorológica se obtiene mediante downscaling estadístico. Esta técnica consiste en establecer una relación estadística entre los agentes atmosféricos que fuerzan el fenómeno (que se denominan predictores) y una base de datos de marea meteorológica a escala global (predictando). La tercera componente, el set-up del oleaje, se calcula a partir de la altura de ola significativa que a su vez se obtiene también con las técnicas de downscaling estadístico.

El análisis climático se realiza con una clasificación de tipos de tiempo. Este tipo de clasificación es también un tipo de downscaling estadístico. Estos tipos de tiempo son clústers de datos, los cuales se clasifican en función de situaciones sinópticas. Al asociar cada día de la serie a un grupo por sus condiciones sinópticas, es posible identificar en qué días es más probable que existan estados de mar energéticos para determinados sectores o fachadas de las islas.

Esta información está complementada con una base de datos de eventos de inundación en Nueva Zelanda, obtenidos a partir de diversas hemerotecas (NIWA, New Zealand Herald, National Library of New Zealand, etc.). Su finalidad es la de comprobar que los picos del nivel total de agua obtenidos en la



reconstrucción, se corresponden con situaciones que hayan resultado en inundaciones costeras, y así evaluar la pericia para predecir de la metodología desarrollada. Además, también permite asociar los eventos de inundación a diferentes patrones sinópticos (los tipos de tiempo), buscando situaciones comunes en los eventos (estados de mar energéticos en determinadas fachadas, ubicación de borrascas y anticiclones, etc.).

Si bien estaba previsto inicialmente hacer el análisis incluyendo todo el siglo XX, las heterogeneidades presentes en las probabilidades de ocurrencia de los tipos de tiempo halladas por Rueda et al. (en revisión) en las primeras décadas de siglo, planteó la posibilidad de tener que realizar el análisis a partir de los años 50 – 60. Confirmadas estas heterogeneidades (no sólo en las probabilidades de los grupos, sino en el comportamiento de las variables reconstruidas estadísticamente), se optó por centrar este trabajo fin de máster en los eventos con fecha posterior a 1960.

Pese a ello, y que esto reduce significativamente el registro de eventos de inundación, el estudio aporta datos concluyentes sobre la capacidad de estas dos metodologías (tanto por separado, como conjuntamente) para alcanzar los objetivos propuestos. El resumen de los resultados que nos permiten obtener esta conclusión se presenta a continuación:

Se ha podido demostrar que en la mayoría de los casos (salvo un par de excepciones que se detallan en el apartado correspondiente), las localizaciones inundadas en una determinada fecha poseen un nivel energético que se corresponde con los niveles medios del clúster al que han sido asociados. A su vez, los tipos de tiempo asociados a un mayor número de eventos (WT1, WT4, WT5, WT16) se corresponden con patrones atmosféricos, de oleaje o marea meteorológica, que permiten explicar las inundaciones en muchos casos (debe tenerse en cuenta el efecto de las mareas vivas, no contemplado en los tipos de tiempo, y que como se comprueba en el apartado 5.2 y los anejos, tienen una importancia grande en muchos de los eventos registrados).

Por otro lado, el análisis de los 26 eventos posteriores a 1960 mediante la reconstrucción de la cota de inundación, ha conseguido relacionar todas las inundaciones con picos en dicha cota, o en el nivel de marea astronómica, marea meteorológica u oleaje. Gracias a esta relación, se puede plantear este índice como herramienta para predecir eventos de inundación con cierta antelación, dado que la marea astronómica se conoce gracias al análisis armónico, y la marea meteorológica y el set-up del oleaje pueden obtenerse con downscaling estadístico, a partir de campos de presión obtenidos de modelos atmosféricos que dan predicciones a 15 días.



FORENSIC ANALYSIS OF COASTAL FLOODING EVENTS IN NEW ZEALAND, FROM 1900 TO 2010.

Project made by:

Javier Rodríguez Seoane

Directed by:

Sonia Castanedo Bárcena

Ana Cristina Rueda Zamora

University degree:

Master in Civil Engineering

Santander, February 2018

Key words:

Statistical downscaling, weather types, coastal flooding, New Zealand, Total Water Level (TWL), astronomical tide, storm surge, wave set-up, extratropical cyclones.

Abstract:

Nowadays, coastal regions around the world are heavily populated. Many economical activities are developed close to the shore. Moreover, tourism serves as the main source of income for many coastal countries. The benefits of inhabiting these places are both economical and emotional.

Since the world population is currently growing, it's expected that the number of people living on these coastal regions will also grow. This situation increases the risk of incurring losses and suffering damages for exceptional states of the sea. In addition to this, coastal inundations could happen much more frequently and they could be much more intense due to the changing climate and the sea level rise. This situation encourages the study of the coastal phenomena, in an attempt of locating our goods in this coastal area with minimal risk.

In this Final Master Project we focused on New Zealand's situation, because of its interesting geographic location (in the southwest Pacific) and its coastal morphology, that make this country a very interesting place to study.



We analyse coastal flooding events in New Zealand, from 1900 to 2010, as a part of the methodology which is focused on the prediction of future events. The aim of this methodology is to improve coastal planning and reduce disaster risk for coastal settlements. With that purpose, we have obtained the total water level (TWL) for those recorded events in the period analysed. We have also made an analysis based on weather types (WT), which allows us to identify common atmospheric and sea-state patterns in the coastal flooding events.

The total water level is calculated by the linear summation of the main three sea level components, astronomical tide, storm surge and wave set-up. Astronomical tide is calculated by harmonic analysis on 19 tide gauges around New Zealand. The storm surge and wave parameters are obtained through statistical downscaling. This methodology estimates surge and wave levels (defined as predictands) from atmospheric conditions (defined as predictor), based on a statistical relationship.

The weather type analysis is one of the statistical downscaling techniques. These weather types are data clusters. The atmospheric data are put into these groups according to their synoptic conditions. This allows us to identify which days are associated to energetic conditions in some facades of the country.

All this information is complemented by a "Coastal flooding events in New Zealand database", developed based on newspapers and government webpages information. This task has been made to prove that level peaks in the TWL index, are correlated with recorded flooding events. Besides, this database enables us to easily relate the recorded coastal floodings to different synoptic patterns, looking for common situations associated with this events.

Although the original objective was to analyse all the events in the 20th century, some inhomogeneities were found throughout the first decades of the century on the 20CRv2 analysis (Gibson et al. (2016), Rueda et al. (under review)). This inhomogeneities were also clearly detected in our analysis, so we decided to limit the study from 1960 to nowadays.

Consequently, there was a significant reduction of the flooding events analysed. However, we have been able to reach conclusive results that are summarized in the next two paragraphs:

In the majority of cases, flooded locations are caused by energetic sea-states which relates to the synoptic prototypes defined by the weather types. We can also establish which weather types are associated to a bigger amount of events, such as WT1, WT4, WT5 and WT16. The study reveals the large influence of astronomical tide to cause coastal flooding events, in combination with atmospheric forcings.

The analysis using the statistical reconstructed total water levels, has shown a good relation between simulated peak levels and the recorded flooding events. Therefore, this tool could be used to predict coastal flooding events in New Zealand in the future.



ANÁLISIS FORENSE DE EVENTOS DE INUNDACIÓN COSTERA EN NUEVA ZELANDA DESDE 1900 A 2010
TRABAJO FIN DE MÁSTER – MÁSTER EN INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS





CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Situación global.....	1
1.2. Motivación. Situación en Nueva Zelanda.....	3
2. OBJETIVO DEL TRABAJO	5
3. METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE PARÁMETROS.	6
3.1. Cálculo del nivel total de agua (TWL).....	8
3.1.1. Marea astronómica	9
3.1.1.1. Datos.....	9
3.1.1.2. Metodología.....	13
3.1.2. Marea meteorológica.....	16
3.1.2.1. Datos.....	16
3.1.2.2. Metodología.....	18
3.1.3. Oleaje.....	20
3.1.3.1. Datos.....	20
3.1.3.2. Metodología.....	21
3.2. Análisis climático basado en tipos de tiempo (WT).....	24
4. EVENTOS DE INUNDACIÓN COSTERA EN NUEVA ZELANDA.....	27
5. APLICACIÓN AL TRABAJO. RESULTADOS	57
5.1. WTs: Condiciones atmosféricas e inundación.....	57
5.2. Cálculo de TWL. Correlación con eventos de inundación.....	73
6. CONCLUSIONES.....	82
7. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA.....	84
Referencias.....	84
Bibliografía	85
8. AGRADECIMIENTOS.....	86



ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Ciclos de PDO desde 1900 a 2012.</i>	1
<i>Figura 2: Máximo nivel de agua durante la marea más alta del año en Virginia Key, Florida. (Fuente: NOAA – Nuisance Flooding)</i>	2
<i>Figura 3: Previsión de crecimiento de la población de Nueva Zelanda para 2041 (Fuente "Past, present and future flooding in New Zealand: trends and responses (White, 2015)).</i>	4
<i>Figura 4: Diagrama de flujo del proceso de análisis.</i>	7
<i>Figura 5: Registro del nivel del mar en Anawhata</i>	10
<i>Figura 6: Tramo de registro con ausencia de datos</i>	11
<i>Figura 7: Mapa de la ubicación de los mareógrafos</i>	12
<i>Figura 8: Área de definición del predictor</i>	19
<i>Figura 9: Localizaciones en las 6 fachadas de Nueva Zelanda (Datos de Rueda et al., (en revisión))</i>	22
<i>Figura 10: Correlación entre oleaje reconstruido con downscaling estadístico y la base de datos IFREMER</i>	23
<i>Figura 11: De izquierda a derecha se representan los mapas sinópticos de SLP, Hs, Tm y el percentil 99,5% de la marea meteorológica. (Fuente: Rueda et. al; (en revisión))</i>	25
<i>Figura 12: Probabilidades de ocurrencia de los WT anualmente, para un periodo de 1900 a 2010 con los datos reconstruidos del 20CR (Fuente: Rueda et. al, (en revisión))</i>	26
<i>Figura 13: Reconstrucción de altura de ola significativa en Dargaville. Se aprecia un comportamiento heterogéneo, acusándose la diferencia en las décadas anteriores a 1950</i>	26
<i>Figura 14: Página del Otago Witness. Registro del evento del 15-02-1918 en Opotiki, AU.</i>	29
<i>Figura 15: Localizaciones que sufrieron inundación costera en el intervalo 1900 - 2013</i>	31
<i>Figura 16: WTs asociados a eventos de inundación (1900 - 2010)</i>	58
<i>Figura 17: WTs asociados a eventos de inundación (1960 - 2010)</i>	58
<i>Figura 18: Situaciones de inundación asociadas al WT1</i>	62
<i>Figura 19: Situaciones de inundación asociadas al WT2</i>	62
<i>Figura 20: Situaciones de inundación asociadas al WT3</i>	63
<i>Figura 21: Situaciones de inundación asociadas al WT4</i>	63
<i>Figura 22: Situaciones de inundación asociadas al WT5</i>	64
<i>Figura 23: Situaciones de inundación asociadas al WT7</i>	64
<i>Figura 24: Situaciones de inundación asociadas al WT8</i>	65
<i>Figura 25: Situaciones de inundación asociados al WT9</i>	65
<i>Figura 26: Situaciones de inundación asociadas al WT12</i>	66
<i>Figura 27: Situaciones de inundación asociadas al WT15</i>	66
<i>Figura 28: Situaciones de inundación asociadas al WT16</i>	67
<i>Figura 29: Marea meteorológica en Nelson - 11/02/2009</i>	68
<i>Figura 30: Mareas vivas en Nelson - 11/02/2009</i>	68
<i>Figura 31: Aumento de altura de ola por acción del viento en Mission Bay - 16/05/1972</i>	69
<i>Figura 32: Ciclones asociados a cada WT</i>	70
<i>Figura 33: Principales eventos de inundación en Nueva Zelanda por tormentas costeras (Fuente: NIWA - Coastal Storm Inundations)</i>	74



ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Características de los mareógrafos de NZ</i>	13
<i>Tabla 2: Armónicos principales</i>	15
<i>Tabla 3: Sobremareas y mareas compuestas</i>	15
<i>Tabla 4: Altitud media por regiones e islas en Nueva Zelanda</i>	27
<i>Tabla 5: Principales hemerotecas utilizadas en la recopilación de datos.</i>	28
<i>Tabla 6: Eventos de inundación registrados en Nueva Zelanda desde 1900 a 2010</i>	32
<i>Tabla 7: Agrupación de eventos por tormentas (1960 - 2010)</i>	59



1. INTRODUCCIÓN

1.1. Situación global

Las zonas terrestres adyacentes a la costa están densamente pobladas, dado que no solo muchas de las grandes ciudades del mundo se sitúan en ella, sino que son fuente de importantes actividades económicas como la pesca, el turismo o el comercio marítimo. A pesar de que cada país tienen sus propias tendencias de crecimiento, parece claro que hoy en día vive más gente en la costa que hace 50 años (Bowen et al., 2006), lo que aumenta la exposición de esta población a los desastres naturales, tales como simples tormentas costeras o tsunamis. Es por ello por lo que se antoja cada vez más importante el entendimiento de los fenómenos que ponen en riesgo estas zonas.

Las zonas costeras sufren eventos de inundación periódicos debido al oleaje y marea meteorológica, conducidos por la fuerza del viento y los sistemas de presión atmosférica, así como por mareas más elevadas de lo normal durante determinadas fases y posiciones de la Luna y el Sol con respecto a la Tierra. No hay que olvidar la contribución de ciclos climáticos como 'El Niño – La Niña' (fases opuestas del fenómeno El Niño – Southern Oscillation (ENSO)) y la Oscilación Decenal del Pacífico (PDO), que reflejan los cambios cíclicos en la temperatura del océano, lo que también puede asociarse a cambios en los estados del mar, en la fuerza y dirección del viento, la intensidad y localización de las lluvias, etc. Estos cambios se producen cada cierto tiempo, que puede llegar a varias décadas (en el caso de los cambios del índice PDO) (ver figura 1). Los ciclos conducen a periodos de clima marítimo relativamente calmado en determinados puntos del globo (como el Pacífico Este entre 1946 y 1978, aproximadamente), en los que se produce una proliferación de edificaciones y actividades en la costa, y periodos de mayor frecuencia e intensidad de eventos tormentosos, en los que estas edificaciones y actividades sufren daños de mayor o menor magnitud que deben ser reparados (en el Pacífico Este desde finales 1978 a 1999, aproximadamente) (Griggs, 2015).

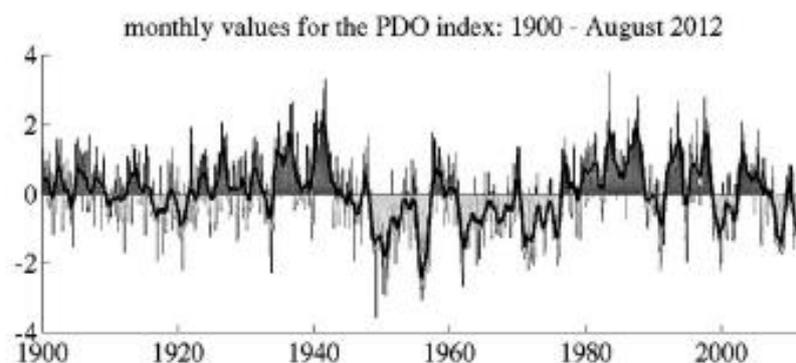


Figura 1: Ciclos de PDO desde 1900 a 2012.



A lo largo de la historia, las inundaciones costeras han sido asociadas a eventos extremos, resultado de la combinación de grandes olas, marea meteorológica y marea astronómica. Sin embargo, el cambio climático está provocando un aumento en el nivel del mar, que tiene también un papel determinante en las inundaciones hoy en día. Esto se puede comprobar si atendemos a estudios realizados sobre la variación del nivel del mar con el paso de los años. La *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)* del Departamento de Comercio de EEUU, midió el máximo nivel de agua alcanzada durante la marea más alta del año (mareas vivas en el perigeo de la luna) en Virginia Key, Florida, desde 1994 a 2017 (figura 2).

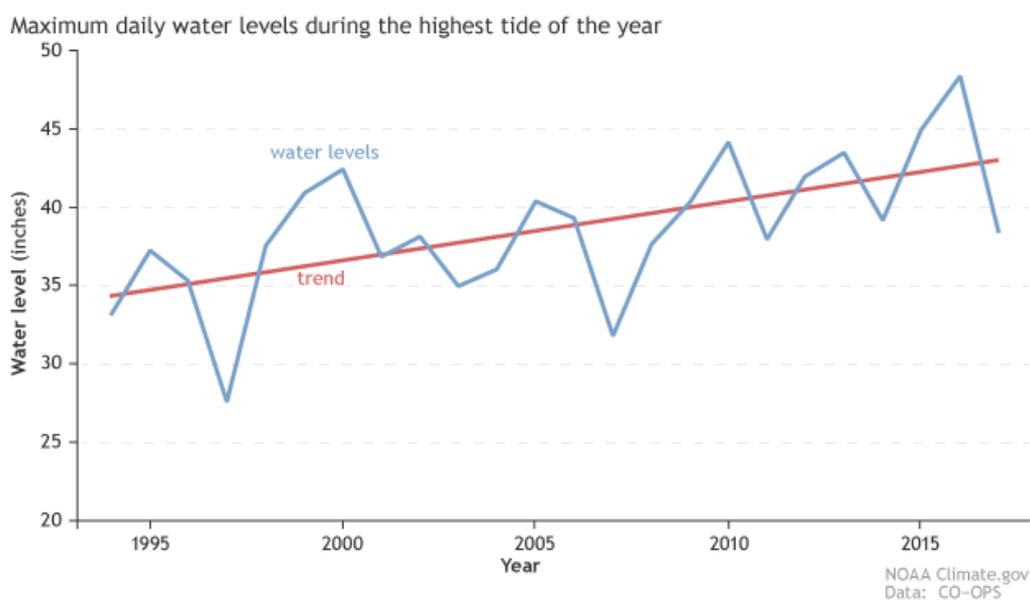


Figura 2: Máximo nivel de agua durante la marea más alta del año en Virginia Key, Florida. (Fuente: NOAA – Nuisance Flooding)

Como puede apreciarse, el nivel del agua durante las mareas vivas ha seguido una tendencia ascendente en esa ubicación durante los últimos 25 años. Dado que los mecanismos que generan las mareas son los mismos (atracción gravitacional de Sol y Luna), este aumento puede asociarse al aumento del nivel del mar.

Si bien este tipo de inundaciones son de poca entidad y causan pocos daños a día de hoy, hay que tener en cuenta las posibles consecuencias futuras. Y es que según la NOAA, en 1950 se requerían fuertes tormentas o huracanes para que se produjeran inundaciones durante la marea alta, mientras que hoy en día las inundaciones son mucho más frecuentes, y pueden ser causadas simplemente por estas mareas vivas (Sweet et al., 2014).

Localizar las zonas que son susceptibles de sufrir este tipo de inundación por marea astronómica alta (nuisance flooding) es sencillo, dado que se puede



averiguar que regiones son susceptibles de sufrirla con la ayuda de modelos digitales del terreno de alta resolución. Sin embargo, predecir los efectos que tiene el aumento del nivel del mar en eventos extremos de inundación es más complejo. Esto se debe a la naturaleza impredecible de algunas tormentas, las interacciones no lineales entre algunos procesos como las corrientes y las mareas, y variaciones en geomorfología costera (batimetría, topografía, sedimentos...). En cuanto a las características de las tormentas, se mantiene que la subida del nivel del mar también afecta a la frecuencia, magnitud y duración de las inundaciones costeras (Vitousek et al., 2017).

Todo esto genera un eterno debate sobre la necesidad de retrasar las comunidades costeras hacia el interior, que si bien parece lógica desde el punto de vista de las inundaciones y la subida del nivel del mar, es muy discutida si se considera el impacto económico y emocional de abandonar la costa, al ser este lugar el centro de las actividades socioeconómicas mencionadas al principio de este apartado (Griggs, 2015). A esta consideración debe añadirse la restricción de espacio que presentan algunos países como Nueva Zelanda, en los cuales es muy difícil realizar este desplazamiento de las comunidades.

Resulta ser necesario aprender a vivir con el riesgo de inundación y ser capaz de reducirlo, lo que requiere de conocimiento, compromiso y colaboración entre todos los estamentos de la sociedad, desde las empresas afectadas hasta las organizaciones públicas, pasando por la propia población o el sector financiero. Lógicamente, ante eventos de este calibre deben disponerse unas medidas adecuadas en el ámbito de la ingeniería así como en la planificación de infraestructuras y ciudades.

1.2. Motivación. Situación en Nueva Zelanda

Más allá de la situación general existente en el mundo, en este trabajo se desarrolla un estudio para Nueva Zelanda. Se trata de una región que históricamente ha sido golpeada severamente por desastres marítimos, tales como el hundimiento del ferry *Wahine* en 1968 o la tormenta de febrero de 1936 (la más destructiva del siglo XX en Nueva Zelanda), que causó un daño total de \$800M en la isla norte (NIWA – Coastal hazards). Más allá de estos eventos, marcados en la historia por su severidad, se encuentran situaciones de inundación que, en menor o mayor medida, han mantenido en alerta a los neozelandeses a lo largo de la historia. Y es a lo largo de estos últimos 50 años, cuando se ha producido una fuerte migración hacia la costa, con el desarrollo del turismo y otras actividades económicas que se benefician de los valores naturales que ofrecen las costas neozelandesas (Bryan et al., 2008).

Este país está en una situación geográfica muy interesante en lo que a climatología se refiere. Se trata de una región afectada por ciclones tropicales,



y se prevé que estos ciclones sean más intensos en el futuro, trayendo fuertes lluvias, vientos huracanados, un severo oleaje y una marea meteorológica mayor de lo común (White, 2015). Además, el previsible crecimiento de la población con los años (Figura 3) hará aumentar el riesgo (mayor población e infraestructura expuestas). La mayoría de esa población se centra en la isla norte, donde se ubican las regiones más pobladas (Auckland, Wellington, Waikato o la Bahía de Plenty), por lo que cabe esperar que la mayor parte de eventos registrados tengan lugar en esta isla, donde la afección a personas, infraestructuras o terreno tiene un mayor impacto socioeconómico. Aportando datos estadísticos, y con la labor de investigación y búsqueda de eventos de inundación costera realizado en este trabajo (y cuya utilidad se explicará en próximos apartados), se ha determinado que aproximadamente un 81% de los 102 eventos registrados de 1900 a 2010, se sitúan en la isla norte.

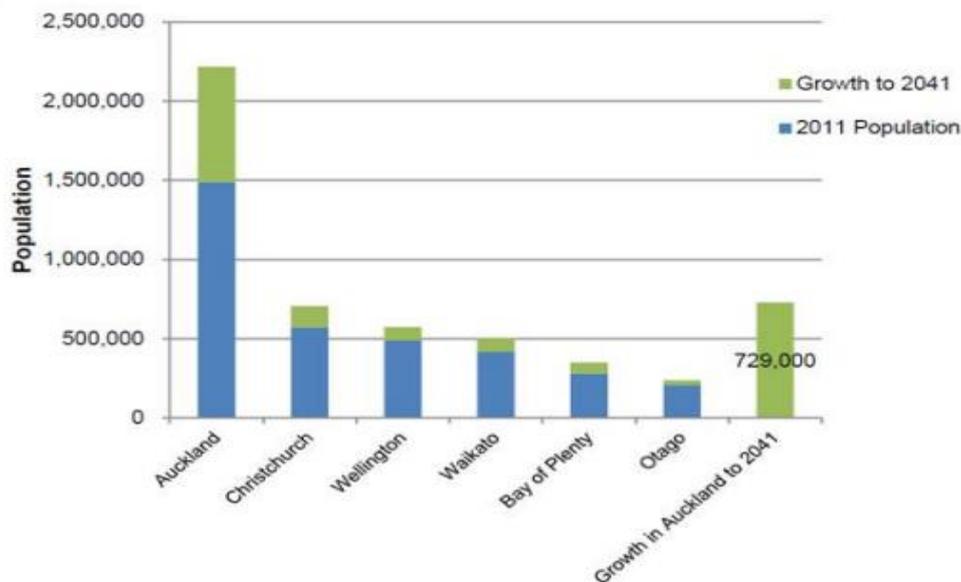


Figura 3: Previsión de crecimiento de la población de Nueva Zelanda para 2041 (Fuente "Past, present and future flooding in New Zealand: trends and responses (White, 2015)).

Las dos grandes islas que conforman Nueva Zelanda (y también las de menor tamaño que tienen pocos miles de habitantes), están situadas entre el Océano Pacífico y el Mar de Tasmania, viéndose afectadas por diversos sistemas de oleajes combinados de mar de viento (sea) y mar de fondo (swell), siendo situaciones oceanográficas complejas (Rueda et al., (en revisión)). Es común también que aparte de por las condiciones marítimas, las inundaciones se vean agravadas si se obstruye la desembocadura de los ríos neozelandeses. De esta forma, a la inundación por mar se le superpone la inundación por crecida del río, empeorando las consecuencias (Coastal storm inundation, NIWA).



Además, tal y como se comentó en el anterior apartado, los ciclos climáticos como El Niño – La Niña (ENSO) y la Oscilación Decenal del Pacífico (PDO), afectan al nivel del mar, al oleaje, y por tanto a la posibilidad de inundaciones en todo el país. Bryan et al. (2008) realizó un estudio de este aspecto, encontrando patrones de crecimiento y erosión de las playas en función de estos cambios cíclicos. Esto establece unos periodos en los que el estado de mar facilitará las inundaciones en una determinada fachada, mientras que la opuesta experimenta un clima calmado, menos propenso a la inundación.

La importancia y magnitud de los eventos de inundación en Nueva Zelanda se traducen en una sociedad cada vez más preocupada por los posibles efectos de la subida del nivel del océano con el cambio climático, pues afecta en gran medida al desarrollo y bienestar de un país insular, extremadamente vulnerable a los estados del mar (tal y como se aprecia en el apartado 4 de este documento). Esta preocupación se aprecia en las páginas web oficiales de las regiones más grandes de Nueva Zelanda (Auckland, Waikato, Wellington y Canterbury). En todas ellas, se recogen especificaciones sobre las zonas con mayor riesgo de inundación, medidas preventivas, medidas para reducir los daños, planes de emergencia, de gestión, etc. Algunas de estas especificaciones se encuentran en: ecan.govt.nz (Región de Canterbury); waikatoregion.govt.nz (Región de Waikato); aucklandcouncil.govt.nz (Región de Auckland); gw.govt.nz (Región de Wellington).

Se puede establecer que el aumento del nivel del mar y el posible aumento en la frecuencia e intensidad de las tormentas, por un lado, y la expansión de ciudades con un aumento de población y desarrollo industrial por el otro, están convirtiendo las regiones costeras en zonas con todavía más riesgo, siendo necesario un estudio más completo y que permita valorar situaciones futuras. Para lograr este objetivo, se torna imprescindible conocer el pasado. Ubicar espacial y temporalmente los eventos de inundación, así como determinar las causas tipo que las provocan. Todo este conocimiento permite realizar una mejor estimación de los riesgos en el futuro. Por este motivo es tan necesario entender la variabilidad del clima marítimo y los parámetros por los que se produce dicha variación. Entenderlos permitirá llevar a cabo una mejor planificación costera, minimizando la gravedad de las consecuencias socioeconómicas, y permitiendo una mayor calidad de vida de la población, al no sufrir tantos daños materiales y humanos.

2. OBJETIVO DEL TRABAJO

El objetivo general del presente Trabajo Fin de Máster es realizar un análisis forense de eventos de inundación en la costa de Nueva Zelanda, desde 1900 hasta la actualidad. Se pretende que este análisis se pueda emplear para



obtener perspectiva y conocimiento del riesgo de inundación de la costa de estudio, a fin de poder desarrollar una planificación adecuada.

Para llevar a cabo este objetivo general, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- ✚ Búsqueda de eventos de inundación costera registrados en Nueva Zelanda. Para ello, se han revisado las principales fuentes de datos y hemerotecas: página web de NIWA (National Institute of Water and Atmospheric Research), periódicos locales, Biblioteca Nacional de Nueva Zelanda. Serán detallados en el apartado 4.
- ✚ Obtención de la cota de inundación o nivel total del agua (TWL por las siglas en inglés; “*Total Water Level*”) en la costa de Nueva Zelanda, a partir de las componentes del nivel del mar de mayor relevancia: marea meteorológica (storm surge), marea astronómica y set-up del oleaje, definidas con la metodología explicada en el próximo capítulo.
- ✚ Análisis climático mediante el uso de clusters de datos (Weather Types) y su aplicación en el análisis forense de los eventos registrados. Este análisis puede servir como complemento al del TWL, así como para ayudar en el registro de eventos, y facilitar un resultado más visual de los mismos, al establecer zonas afectadas diferenciadas en función de unas condiciones sinópticas similares.
- ✚ Correlación de los eventos de inundación costera registrados en Nueva Zelanda con picos en el TWL y con los Weather Types establecidos.

3. METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE PARÁMETROS.

A continuación se muestra el diagrama de flujo con la metodología propuesta para conseguir los objetivos definidos en el apartado anterior (Figura 4). Para llegar a hacer el análisis forense que se pretende, es fundamental tener definido el Nivel Total de Agua (TWL), a partir de las tres componentes ya mencionadas en el apartado anterior. Obtener este nivel permite comparar y buscar correlaciones con eventos registrados en las principales hemerotecas disponibles en Nueva Zelanda. Esta correlación permite comprobar la capacidad del TWL construido para localizar los principales eventos de inundación en la línea temporal. Si esta representación es buena, se puede plantear este TWL como índice para predecir futuros eventos o catástrofes que pongan en riesgo a la población.

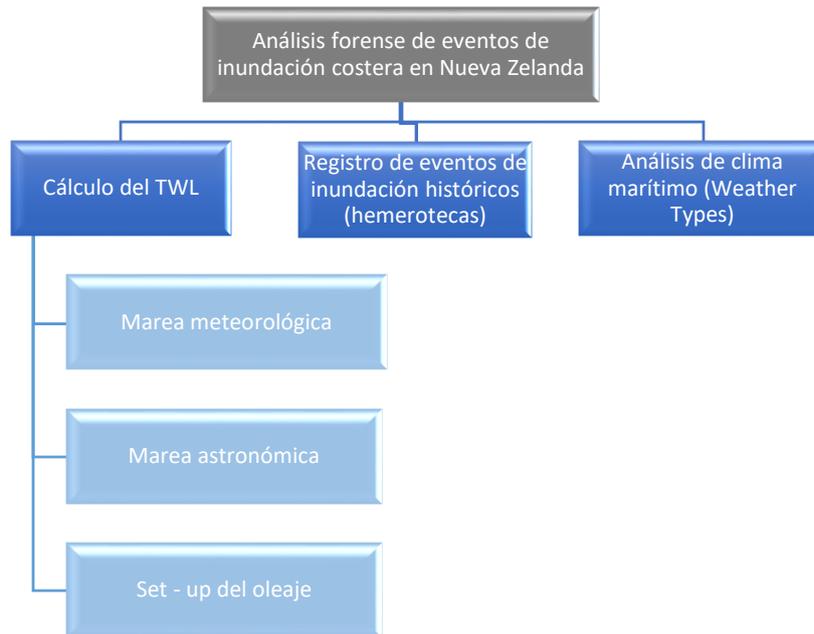


Figura 4: Diagrama de flujo del proceso de análisis.

En primer lugar, el cálculo del TWL se realiza con la suma de tres componentes. El proceso para obtenerlas es complejo, y se explicará de forma desarrollada en las próximas secciones del documento. De forma resumida, se plantea en este párrafo las técnicas principales empleadas para cada una: *marea astronómica*, obtenida mediante un análisis armónico en los mareógrafos disponibles. Por otra parte, la *marea meteorológica* se obtiene mediante downscaling estadístico. Se procede estableciendo una relación estadística entre los agentes atmosféricos que fuerzan el fenómeno (presión y viento) (predictores) y una base de datos de marea meteorológica a escala global (predictando). Esta relación permite aumentar la cobertura temporal de la variable y realizar predicciones futuras, una vez validado el modelo. Por último, para calcular el *set - up del oleaje* se necesita obtener la altura de ola significativa (H_s). Esto se lleva a cabo también mediante técnicas de downscaling estadístico. Sin embargo, las bases de datos que se relacionan estadísticamente son distintas, así como la forma de definir el predictor (la situación atmosférica). A partir de esta altura H_s se puede calcular la componente del nivel del mar debida a la liberación de energía de las olas en la zona de rompientes (*set - up*).

De forma complementaria se realiza una base de datos de eventos de inundación en Nueva Zelanda, cuya finalidad es la de comprobar que los picos de nivel de TWL obtenidos se corresponden efectivamente con eventos que hayan inundado las tierras neozelandesas, hayan puesto en serio peligro las defensas costeras, hayan causado destrozos materiales o pérdidas humanas,



etc. Es un sistema de verificar la bondad de la metodología aplicada para reconstruir el TWL.

Por último, se emplea una clasificación de tipos de tiempo para hacer un análisis climático, de gran interés en estudios realizados a largo plazo. Este tipo de clasificación es una de las técnicas existentes de downscaling estadístico. La ventaja de los tipos de tiempo es que puede aplicarse a más de un predictando (variable), tal como: altura, periodo y dirección del oleaje, conjuntamente con la magnitud de la marea meteorológica. Estos tipos de tiempo, o Weather Types (WT), se clasifican en función de situaciones sinópticas. Conocida la distribución temporal de estas situaciones (qué fechas o días corresponden a cada agrupación), es posible asociar los eventos registrados de inundación a cada uno de los grupos, identificando en qué condiciones del clima marítimo se producen estas catástrofes.

A continuación, se explica en detalle la metodología para obtener el TWL (apartado 3.1), así como la metodología con la que Rueda et al. (en revisión) aplica el análisis mediante tipos de tiempo a la región de Nueva Zelanda (apartado 3.2).

3.1. Cálculo del Nivel Total de Agua (TWL)

Para el cálculo del Nivel Total de Agua se utiliza la formulación empleada en el apartado 4.1.2. del documento *Impactos, Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe*, elaborado por el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, en colaboración con la CEPAL, y financiado por el Gobierno de España. La ecuación que expresa el cálculo de esta variable es:

$$NM = NMM + MA + MM + Set - up$$

En este trabajo se analiza esta cota teniendo en cuenta estas componentes, que se detallan a continuación:

- ✚ **Marea astronómica:** se trata del ascenso – descenso regular del nivel del mar causado por las fuerzas gravitacionales entre la Tierra, el Sol y la Luna. Esta influencia otorga periodicidad a la variable, lo que la convierte en una variable determinista.

El estudio de esta variable suele afrontarse desde 3 puntos de vista: mediante la teoría de equilibrio de las mareas, basado en las fuerzas que las generan; la teoría dinámica de las mareas, basada en la resolución de ecuaciones de hidrodinámica; o el análisis armónica, basado en la obtención de las diversas componentes periódicas de la marea.



Para el presente trabajo esta variable se obtiene mediante análisis armónico, empleando para ello el software libre T-Tide, en Matlab.

✚ *Marea meteorológica*: esta variable ya no es determinista, como el caso de la marea astronómica, sino que su magnitud depende de los gradientes de presión atmosférica y de la tensión superficial del viento. Esto convierte a la marea meteorológica en una variable estocástica. Para poder analizarla se hace necesario disponer de bases de datos con una cobertura temporal lo suficientemente extensa. Sin embargo, lo normal es que las series de datos de mareógrafos con las que se trabaja, carezcan de la suficiente extensión temporal u homogeneidad espacial. Además, los mareógrafos registran el nivel total del mar, del que hay que separar la componente astronómica, mediante el análisis armónico antes comentado. Separar también el aporte de masa y la señal estérica (cambios en el volumen del agua por causa de la temperatura) es complicado, requiriendo un procedimiento costoso.

Por ello es por lo que habitualmente se buscan modelos numéricos o estadísticos que permiten realizar reconstrucciones con una extensión temporal y espacial suficiente para poder elaborar predicciones de marea meteorológica.

✚ *Set-up del oleaje*: resulta de la transferencia de energía que se produce durante la rotura del oleaje en la costa. Para los eventos extremos que pueden producir inundación, la contribución de esta componente puede ser importante, añadiendo bastante altura a los niveles de agua medidos. Las observaciones y estudios de laboratorio realizados en diferentes condiciones, proponen que la magnitud de esta componente suele estar comprendida entre el 10 y el 20% de la altura de ola incidente. (Dean y Walton Jr., 2008).

Para obtener las diferentes componentes del TWL mencionadas, se utilizan los datos y metodología que se explican a continuación.

3.1.1. Marea astronómica

3.1.1.1. Datos

La fuente de datos de la que se obtienen las series de marea astronómica es la red de mareógrafos disponible en varios puntos alrededor de Nueva Zelanda, cuyos datos han sido proporcionados por la Universidad de Auckland al Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente de la Universidad de Cantabria, concretamente al grupo de investigación Surf and Surge. Estos equipos registran datos de nivel del mar en 21 puntos próximos a la



costa a lo largo de diferentes años (recogidos los periodos de medición en la tabla 1), aunque con una extensión temporal que no es suficiente para el objetivo de este trabajo, centrado en el análisis del siglo XX. De los mareógrafos podemos extraer información acerca de: el nivel del mar total (Sea Surface High), la marea astronómica (TIDE) y el residuo meteorológico (Non-Tidal Residual). En la figura 5 se representan estas tres componentes para el mareógrafo de Anawhata.

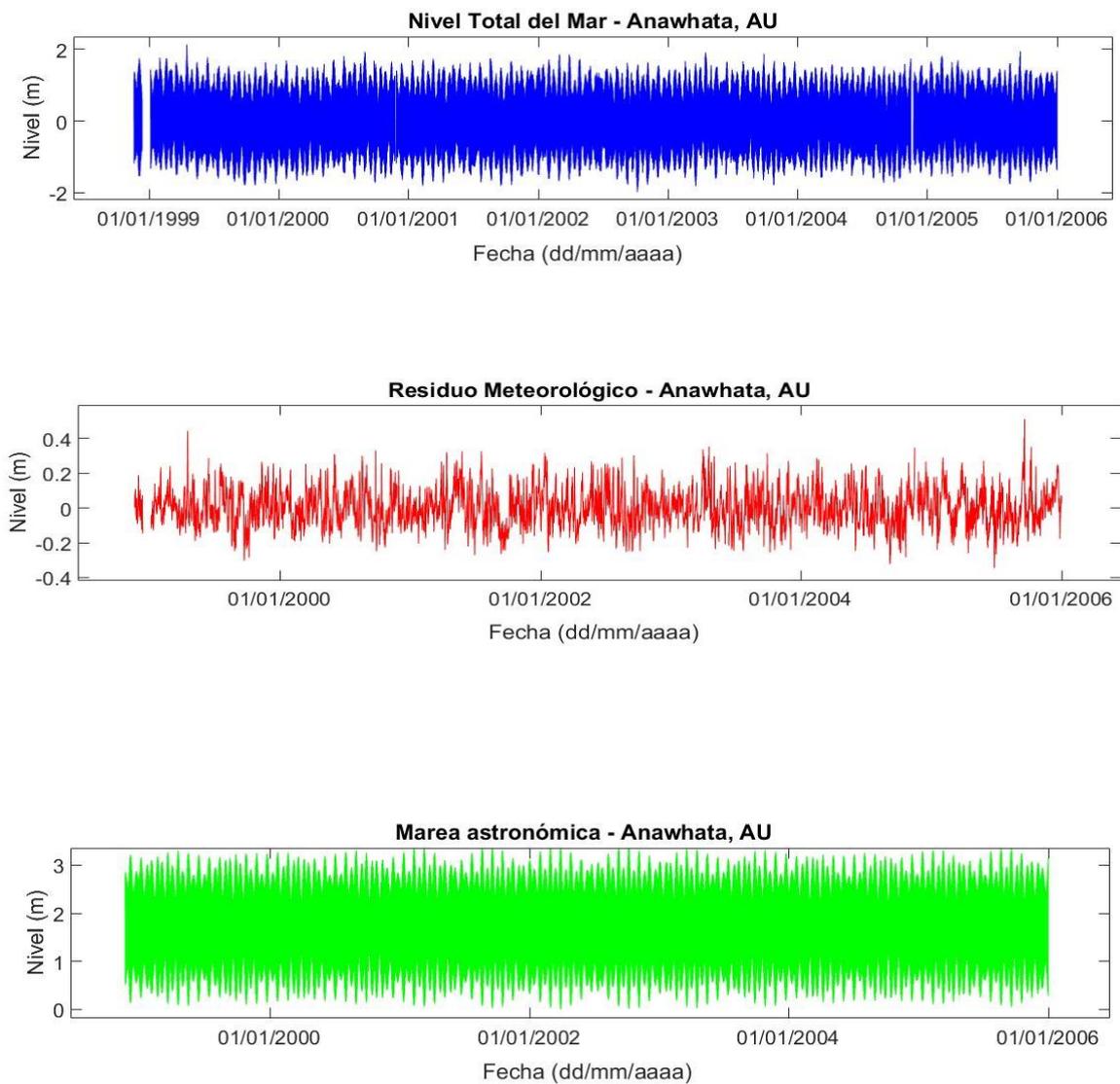


Figura 5: Registro del nivel del mar en Anawhata



Debido a los fallos de medición que pueden presentar estos dispositivos, presentando huecos en el registro o medidas erróneas (figura 6), y a la necesidad de una mayor extensión temporal, es por lo que se decide llevar a cabo el análisis armónico que se explica en el apartado 3.1.1.2.

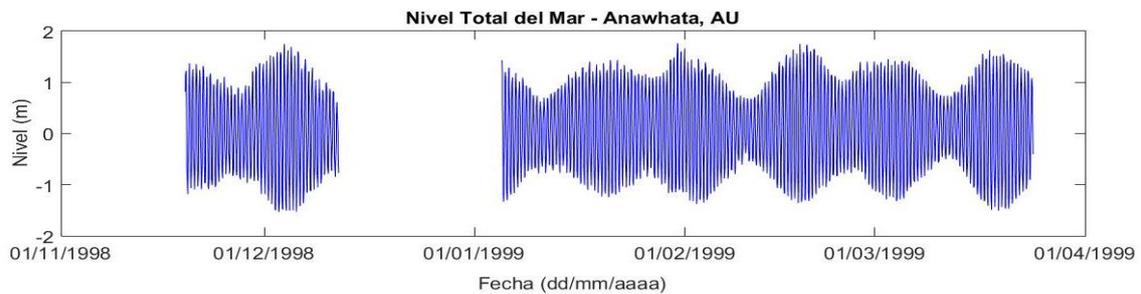


Figura 6: Tramo de registro con ausencia de datos

En la figura 7 se recoge la ubicación de los puntos de cálculo alrededor de las costas de Nueva Zelanda.



Figura 7: Mapa de la ubicación de los mareógrafos



Los datos de nivel del mar que se obtienen de cada mareógrafo son horarios, y cubren los años indicados en la tabla 1:

UBICACIÓN	LATITUD	LONGITUD	INTERVALO DE FECHAS REGISTRADO
Anawhata	-36,9210	174,4610	19/11/1998 – 01/01/2006
Charleston	-41,9080	171,4330	11/09/1997 – 01/01/2006
Dargaville	-35,9400	174,8700	16/01/1981 – 01/01/2006
Dog Island	-46,6520	168,4120	02/02/1997 – 31/12/2005
Green Island	-45,9520	170,3860	04/12/2002 – 01/01/2006
Jackson Bay	-43,9570	168,6160	05/07/1996 – 31/12/2003
Kaikoura	-42,4150	173,7030	10/08/1994 – 31/12/2005
Kapiti Island	-40,8420	174,9380	23/07/1997 – 31/12/2005
Kaiteriteri	-41,0480	173,0270	01/07/1984 – 01/04/2009
Marsden Point	-35,8420	174,5000	30/05/2005 – 01/01/2006
Mokohinau Islands	-35,9650	175,1030	16/08/1998 – 21/12/1999
Moturiki Island	-37,6330	176,1930	09/07/1987 – 01/01/2006
Nelson	-41,2616	173,2731	01/07/1984 – 01/04/2009
Sumner Head	-43,5740	172,7670	03/06/1994 – 31/12/2005
Tarakohe	-40,8170	172,9000	31/08/2005 – 01/01/2006
Thames	-37,1280	175,5210	31/10/1992 – 02/01/2010
Timaru	-44,3920	175,5210	30/11/2001 – 01/01/2006
Whitianga	-36,8340	175,7100	13/07/1999 – 01/01/2006

Tabla 1: Características de los mareógrafos de NZ

3.1.1.2. Metodología

Para realizar el estudio a lo largo del periodo ya descrito en los objetivos (siglo XX), se opta por realizar un análisis armónico que sirve para separar, en la señal registrada por los mareógrafos, la parte del nivel del mar asociada a la marea astronómica. Este análisis parte del conocimiento de que la marea astronómica observada se compone de una serie de componentes armónicas cuyas frecuencias características se conocen, al estar relacionadas directamente con situaciones astronómicas. Pueden determinarse como interacción de 6 periodos básicos: el día lunar ($T_1 = 24,8$ horas), el mes lunar ($T_2 = 27$ días), el año tropical ($T_3 = 1$ año), el perigeo lunar alrededor de la Tierra ($T_4 = 8,85$ años), la frecuencia del movimiento de la línea de intersección (nodo) del plano de rotación de la Luna alrededor de la Tierra con el plano de traslación de la Tierra alrededor del Sol ($T_5 = 18,6$ años), y el perihelio ($T_6 = 21.000$ años).

Las amplitudes que producen estos forzamientos astronómicos son muy pequeñas en comparación con la profundidad del océano, lo cual implica que la respuesta del mar a este efecto, contenga solo las frecuencias del forzamiento. Se emplean 6 índices (Los números de Doodson) para combinar las frecuencias características y obtener la de cada armónico. Como ejemplo, se



muestra la combinación de las frecuencias básicas para la obtención de las frecuencias de las componentes S2 y N2 (σ_{S2} y σ_{N2}):

$$\sigma_{S2} = 2\sigma_1 + 2\sigma_2 - 2\sigma_3$$

$$\sigma_{N2} = 2\sigma_1 - \sigma_2 + \sigma_4$$

Siendo σ_1 , σ_2 , σ_3 y σ_4 las frecuencias de los movimientos astronómicos antes descritos.

Para determinar la amplitud y fase asociadas a estas frecuencias se emplea un ajuste por mínimos cuadrados. Conocer estos dos parámetros tiene dos usos fundamentales: por un lado, permite caracterizar la marea y compararla con los datos de otras localizaciones, ayudando a entender los efectos dinámicos de la marea. Por otro lado, pueden emplearse (como es el caso de este trabajo) para sintetizar series de datos con fines predictivos (Pawlowicz et al., 2002).

Existen algunas consideraciones extra a tener en cuenta con respecto al análisis armónico. Se requieren series temporales de más de 18,6 años para poder resolver todas las frecuencias posibles. Sin embargo, la mayoría de los mareógrafos disponibles no alcanzan esta cobertura temporal. Para estos casos, se forman grupos con aquellas componentes que tengan los mismos 3 primeros números de Doodson iguales. En cada uno de ellos habrá una componente de mayor amplitud potencial, que será la componente principal. El resto, son las denominadas componentes satélite. Las componentes armónicas que se buscan en el análisis son estas componentes principales (véase tabla 2).

En la costa, con aguas poco profundas, se produce una distorsión de los armónicos, produciéndose un retraso del seno de la onda con respecto a la cresta, por lo que la frecuencia ya no es la misma que la del forzamiento astronómico que produce la onda. Estos armónicos reciben el nombre de sobremareas y mareas compuestas. Las frecuencias de estos armónicos derivan de las de los armónicos principales, siendo combinación de las mismas. Las sobremareas pueden estimarse a partir de la multiplicación de componentes, mientras que las mareas compuestas se obtienen por suma y/o diferencia de armónicos (véase tabla 3).



Nombre	Símbolo	Período	Coef.
Lunar principal	M_2	12.42	100
Solar principal	S_2	12.00	46.6
Elíptico Lunar mayor	N_2	12.66	19.2
Semidiurno Luni-Solar	K_2	11.97	12.7
Solar elíptico mayor	T_2	12.01	2.7
Solar elíptico menor	L_2	12.19	2.8
Elíptico lunar 2º orden	$2N_2$	12.91	2.5
Diurno Luni-Solar	K_1	23.93	58.4
Diurno Lunar principal	O_1	25.82	41.5
Diurno Solar principal	P_1	24.07	19.4
Elíptico Lunar mayor	Q_1	26.87	7.9
Elíptico Lunar menor	M_1	24.84	3.3
Quincenal Lunar	M_f	327.9	17.2
Mensual Lunar	M_m	661.3	9.1
Semi-anual Solar	S_{sa}	4383	8.0

Tabla 2: Armónicos principales

SÍMBOLO	ORIGEN	FRECUENCIA
MNS2	$M_2+N_2-S_2$	$2\omega_e - 5\omega_m + 2\omega_s + \omega_p$
2MS2	$2M_2-S_2$	$2\omega_e - 4\omega_m + 2\omega_s$
2SM2	$2S_2-M_2$	$2\omega_e + 2\omega_m - 4\omega_s$
MK3	M_2+K_1	$3\omega_e - 2\omega_m$
2MK3	$2M_2-K_1$	$3\omega_e - 4\omega_m$
SK3	S_2+K_1	$3\omega_e - 2\omega_s$
SO3	S_2+O_1	$3\omega_e - 2\omega_m - 2\omega_s$
M4	$2M_2$	$4\omega_e - 4\omega_m$
MS4	M_2+S_2	$4\omega_e - 2\omega_m - 2\omega_s$
MN4	M_2+N_2	$4\omega_e - 5\omega_m + \omega_p$
MK4	M_2+K_2	$4\omega_e - 2\omega_m$
S4	$2S_2$	$4\omega_e - 4\omega_s$
M6	$3M_2$	$6\omega_e - 6\omega_m$
2MS6	$2M_2+S_2$	$6\omega_e - 4\omega_m - 2\omega_s$
2MN6	$2M_2+N_2$	$6\omega_e - 7\omega_m + \omega_p$
2SM6	$2S_2+M_2$	$6\omega_e - 2\omega_m - 4\omega_s$
MSN6	$M_2+S_2+N_2$	$6\omega_e - 5\omega_m - 2\omega_s + \omega_p$
S6	$3S_2$	$6\omega_e - 6\omega_s$
M8	$4M_2$	$8\omega_e - 8\omega_m$
3MS8	$3M_2+S_2$	$8\omega_e - 6\omega_m - 2\omega_s$
2(MS)8	$2M_2+2S_2$	$8\omega_e - 4\omega_m - 4\omega_s$
2MSN8	$2M_2+S_2+N_2$	$8\omega_e - 7\omega_m - 2\omega_s + \omega_p$
S8	$4S_2$	$8\omega_e - 8\omega_s$

Tabla 3: Sobremareas y mareas compuestas

Una vez conocidas, se debe realizar la selección de componentes que determinan la marea en un punto determinado. Un primer paso en esta elección es observar la longitud del registro de datos, pues como es obvio delimita que componentes pueden o no aparecer. Es decir, para caracterizar correctamente el armónico de un periodo determinado, se necesitan registros de, como mínimo, esa longitud temporal.

Para este trabajo, el código de Matlab T-Tide es el que realiza la selección de los componentes, mediante el método de comparación de Rayleigh. Denominando F_0 a la frecuencia de la componente a evaluar, F_1 la frecuencia de una componente ya seleccionada y λ la longitud de registro, debe cumplirse que $|F_0 - F_1| \lambda \geq 1$. A su vez para que se pueda determinar la amplitud y



desfase de la componente de frecuencia F_0 , debe cumplirse: $\lambda \geq \frac{1}{|F_0 - F_1|}$. Esta condición garantiza que la longitud del registro (λ) sea como mínimo el desfase que existe entre ambas componentes en comparación (Grobas et al., 2003).

T-tide también tiene en cuenta la componente nodal antes mencionada (18,6 años de periodo), cambiando el cálculo en función de la longitud del registro. Si se establece la latitud del mareógrafo en el estudio, el modelo realiza las correcciones necesarias para obtener correctamente las frecuencias.

La serie que se pretende construir se denomina η_t , y se obtiene como:

$$\eta_t = a_0 + \sum_{n=1}^N a_n \cos(w_n t + \alpha_n)$$

Siendo:

- ✚ a_0 : nivel medio del mar
- ✚ a_n : amplitud de la componente n en el punto geográfico determinado
- ✚ α_n : desfase de la componente n en el punto geográfico determinado
- ✚ w_n : frecuencia de la componente n , conocida.
- ✚ N : número de componentes armónicas que intervienen para definir la marea astronómica.

El ajuste por mínimos cuadrados mencionado consiste en minimizar la diferencia entre el análisis armónico y los valores que registra el mareógrafo de nivel del mar. Es decir, si η_m es la serie de nivel del mar medida por el mareógrafo y η_t el nivel que se pretende reconstruir como suma de armónicos, se busca minimizar μ^2 :

$$\sum_{n=1}^N (\eta_m - \eta_t) = \mu^2$$

T-tide se compone de dos funciones. 't_tide' y 't_predict'. El primero realiza el análisis armónico antes descrito, con el que se obtienen las distintas componentes y sus frecuencias, así como la fase, amplitud y errores de cálculo de ambas variables. El segundo permite realizar la predicción de la marea astronómica en el intervalo de tiempo deseado, a partir de los resultados del análisis armónico

3.1.2. Marea meteorológica

3.1.2.1. Datos

Una de las principales limitaciones de los datos de los mareógrafos, aparte de que son medidas puntuales y por tanto tienen una homogeneidad espacial escasa, es que normalmente presentan una cobertura temporal insuficiente,



que en la mayoría de los casos (como en el caso de los disponibles en Nueva Zelanda), no supera los 20 años. De ahí surge la necesidad de plantear modelos numéricos o estadísticos que permitan realizar simulaciones y predicciones de la marea meteorológica.

Las herramientas que se utilizan para realizar estas predicciones son los denominados Modelos de Circulación General (O GCM por sus siglas en inglés, "General Circulation Models"). El problema de estos modelos, es que trabajan a resoluciones demasiado grandes para proporcionar resultados que tengan utilidad en el estudio del clima marítimo que se propone en este TFM. Por ello se necesita incrementar la resolución de estos resultados, empleando las técnicas de regionalización o de reducción de escala, que son las denominadas como "downscaling", pudiendo ser dinámico o estadístico. El primero está basado en un modelado numérico en mallas, que van aumentando su resolución de forma sucesiva. El segundo está basado en relacionar de forma estadística los forzamientos atmosféricos (predictores) con las variables que deseamos obtener (predictandos). El downscaling estadístico es el método que se usó para obtener los datos de marea meteorológica que se utilizan en este trabajo.

Los datos atmosféricos obtenidos de las bases de datos son de presión atmosférica a nivel del mar y sus gradientes (SLP y SLPG). Esto se debe a que generalmente, en los GCM más empleados, los campos de viento no están tan bien reproducidos como los campos de presión. Teniendo esto en cuenta, y que la velocidad de los campos de viento geostrofico son proporcionales al cuadrado de los gradientes de presión, se pueden obtener todos los datos necesarios a partir de los SLP y SLPG. En este proceso se obtienen de dos bases de datos:

- ✚ CFSR (Climate Forecast System Reanalysis). Esta base de datos abarca de 1979 a 2012 con datos horarios, y una resolución espacial de 0,5°.
- ✚ Twentieth Century Atmospheric Reanalysis (20CR) dispone de datos cada 6 horas entre 1871 y 2010, y presenta una resolución espacial de 2°.

En cuanto a los datos de marea meteorológica con los que realizar el proceso estadístico, se emplea una base de datos numérica, debido a la ya mencionada necesidad de compensar la poca homogeneidad espacial en la distribución de mareógrafos, así como la necesidad de extender temporalmente las series. Se emplea la base de datos DAC (Dynamic Atmospheric Correction), producida por la institución CLS Space Oceanography Division, empleando el modelo MOG2D de Legos y distribuido por Aviso.

MOG2D (Modelo en Dos Dimensiones de Ondas Gravitacionales) es un modelo barotrópico de discretización del espacio mediante elementos finitos. Este modelo se fuerza con los campos de velocidad de viento y presión a 10 m de



altura, del análisis del ECMWF (European Centre for Medium-range Weather Forecasts) (avisos.altimetry.fr).

DAC proporciona datos de marea meteorológica cada 6 horas y en una malla global de $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$, desde 1992 a 2014.

3.1.2.2. Metodología

El objetivo de los métodos de downscaling estadístico es estimar la marea meteorológica (u oleaje) en una escala local a partir de las condiciones atmosféricas, basándose en una relación estadística. Esta relación permite reconstruir una serie de la variable en el intervalo de tiempo deseado, a partir de unos parámetros atmosféricos dados, que funcionan de input al modelo.

Para poder llevar a cabo esta metodología, se necesitan unas condiciones atmosféricas (obtenidos del CFSR y 20CR), y una base de datos de marea meteorológica (DAC). En términos más específicos, se trabaja con la media de las condiciones atmosféricas diarias, y los máximos niveles de marea meteorológica, también diarios.

La resolución espacial marca el tamaño de una malla, en cuyos puntos se conocen los distintos parámetros atmosféricos, y en los que se puede obtener la variable objetivo. Dada la existencia de distintas bases de datos con diferente tamaño de malla, la de menor resolución será la que marque a la que deberán reconfigurarse el resto. Para este caso, la resolución espacial está condicionada por los datos del 20CR, que como ya se comentó, es de $2^{\circ} \times 2^{\circ}$, por lo que los datos del CFSR son reestructurados.

El predictando se define como el máximo de los 4 valores diarios que proporciona el DAC en cada punto de la malla. El predictor por su parte, queda definido con los SLP y los SLPG, obtenidos del CFSR, en un área de $4^{\circ} \times 4^{\circ}$ en cuyo centro se sitúa el punto de la malla donde se quiere obtener la marea meteorológica. En esta área se encuentran 9 puntos de la malla, lo que se traduce en 9 datos de SLP y 9 gradientes de SLP (Figura 8).

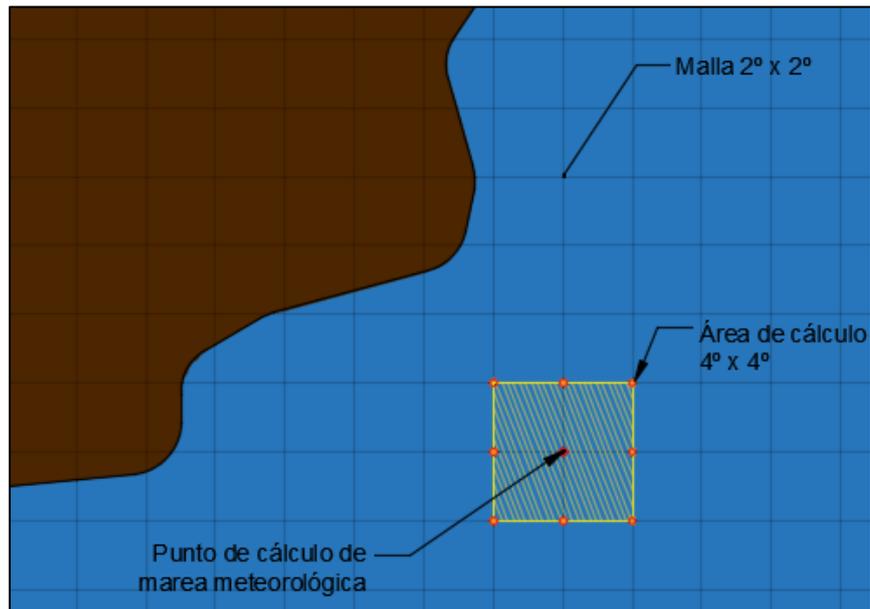


Figura 8: Área de definición del predictor

Es habitual que en muestras con tantas variables (18), muchas estén fuertemente correlacionadas, por lo que no son necesarias para explicar la varianza de los datos. Se trabaja con técnicas que sirven para sintetizar los datos perdiendo la menor cantidad de información posible, en busca de un sistema más simple, con menos dimensiones, pero conservando el mayor porcentaje de varianza. Se emplea un análisis de componentes principales (PCA), con el que se transforma el conjunto de variables original en otro conjunto con variables incorreladas entre sí, las denominadas componentes principales (PCs) (Camus et al., 2014).

Cada componente obtenida en el nuevo espacio lleva asociado un autovalor, indicador de la cantidad de información que recoge la componente. Por otro lado, los autovectores (EOFs) de la matriz de covarianza definen los vectores del nuevo espacio sobre el que se proyectan los datos. Mediante la combinación lineal de los autovectores y las PCs, es posible definir el predictor original antes del PCA, tal que:

$$X(x, t_i) = EOF_1(x) * PC_1(t_i) + EOF_2(x) * PC_2(t_i) + \dots + EOF_N(x) * PC_N(t_i)$$

Al realizar el PCA se identifican las componentes con una mayor cantidad de varianza explicada. Debe definirse qué porcentaje de varianza se considera suficiente a la hora de establecer el número de PCs necesarias. Cid et al. (2016) selecciona aquellas PCs que garantizan un 95% de varianza explicada.



El siguiente paso es relacionar estadísticamente los PCs obtenidos, con el predictando (datos de marea meteorológica). Se emplea para ello un modelo de regresión multivariado, que funciona como sigue: La elección de la primera PC se realiza en función de la calidad del ajuste (la que proporcione un ajuste con una menor suma de errores cuadráticos). La segunda se elige de entre el resto de componentes, que de forma conjunta con la primera ofrezca un mejor ajuste, y así sucesivamente para el resto de componentes. El proceso se mantiene hasta que un modelo con más componentes principales no produce una mejora significativa (en un nivel del 5% de significancia). Por tanto, de cara a realizar la regresión estadística no tienen por qué escogerse todas las componentes que explican el 95%, sólo aquellas que garantizan un buen ajuste tras un proceso iterativo y un nivel de significancia establecido.

El nivel de marea meteorológica obtenido con el DAC ($SS(x_i, t)$), se expresa como combinación lineal de las PCs más importantes obtenidos de la base de datos CFSR:

$$SS(x_i, t) = a_i + b_{1,i} \times PC_{(1)}(x_i, t) + b_{2,i} \times PC_{(2)}(x_i, t) + \dots + b_{n,i} \times PC_{(n)}(x_i, t)$$

Donde x_i es la localización donde se quiere obtener la marea meteorológica, n el número de PCs empleados, y a_i , $b_{n,i}$ son los coeficientes obtenidos con la regresión.

Cuando los parámetros del modelo (a_i ; $b_{n,i}$) están definidos, se realiza también un PCA con los datos de SLP y SLPG del 20CR, obteniendo así las PCs para esta base de datos. Conocidos los PCs y los parámetros del modelo, se puede reconstruir la marea meteorológica para el periodo del 20CR, desde 1900 hasta 2010.

3.1.3. Oleaje

3.1.3.1. Datos

Los datos de oleaje provienen de dos fuentes de datos:

- ✚ *Mediciones por satélite*: Tomados del proyecto Globwave de la ESA (European Space Agency). El portal web de Globwave sirve como punto de referencia para datos de oleaje vía satélite, donde también se presenta documentación acerca de las técnicas de adquisición de datos empleados por cada programa de medidas, como ERS-1, ERS-2, ENVISAT, TOPEX/POSEIDON, Jason-1, Jason-2, GEOSAT y GFO. Todos estos programas o misiones permiten obtener la altura de ola significativa, así como el índice de retrodispersión (σ_0). A partir de estos datos, siguiendo



la metodología de Mackay et al. (2008), se puede obtener también el periodo medio del oleaje (T_z).

- ✚ *Simulación numérica:* Los datos tomados por altimetría no representan adecuadamente los mares tipo swell, generados por tormentas distantes, y como se explicó para el caso de la marea meteorológica, se necesitan datos homogéneos en espacio, y con una cobertura temporal suficientemente extensa. Por tanto, se usó una base de datos obtenida mediante el modelo numérico WAVEWATCH III en su versión 4.04, forzado con los vientos del ya mencionado CFSR, y proporcionada por el centro de investigación IFREMER. Ofrece resultados de oleaje cada 3 horas, en una malla de resolución $0,5^\circ \times 0,5^\circ$. Esta base de datos proporciona los parámetros para 6 particiones del espectro: el primero representando el mar de viento, y el resto, 5 trenes de swell. Se utilizaron 20 años de datos (1993-2012), para entrenar y validar los modelos estadísticos desarrollados.

Los datos atmosféricos tomados para el forzamiento del oleaje son los mismos que en el caso de la marea meteorológica: CFSR para llevar a cabo el modelo de regresión con el predictando; 20CR para poder realizar la reconstrucción (Rueda et al., (en revisión)).

3.1.3.2. Metodología

Si bien la metodología de la reconstrucción del oleaje mediante downscaling estadístico es la misma que la empleada en el caso de la marea meteorológica, difiere el predictor.

La mayor dificultad a la hora de definir el predictor, es delimitar el área en la cual las condiciones atmosféricas afectan al oleaje en el punto de estudio. Es decir, para el caso de la marea meteorológica, el predictor se definía con un sector de $4^\circ \times 4^\circ$ cuyo centro es el punto donde se calcula el predictando (figura 8). Sin embargo, el oleaje puede viajar cientos de kilómetros desde su origen, por lo que es más difícil definir el área de influencia.

Para determinar el área de influencia del predictor atmosférico, es necesario conocer la zona donde se generó el oleaje y cuanto tardó en llegar a la zona que se estudia. En Nueva Zelanda, al ser una isla, la situación es más compleja. En este sentido, son los mares tipo swell que provienen del océano Antártico los que dominan el oleaje de las islas. Sin embargo, las 6 fachadas que forman la geografía del país (figura 9) están sometidas a una mezcla de mares tipo sea y varios trenes de oleaje tipo swell, que han sido generados en distintos momentos (horas, días o semanas). Por ello, debe realizarse un análisis más específico del oleaje presente en cada parte del país, definiendo el área de influencia del



predictor en cada una de estas 6 zonas. Se explica a continuación la metodología utilizada en Rueda et al. (en revisión).



Figura 9: Localizaciones en las 6 fachadas de Nueva Zelanda (Datos de Rueda et al., (en revisión))

Para definir esta área de influencia se empleó la herramienta ESTELA (Evaluation of Source and Travel – time of wave Energy reaching a Local Area) que proporciona información acerca de la generación/disipación de la energía en torno al punto objetivo, el tiempo que tardan en llegar las olas, etc. Los pasos secuenciales del método vienen recogidos en la tesis donde se desarrolla esta metodología (Pérez et al., 2015).

Para el caso de Nueva Zelanda, y ante la idea de definir un único predictor para todo el país, se utiliza una composición de 6 ESTELAS (una para cada sector de los recogidos en la figura 9) y la información del tiempo de viaje de los distintos trenes de oleaje. En Rueda et al. (en revisión), se delimita el área de influencia a 6 días en el caso del océano Pacífico, y 12 días para el océano Antártico.

Una vez definido el predictor, se procede a obtener la reconstrucción, obteniendo en primer lugar la relación estadística entre predictor y predictando. Al igual que en el caso de la marea meteorológica, se aplica un procedimiento PCA de los campos diarios de presión atmosférica y sus gradientes, para reducir las dimensiones del problema. En el estudio de Rueda et al. (en revisión), se obtienen los PCs que explican el 95% de la varianza, lo cual se traduce en 568 componentes. Los altos índices de correlación entre el predictor y el oleaje, así como valores bajos de error, refuerzan la hipótesis de



que este predictor calculado en concreto para esta localización, permite representar con buena precisión la variabilidad de la climatología marítima. Para un resumen de los principales estadísticos (ρ , RMS, SI, bias), acudir a Rueda et al. (en revisión).

En la figura 10 se recogen 4 gráficas de 4 localizaciones distintas (Anawhata, Charleston, Dargaville, Dog Island) para estudiar la correlación existente entre el oleaje reconstruido mediante downscaling estadístico (eje de abscisas), y el oleaje de la base de datos de IFREMER (eje de ordenadas), para un periodo de validación (2006 – 2012). También aparecen reflejados los estadísticos ρ , RMS, SI y bias.

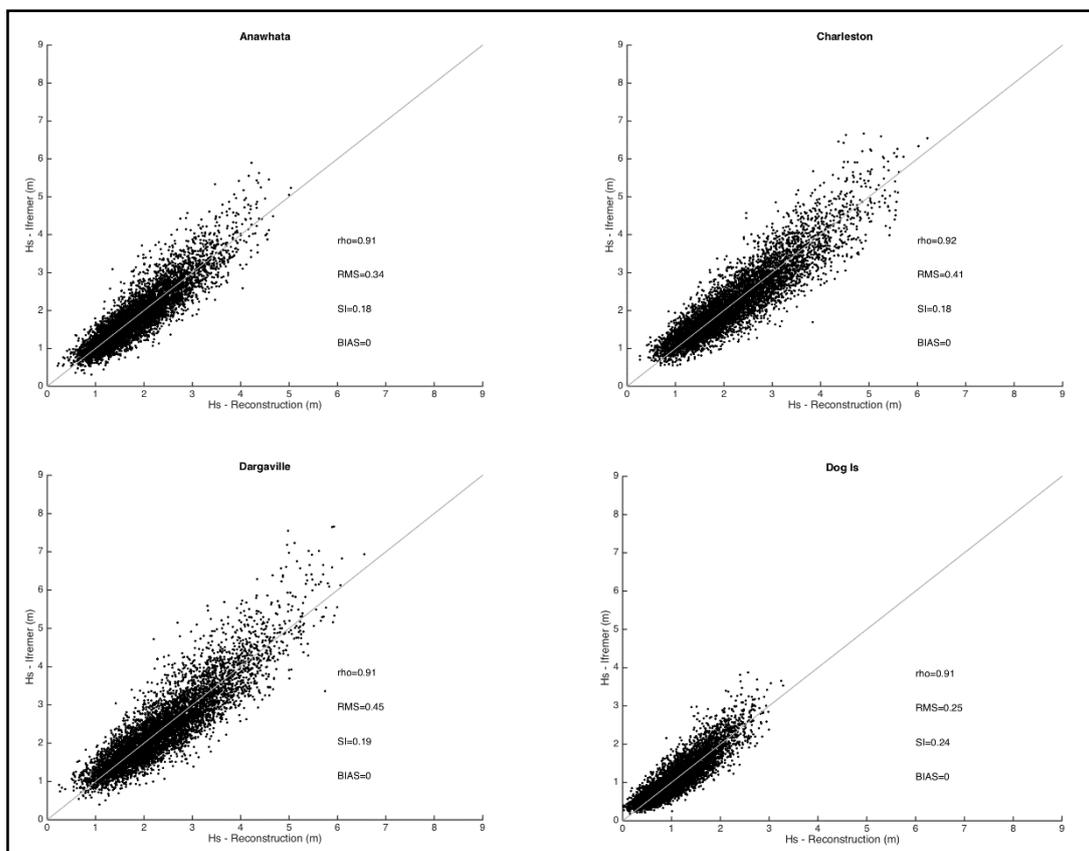


Figura 10: Correlación entre oleaje reconstruido con downscaling estadístico y la base de datos IFREMER

Con la reconstrucción se obtiene la altura de ola significativa (H_s) del oleaje incidente a la costa durante todo el siglo XX. Sin embargo, lo que interesa a la hora de realizar el análisis de eventos de inundación es conocer el set-up producido tras la rotura del oleaje. Como se expone en el apartado 3.1 de este documento, la relación entre H_s y el set-up puede establecerse gracias a Dean y Walton Jr. (2008). La ausencia de algunos datos importantes, como pueden ser la batimetría, ubicación exacta de algunos mareógrafos o las características del oleaje y del fondo marino, llevan a tomar un resultado que aporte un valor



orientativo del set-up producido en las costas neozelandesas. También se debe considerar la finalidad del trabajo, centrado en correlacionar picos en el nivel total del mar con eventos de inundación registrados. No es tan importante conocer el valor exacto del TWL, sino garantizar que este índice, el método de obtenerlo y los datos que se usan para ello, son los oportunos y pueden emplearse para predecir el riesgo al que se someten las poblaciones costeras de cara a eventos futuros. Por todo esto es por lo que se opta por tomar un valor dentro del intervalo propuesto por Dean y Walton Jr. para todos los puntos de cálculo alrededor de Nueva Zelanda, estimando que el set-up del oleaje es en torno al 20% de la altura significativa incidente.

3.2. Análisis climático basado en tipos de tiempo (WT)

En la técnica explicada en el apartado anterior, se asocian las condiciones atmosféricas con la altura del oleaje. Un análisis de downscaling estadístico basado en tipos de tiempo se puede aplicar al oleaje multivariado, permitiendo asociar el predictor con varios predictandos, como altura significativa (H_s) o periodo medio (T_z). Sin embargo, en este trabajo se emplean los tipos de tiempo para encontrar las “tormentas tipo” y asociar a cada una de ellas los eventos de inundación recogidos.

Se realiza una clasificación de las PCs diarias del predictor del oleaje, agrupándolas en clusters. Cada uno de estos grupos o clusters está definido por un prototipo de condiciones sinópticas, y se forma con todos los datos que más se aproximan o que tienen más similitud con estas condiciones establecidas. Para llevar a cabo esta división del conjunto de datos en grupos, se emplea el algoritmo k-medias, aunque previamente debe definirse el número de clusters que se considera representativo de las condiciones climáticas de la zona de estudio (Camus et al., 2014b).

En Rueda et al. (en revisión) se han definido un total de 16 tipos de tiempo para Nueva Zelanda, atendiendo a diferentes criterios, como por ejemplo: la cantidad de varianza de datos explicada; que todos los WT contengan una cantidad mínima de datos; garantizar que se presentan adecuadamente todos los oleajes que pueden producirse. Todos estos grupos aparecen reflejados en la figura 11.

Los inputs del algoritmo k-medias son el conjunto de datos (los datos atmosféricos tras aplicar PCA), así como el número de clusters pre-establecido. El algoritmo calcula la distancia de los puntos del predictor al centroide de cada cluster (definido en una malla bidimensional como la media de los datos que se encuentran en dicho cluster). Conocida esta distancia, todas las observaciones de SLP (y los días a los que corresponden estos datos) se asignan al grupo o



clúster cuyo centroide esté más cerca, lo que significa que todos los datos quedan asignados a un grupo en función de la similitud con las condiciones sinópticas de ese prototipo (Pérez et al., 2015).

De esta forma se obtienen la representación de los distintos clusters en mapas sinópticos de la circulación atmosférica. En la figura 11 aparecen los estados de presión atmosférica de cada WT, representados por las isobaras. La escala de color rojo define aquellos sistemas de alta presión respecto a SLP media. Los sistemas de bajas presiones aparecen por lo tanto, en azul.

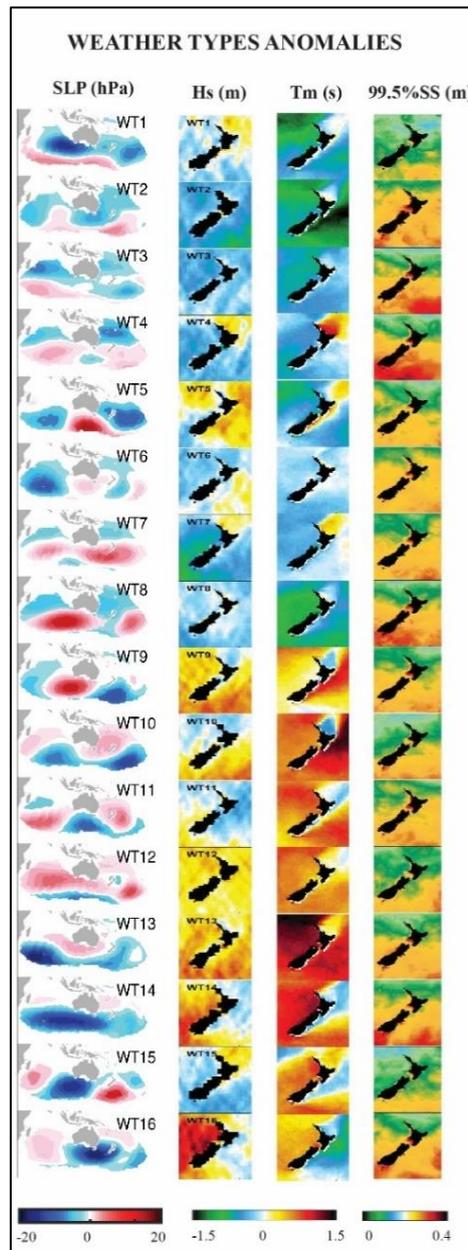


Figura 11: De izquierda a derecha se representan los mapas sinópticos de SLP, Hs, Tm y el percentil 99,5% de la marea meteorológica. (Fuente: Rueda et. al; (en revisión))



En la figura 12 se pueden observar las probabilidades anuales de ocurrencia de cada WT para el periodo empleado en este trabajo (1900 – 2010). Se observa falta de homogeneidad en algunos tramos anteriores a 1950 -1960, que puede deberse a la escasez de mediciones en el hemisferio sur a principios de siglo XX, asimilados en la base de datos empleada (20CR) (Rueda et al., (en revisión)).

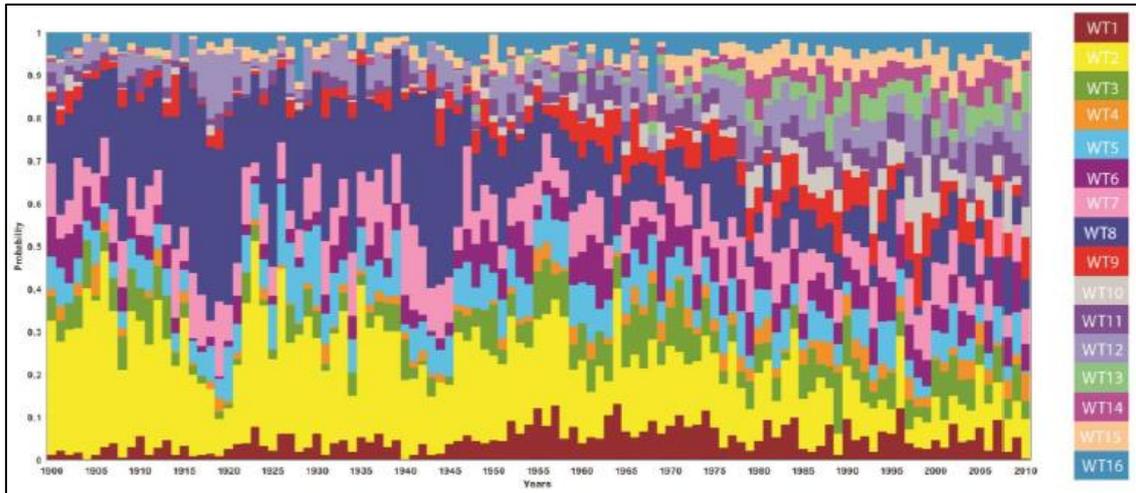


Figura 12: Probabilidades de ocurrencia de los WT anualmente, para un periodo de 1900 a 2010 con los datos reconstruidos del 20CR (Fuente: Rueda et. al, (en revisión))

Como es de esperar, esta heterogeneidad no se aprecia únicamente en las probabilidades de ocurrencia de los WT, sino que se observan también en los datos reconstruidos de marea meteorológica o altura de ola significativa. Esto se debe a que para ambos procesos se ha empleado la misma base de datos atmosférica (20CR) (figura 13).

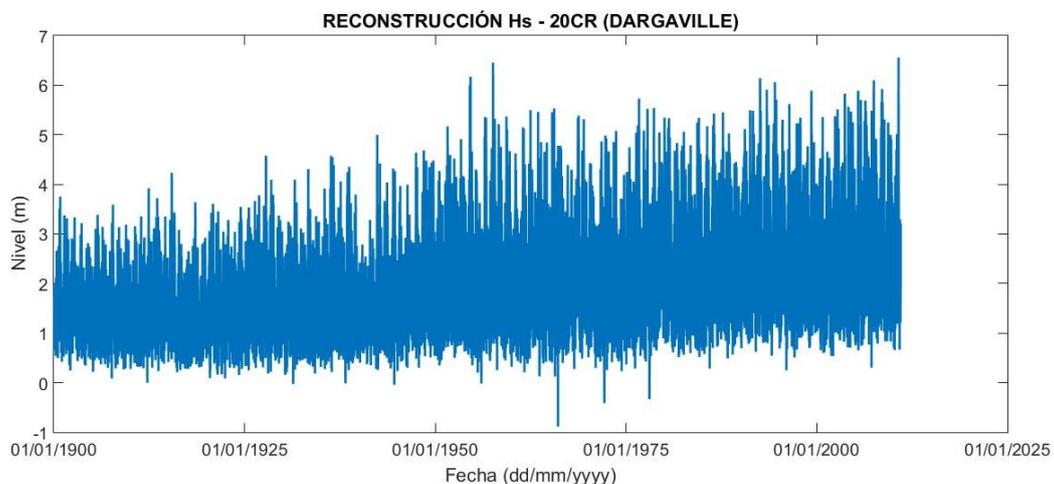


Figura 13: Reconstrucción de altura de ola significativa en Dargaville. Se aprecia un comportamiento heterogéneo, acusándose la diferencia en las décadas anteriores a 1950



Esta heterogeneidad se va a analizar en el apartado 5.1, al buscar eventos de inundación en estos años de principio de siglo y comprobar si la proporción de WT's asociados es similar a la proporción en la segunda mitad de siglo.

Una vez conocidos los estados de mar asociados a cada grupo, se puede saber qué WT's representan situaciones más energéticas o las situaciones atmosféricas que las provocan, y si estas se traducen en eventos de inundaciones en las costas neozelandesas.

4. EVENTOS DE INUNDACIÓN COSTERA EN NUEVA ZELANDA

Tal y como se recoge en el apartado 1.3. de este trabajo, el mar y los eventos relacionados con él, afectan mucho a un país insular como Nueva Zelanda. No sólo influye que sea un país con muchos kilómetros de costa, sino que la superficie de la isla está distribuida de forma que no hay ningún lugar en las dos islas principales que esté a más de 120 km de la costa. También hay que tener en cuenta la altitud media del terreno, que se recoge en la tabla 4:

REGIÓN	ISLA	ALTITUD MEDIA REGIÓN APROX. (m)	ALTITUD MEDIA ISLA APROX. (m)
Northland	Norte	72	71
Auckland		8	
Waikato		111	
Bay of Plenty		82	
Gisborne		3	
Bahía de Hawke		76	
Taranaki		147	
Wanganui		94	
Wellington		47	
Tasman		Sur	
Marlborough	12		
Canterbury	64		
West Coast	7		
Otago	149		
Southland	26		

Tabla 4: Altitud media por regiones e islas en Nueva Zelanda

La escasa altitud media de las regiones neozelandesas, así como la cantidad de ríos existentes, favorecen las inundaciones en zonas interiores, en las ocasiones en que se combinan fuertes lluvias (que producen un ascenso del caudal de los ríos) con fuertes mares (que en algunos casos pueden taponar la desembocadura de los ríos, agravando los fenómenos de inundación).



Es habitual encontrar noticias de inundaciones en cualquier periódico neozelandés. Todos los meses se registran varios problemas de crecidas de ríos, fuertes oleajes o mareas anormalmente altas, que provocan daños sobre infraestructuras costeras (autovías, diques, edificios de viviendas, casas individuales, tierras de cultivo, etc.). Sin embargo, el presente trabajo debe centrarse exclusivamente en los fenómenos generados sobre la línea de costa por causa de los estados de mar. Por este motivo se establecen una serie de filtros a la hora de realizar la búsqueda en hemerotecas.

Las hemerotecas empleadas para la localización de eventos de inundación costera varían en función de la época buscada. En la tabla 5 solo se recogen las principales hemerotecas consultadas, sin incluir aquellas fuentes empleadas de forma puntual (estas aparecen en la tabla 6, donde se recoge la fuente de cada evento particular):

Hemeroteca	Periodo que abarca
Papers Past	1839 – 1949
NIWA	1900 – 2017
Diario online "Stuff"	2000 – 2017
Diario "New Zealand Herald"	1863 – 2017

Tabla 5: Principales hemerotecas utilizadas en la recopilación de datos.

Papers Past es una sección de la National Library of New Zealand (NatLib) que consta de un registro de hojas de periódico, revistas, cartas, diarios y papeles oficiales. Cuenta con millones de artículos de hasta 100 periódicos, permitiendo realizar búsqueda de palabras clave. Para localizar eventos de inundación en esta hemeroteca, algunos de los términos empleados han sido: *storm tides; heavy seas; tidal flooding; bay flood; breakers; wash over; big seas; inrush of the sea; sea comes in; sea subsiding* o *sea invasion*.

Esta hemeroteca permite obtener en PDF el artículo en sí, o la página entera donde aparece dicho artículo. Para tener la noticia en su contexto, ubicada por fecha y localización, se optó por guardar las páginas de periódico en PDF, de todos los eventos registrados a través de Papers Past (figura 14).



Figura 14: Página del Otago Witness. Registro del evento del 15-02-1918 en Opatiki, AU.

NIWA (National Institute of Water and Atmospheric Research) posee un catálogo de eventos atmosféricos de carácter histórico en su página web. Se trata de una hemeroteca muy completa que ha registrado los principales eventos remarcables de inundación, lluvia, nieve, tornados, deslizamiento de terreno, etc. En este sentido, se ha realizado la búsqueda de eventos de carácter costero (Hazard: Maritime/Coastal). También permite filtrar los eventos en función de los impactos producidos, ya sea sobre el área afectada, la vida animal, la necesidad de evacuar a la población, los daños materiales, etc. Dado que el objetivo de este trabajo no se enfoca en un impacto particular, sino en cualquier evento que haya producido inundación, no se aplicó ningún filtro a la búsqueda.

Tras consultar las dos hemerotecas anteriores, existían eventos localizados geográficamente, pero en un intervalo temporal con cierta incertidumbre. Esto se debe a que alguno de los eventos registrados en el catálogo de NIWA, aparecen asociados a una tormenta de varios días, sin especificar en qué día concreto se produjo la inundación. Definir el día exacto de la inundación resulta importante de cara a buscar coincidencias con los niveles de TWL, así como a la hora de agrupar los eventos en los WT, parte fundamental para entender que estados atmosféricos y del mar provocan las inundaciones.



Por lo tanto, en aras de lograr un registro lo más completo posible, se logró entrar en contacto con la *Alexander Turnbull Library* vía email, para obtener nuevas referencias de búsqueda. Gracias a esta comunicación se establecieron dos fuentes importantes de información en Nueva Zelanda, a partir de las cuales se logró localizar nuevos eventos, o definir la fecha exacta de aquellos que carecían de ella. Dichas hemerotecas son los dos periódicos (uno de ellos exclusivamente online) con más información a nivel nacional de Nueva Zelanda, *Stuff* y *New Zealand Herald*.

La tabla 6 recoge todos los eventos registrados que se han podido localizar en las hemerotecas mencionadas en los párrafos precedentes a este. De cada evento se registra:

- ✚ Localización del evento registrado en las hemerotecas
- ✚ La fecha del evento
- ✚ Las coordenadas en las que tuvo lugar la inundación
- ✚ Una descripción breve de los principales daños causados y/o causas.
- ✚ El enlace a la noticia en la hemeroteca vía web.
- ✚ El WT al que se asocia un determinado evento

El proceso para elaborar la tabla 6 se divide en dos fases. Por un lado se localizan eventos en una búsqueda inicial de carácter general, en las hemerotecas descritas, buscando eventos de inundación costera en Nueva Zelanda a lo largo del siglo XX, independientemente de la causa, el lugar o el momento. Por otro lado, una vez calculadas las series de TWL, se realizó otro proceso de búsqueda, basado en tratar de localizar eventos en fechas concretas, al tener picos de nivel que no habían sido registrados durante la búsqueda inicial.

En la figura 15 se detalla la localización de todas las ciudades y regiones que sufrieron inundación costera en uno o varios momentos del siglo XX. Como se expuso en el apartado 1.2., la isla norte está más poblada (fundamentalmente la región de Auckland, la más poblada del país, y la capital, Wellington), lo que se traduce en un mayor número de infraestructuras que pueden verse afectadas, por lo que existen un mayor número de eventos registrados. Por otro lado, en la isla sur se encuentra la región de Canterbury, la segunda más poblada del país, que ha sufrido el impacto del océanos en tres de sus ciudades más pobladas (*Christchurch*, *Timaru* y *Kaikoura*).



Figura 15: Localizaciones que sufrieron inundación costera en el intervalo 1900 - 2013



Lugar	Día	Mes	Año	Longitud	Latitud	Descripción breve	Enlace	WT
Whangarei	4	Feb	1904	174,3770	-35,7716	Un fuerte vendaval del nordeste, con mucha lluvia y la marea más alta de los 20 años anteriores. El nivel del mar alcanzó el tope del muelle, y llegó a inundar las partes bajas de la ciudad	https://paperspast.natlib.govt.nz/newspapers/TDN19040205.2.21?query=Storm%20and%20flood	2
Wairoa	6	Mar	1904	177,4303	-39,0790	Daños importantes en la coronación de un dique en Wairoa, quedando las casas de la costa afectadas por el oleaje.	https://paperspast.natlib.govt.nz/newspapers/GRA19040307.2.37?query=Flood%20damage	8
Opotiki	9	Mar	1904	177,2697	-37,9834	Opotiki y mucha tierra de la bahía de Plenty fue sumergida por el efecto del mar, hasta 12 pies. Los habitantes tuvieron que ser rescatados por barcos y canoas del puerto.	https://paperspast.natlib.govt.nz/newspapers/NZTIM19040307.2.44?query=%20opotiki	8
Nelson	14	Mar	1910	173,2606	-41,2699	Un vendaval del noroeste y las mareas vivas causaron que muchas partes de la ciudad, incluidas carreteras principales, acabaran sumergidas. Afección a edificaciones públicas como la oficina de correos.	https://paperspast.natlib.govt.nz/newspapers/NA19100315.2.21.4?query=sea%20invades	8

Tabla 6: Eventos de inundación registrados en Nueva Zelanda desde 1900 a 2010



Lugar	Día	Mes	Año	Longitud	Latitud	Descripción breve	Enlace	WT
Awatoto	17	Jul	1912	176,9219	-39,5438	La subida del mar bloqueó la boca del río Ngaruroro, inundando el distrito de Awatoto hasta Clive. También provocó el corte de la carretera de Clive a Napier	https://paperspast.natlib.govt.nz/newspapers/HAST19120718.2.30?query=Clive%20inundation	8
Waipiro	9	Abr	1913	178,3365	-38,0188	El mar inundó una casa en la costa, cuyos habitantes tuvieron que ser evacuados.	https://paperspast.natlib.govt.nz/newspapers/TC19130410.2.38.3?query=sea%20invades	8
Hokitika	11	Abr	1914	177,3044	-37,9845	Aprobación de medidas de protección contra el mar, pues el estado de las mareas obligó a retirar todas las mercancías del paseo costero.	https://paperspast.natlib.govt.nz/newspapers/WT19140411.2.32?query=Hokitika%20inundation	2
Gisborne	19	May	1914	178,0115	-38,6738	Inundación en la subida de la marea alta, que produjo graves daños en el ferrocarril, suspendiendo el tráfico por una semana. Las carreteras y puentes de acceso fueron cortados durante algún tiempo.	https://paperspast.natlib.govt.nz/newspapers/TC19140520.2.40.2?query=washouts	8
Hokitika beach	6	Abr	1915	177,3044	-37,9845	Las mareas vivas y la marejada produjeron la erosión de la playa de Hokitika. Además, el mar inundó varias propiedades, que fueron seriamente dañadas.	https://paperspast.natlib.govt.nz/newspapers/PBH19150406.2.47?query=enrocaching	8

Tabla 6: Eventos de inundación registrados en Nueva Zelanda desde 1900 a 2010 (continuación)



Lugar	Día	Mes	Año	Longitud	Latitud	Descripción breve	Enlace	WT
Takapuna	14	Feb	1918	174,7792	-36,7902	Una pequeña casa al pie de la avenida Minnehaha fue completamente destrozada por el mar. Otra residencia fue inundada. El antiguo puerto de Takapuna fue destruido	https://hwe.niwa.co.nz/event/February_1918_Upper_North_Island_High_Seas	8
Opotiki	15	Feb	1918	177,2697	-37,9834	Tormentas excepcionales acompañadas de mareas de altura record, permitieron que el mar cubriera partes de la carretera entre Opotiki y Ohiwa. También se destruyeron partes del puerto	https://paperspast.natlib.govt.nz/newspapers/OW19180220.2.44?query=Gale%20in%20the%20north	8
Waihi Beach	4	Mar	1918	175,9436	-37,4044	Como resultado del oleaje, varias cabañas fueron parcialmente desplazadas de su posición, mientras que una gran cantidad de mobiliario y otras propiedades fueron totalmente destruidas.	https://hwe.niwa.co.nz/event/March_1918_North_Island_Heavy_Seas	4
Napier	5	Mar	1918	176,8896	-39,4744	La fuerte marejada provocó graves daños en los puertos de la zona de Napier. Inundación de varios almacenes en el puerto, y la imposibilidad de llegar a atracar de algunos cargueros	http://trove.nla.gov.au/newspaper/article/155102630?searchTerm=Heavy%20seas%20on%20new%20zealand%20coast&searchLimits=	4

Tabla 6: Eventos de inundación registrados en Nueva Zelanda desde 1900 a 2010 (continuación)



Lugar	Día	Mes	Año	Longitud	Latitud	Descripción breve	Enlace	WT
Ahipara	18	Mar	1918	173,1532	-35,1644	En la bahía Ahipara, los edificios sufrieron graves daños estructurales en las cimentaciones, que estaban inundadas.	https://hwe.niwa.co.nz/event/March_1918_New_Zealand_High_Winds_and_Heavy_Seas_and_Wildfire	8
Kohimarama	18	Mar	1918	174,845	-36,8493	Las marea anormalmente altas, junto con un fuerte oleaje, provocaron que las casas quedaran rodeadas por el agua, llegando incluso a entrar en algunas. Muchos jardines frontales en las casas de la costa se perdieron, quedando cubiertos de tierra.	https://hwe.niwa.co.nz/event/March_1918_New_Zealand_High_Winds_and_Heavy_Seas_and_Wildfire	8
Greymouth	26	Ago	1920	171,1947	-42,4427	Las olas se comieron la playa y llegaron a un lago cercano, ocupando toda la carretera circundante	https://paperspast.natlib.govt.nz/newspapers/grey-river-argus/1920/8/27/3	12
Hokitika	26	Ago	1920	177,3044	-37,9845	Por un vendaval del noroeste, el mar inundó la parte norte de la ciudad, teniendo que ser desalojados varios edificios	https://paperspast.natlib.govt.nz/newspapers/grey-river-argus/1920/8/27/3	12
Sumner	6	Jul	1925	172,7657	-43,5705	La marea alta y el oleaje en el estuario de Sumner provocaron que el agua inundara los alrededores	https://paperspast.natlib.govt.nz/newspapers/NZH19250710.2.89?query=surge%20of%20the%20tide	8

Tabla 6: Eventos de inundación registrados en Nueva Zelanda desde 1900 a 2010 (continuación)



Lugar	Día	Mes	Año	Longitud	Latitud	Descripción breve	Enlace	WT
Dunedin	19	Mar	1929	170,5216	-45,9117	En el artículo del 22/05/1929 se menciona una importante inundación en Dunedin por un mal funcionamiento del puerto, lo cual provocó el pago de indemnizaciones.	https://paperspast.natlib.govt.nz/newspapers/EP19290522.2.89?query=Flood%20Damage	8
Solomons Point	11	May	1929	174,4395	-35,7791	La superficie de la carretera estaba totalmente sumergida en la mayoría de tramos, hasta una profundidad de 60 - 90 cm.	https://hwe.niwa.co.nz/event/May_1929_North_Island_Storm	8
Opotiki	5	May	1934	177,2697	-37,9834	El fuerte vendaval provocó una de las mayores mareas hasta la fecha del evento. El oleaje rompió sobre algunas carreteras, creando dificultades al tráfico pesado y ligero.	https://paperspast.natlib.govt.nz/newspapers/AS19340505.2.112?query=Record%20tides	8
Golfo de Hauraki	26	Mar	1936	175,4009	-37,2118	Altura récord del oleaje por un fuerte vendaval del este. Las mareas vivas invadió las casas, parte del puerto (con la rotura de un muro) y los comercios circundantes.	https://paperspast.natlib.govt.nz/newspapers/NZH19360327.2.86?query=Cyclonic%20storm	8

Tabla 6: Eventos de inundación registrados en Nueva Zelanda desde 1900 a 2010 (continuación)



Lugar	Día	Mes	Año	Longitud	Latitud	Descripción breve	Enlace	WT
North Shore - Hauraki	26	Mar	1936	174,7870	-36,7970	Por el mismo motivo que el evento en el Golfo de Hakauri (1936), se alcanzaron olas de 12 pies que llegaron a romper en la playa y pasaron sobre el muro del puerto e incluso arrancaron casas de sus cimentaciones.	https://paperspast.natlib.govt.nz/newspapers/NZH19360327.2.86?query=Cyclonic%20storm	8
St. Heliers	26	Mar	1936	174,8565	-36,8495	Con la marea alta se produjo la inundación de los terrenos próximos al mar, y la rotura del muro de hormigón en Mission Bay. La rotura produjo la inundación de tiendas cercanas y el corte de la carretera costera	https://paperspast.natlib.govt.nz/newspapers/NZH19360327.2.86?query=Cyclonic%20storm	8
Hauraki	6	May	1938	175,4009	-37,2118	Inundación de las llanuras Hauraki, motivadas por un fuerte vendaval, fuertes lluvias y una marea muy alta. Inundadas tierras y casas	https://paperspast.natlib.govt.nz/newspapers/NZH19380507.2.146?query=Flooded%20plains	8
Onehunga	30	Ene	1940	174,7814	-36,9292	Un vendaval del oeste sirvió para aumentar el poder de la marea. El agua pasó el dique e inundó las carreteras cercanas.	https://paperspast.natlib.govt.nz/newspapers/EP19400130.2.84?query=Exceptional%20tides	2

Tabla 6: Eventos de inundación registrados en Nueva Zelanda desde 1900 a 2010 (continuación)



Lugar	Día	Mes	Año	Longitud	Latitud	Descripción breve	Enlace	WT
Wellington	30	Ene	1940	174,7785	-41,3466	Inundación debida a una combinación de las mareas de primavera y lecturas bajas del barómetro. Se inundaron bastantes sótanos, necesitando ser achicados y bombeados. Los edificios principales de la ciudad, como la biblioteca, tuvieron que ser protegidos	https://paperspast.natlib.govt.nz/newspapers/EP19400130.2.84?query=Exceptional%20tides	2
Barrytown	25	Feb	1940	171,3035	-42,2364	La carretera costera cerca de Barrytown fue inundada en marea alta, cerrándola al tráfico durante unas horas. A la noche siguiente, volvió a quedar impracticable.	https://paperspast.natlib.govt.nz/newspapers/CHP19400227.2.62?query=Floods%20on%20west%20coast	2
North Beach, Greymouth	25	Feb	1940	171,1947	-42,4427	El mar invadió una planta trituradora de piedra en la playa, y llegó a alcanzar las tierras de cultivo próximas, sin muchos daños.	https://paperspast.natlib.govt.nz/newspapers/CHP19400227.2.62?query=Floods%20on%20west%20coast	2
Redcliffs	13	Jun	1941	172,7430	-43,5630	Inundación provocada por mareas altas y el efecto de fuertes vientos. Provocó el corte de varias carreteras y el desvío de alguna línea de autobús.	https://paperspast.natlib.govt.nz/newspapers/CHP19410613.2.36?query=High%20tides%20again	5

Tabla 6: Eventos de inundación registrados en Nueva Zelanda desde 1900 a 2010 (continuación)



Lugar	Día	Mes	Año	Longitud	Latitud	Descripción breve	Enlace	WT
Aramoana	28	Feb	1945	170,7057	-45,7821	El dique de entrada al puerto sufrió daños severos. El agua arrancó trozos de roca de dicho dique y los esparció por carreteras, muelles y vías de ferrocarril cercanas.	https://hwe.niwa.co.nz/event/February_1945_Otago_High_Winds	8
Kopuarahi	18	Jun	1947	175,4921	-37,1921	Fue la peor inundación de 1947 en lo que a daños se refiere. Se cubrieron unas 160 hectáreas de terreno agrícola. El daño a los cultivos al ser agua salada, fue devastador.	https://hwe.niwa.co.nz/event/June_1947_North_Island_High_Seas	1
Miranda	18	Jun	1947	175,3225	-37,1866	Inundación considerable en Miranda, así como en las carreteras de acceso. En algunos casos, las carreteras fueron fuertemente erosionadas, obligando a desviar el tráfico por la playa en algún momento.	https://hwe.niwa.co.nz/event/June_1947_North_Island_High_Seas	1

Tabla 6: Eventos de inundación registrados en Nueva Zelanda desde 1900 a 2010 (continuación)



Lugar	Día	Mes	Año	Longitud	Latitud	Descripción breve	Enlace	WT
Waitara	19	Jun	1947	174,2125	-38,9877	Lo mares picados chocaron contra cabañas situadas 50 pies sobre el nivel normal del agua. Las cabañas estaban situadas en una depresión detrás de unas dunas de arena. Los habitantes tuvieron que ser evacuados, ya que las olas rompieron ventanas e hicieron daño estructural	https://hwe.niwa.co.nz/event/June_1947_North_Island_High_Seas	1
Wellington	19	Jun	1947	174,7852	-41,2853	El agua se infiltró en los sótanos de muchos edificios y los bienes allí guardados también sufrieron daños. Al ser la capital muchos edificios se vieron afectados, incluidos algunos importantes como la Oficina general de correos o el ayuntamiento	https://hwe.niwa.co.nz/event/June_1947_North_Island_High_Seas	1
Devonport	20	Jun	1947	174,78	-36,7902	Por más de media hora durante la marea alta, la calle Lake, en su parte más cercana al antiguo hipódromo de Takapuna, estaba bajo el agua con una profundidad de 30 cm	https://hwe.niwa.co.nz/event/June_1947_North_Island_High_Seas	1

Tabla 6: Eventos de inundación registrados en Nueva Zelanda desde 1900 a 2010 (continuación)



Lugar	Día	Mes	Año	Longitud	Latitud	Descripción breve	Enlace	WT
Pipiroa	20	Jun	1947	175,456	-37,2046	Las granjas fueron inundadas y una casa fue completamente rodeada por el agua, la cual alcanzaba una profundidad de 90 cm. Una marea alta excepcional provocó que la inundación de estas tierras prosiguiera por 3 días.	https://hwe.niwa.co.nz/event/June_1947_North_Island_High_Seas	1
Onehunga	21	Jun	1947	174,7732	-36,9278	Un fuerte viento del oeste coincidió con una marea alta excepcional, causando inundaciones en la costa de Onehunga. Se estimó que el nivel alcanzado fue el mayor en 15 años. El puente Mangere y otras calles costeras fueron parcialmente inundados.	https://hwe.niwa.co.nz/event/June_1947_North_Island_High_Seas	1
Lado oriental de la isla norte	25	Mar	1947	-	-	Se vieron afectadas 60 millas de costa, con 2 mareas de 30 pies, que inundaron las casas, tiendas, hoteles, granjas y autopistas próximas al mar.	http://trove.nla.gov.au/newspaper/page/20541726	8
Maniaia	22	Ago	1951	175,4696	-36,8546	El mar cruzó la carretera al sur del pueblo, siendo inaccesible al tráfico	https://hwe.niwa.co.nz/event/August_1951_Upper_North_Island_Storm	1

Tabla 6: Eventos de inundación registrados en Nueva Zelanda desde 1900 a 2010 (continuación)



Lugar	Día	Mes	Año	Longitud	Latitud	Descripción breve	Enlace	WT
Cornwallis	6	Mar	1954	174,5926	-37,0116	Las mareas más altas en 30 años inundaron CornWallis, en el puerto de Manukau	https://hwe.niwa.co.nz/event/March_1954_North_Island_and_Tasman-Nelson_Storm	8
Manaia	6	Mar	1954	175,4696	-36,8546	Hubo inundaciones donde las mareas más altas en años fueron registradas. Tres pies de agua bloquearon alguna carretera.	https://hwe.niwa.co.nz/event/March_1954_North_Island_and_Tasman-Nelson_Storm	8
Milford	6	Mar	1954	174,7704	-36,7677	Unidades del ejército fueron requeridas para salvar las casas y los almacenes en peligro, cuando el mar rompió el dique en la playa Milford. Un restaurante en la calle Milford fue parcialmente inundado por las mareas.	https://hwe.niwa.co.nz/event/March_1954_North_Island_and_Tasman-Nelson_Storm	8
Ohope	6	Mar	1954	177,0525	-37,9652	Un daño valorado en miles de dólares fue realizado a la playa de Ohope. Una carretera privada de acceso fue destruida en un tramo de 91 m, y una familia tuvo que ser evacuada.	https://hwe.niwa.co.nz/event/March_1954_North_Island_and_Tasman-Nelson_Storm	8

Tabla 6: Eventos de inundación registrados en Nueva Zelanda desde 1900 a 2010 (continuación)



Lugar	Día	Mes	Año	Longitud	Latitud	Descripción breve	Enlace	WT
Raglan	8	Mar	1954	174,8593	-37,8027	Debido a una marea excepcionalmente alta, el agua cubrió la mayor parte del camping de Kopua. En muchos sitios, el agua inundó la carretera entre el camping y el pueblo.	https://hwe.niwa.co.nz/event/March_1954_North_Island_and_Tasman-Nelson_Storm	8
Mangere	20	May	1954	174,7586	-36,9543	El agua llegó a la zona de Mangere Breach, y muchos coches fueron paralizados. El paso elevado hacia la isla Puketutu estaba cubierto con agua y era impracticable.	https://hwe.niwa.co.nz/event/May_1954_Upper_North_Island_Flooding	2
Wellington	14	Feb	1965	174,7914	-41,2902	El club de surf fue totalmente destruido, con un coste de 350.000\$. Las olas impactaron en varias carreteras, llenándolas de algas y escombros.	https://hwe.niwa.co.nz/event/February_1965_North_Island_Storm	4
Waiotahi	9	Abr	1968	177,1953	-37,9888	200 ha de tierra agrícola quedó bajo agua salada, perdiéndose los cultivos. Muchos animales de granja murieron.	https://hwe.niwa.co.nz/event/April_1968_New_Zealand_Ex-tropical_Cyclone_Giselle	3
Whakatane	9	Abr	1968	176,9974	-37,9374	En zonas rurales, el oleaje alcanzó zonas interiores, inundando hectáreas de cultivos.	https://hwe.niwa.co.nz/event/April_1968_New_Zealand_Ex-tropical_Cyclone_Giselle	3

Tabla 6: Eventos de inundación registrados en Nueva Zelanda desde 1900 a 2010 (continuación)



Lugar	Día	Mes	Año	Longitud	Latitud	Descripción breve	Enlace	WT
Haumoana	4	May	1971	176,9523	-39,6058	El mar rompió un muro e inundó las partes bajas del pueblo. El aparcamiento para caravanas se inundó también, afectando a varios vehículos. Dos casas fueron rodeadas por agua y tuvieron que ser evacuadas.	https://hwe.niwa.co.nz/event/May_1971_Hawkes_Bay_Storm	2
Mission Bay	16	May	1972	174,832	-36,8464	Un vendaval del nordeste ayudó a la marea alta a producir inundaciones en las proximidades de la costa de Auckland. Un grupo de carreteras fueron cortadas por el agua. Un grupo de tiendas en la avenida Patteson fueron las principales víctimas de la inundación.	https://hwe.niwa.co.nz/event/May_1972_New_Zealand_Storm	7
Clive	16	Ago	1974	176,9359	-39,5799	El agua del mar inundó 300 hectáreas de suelo urbano y agrícola. De hecho, formó un lago desde Clive a East Clive. Fue la primera vez en 20 años que el mar avanzó tanto hacia el interior. En Clive llegaron a estar rodeados de agua el hotel, la farmacia o los supermercados.	https://hwe.niwa.co.nz/event/August_1974_Hawkes_Bay_Heavy_Seas	1

Tabla 6: Eventos de inundación registrados en Nueva Zelanda desde 1900 a 2010 (continuación)



Lugar	Día	Mes	Año	Longitud	Latitud	Descripción breve	Enlace	WT
Haumoana	16	Ago	1974	176,9523	-39,6058	Graves daños en distintas partes de las casas (garaje, vestíbulo, ventanas) provocadas por rocas y grava. Algunos muebles y añadidos incluso desaparecieron y fueron a parar al mar. Dos habitantes tuvieron que mudarse. Algunos apartamentos sufrieron una destrucción total	https://hwe.niwa.co.nz/event/August_1974_Hawkes_Bay_Heavy_Seas	1
Kakanui	18	Ago	1974	170,9098	-45,1784	La isla sur se vió afectada después que la norte. Las tierras de cultivo se inundaron por el oleaje en Kakanui.	https://hwe.niwa.co.nz/event/August_1974_Hawkes_Bay_Heavy_Seas	1
Te Awanga	16	Ago	1974	176,9817	-39,6321	5 familias evacuadas. La carretera de acceso tuvo que ser cortada. Hubo daño a propiedades y terrenos.	https://hwe.niwa.co.nz/event/August_1974_Hawkes_Bay_Heavy_Seas	1
Cooks Beach	19	Jul	1978	175,7418	-36,8362	La playa sufrió una grave erosión, con 18 m de playa removidos. Cerca de la misma, 4 casas fueron casi completamente socavadas y otras 7 sufrieron erosión en la propiedad. Las olas golpearon fuertemente las ventanas de algunas casas.	https://hwe.niwa.co.nz/event/July_1978_North_Island_Storm	1

Tabla 6: Eventos de inundación registrados en Nueva Zelanda desde 1900 a 2010 (continuación)



Lugar	Día	Mes	Año	Longitud	Latitud	Descripción breve	Enlace	WT
Leigh	19	Jul	1978	174,7972	-36,3025	Concretamente en la parte de la bahía de Mathesons. Las instalaciones de la zona de picnic fueron destruidas, y el área quedó con restos de limos y escombros.	https://hwe.niwa.co.nz/event/July_1978_North_Island_Storm	1
Paihia	19	Jul	1978	174,0944	-35,2834	Las olas llegaron a cerrar la carretera en Paihia y a inundar los pastos cercanos.	https://hwe.niwa.co.nz/event/July_1978_North_Island_Storm	1
Tairua	20	Jul	1978	175,8514	-37,0065	El puerto de Tairua fue inundado parcialmente, dificultando su operatividad. Sufrió una grave erosión, siendo la entrada al puerto el doble de ancho en sólo 48 horas. Entre 40 y 50 casas en la calle Manaia fueron rodeadas por el agua.	https://hwe.niwa.co.nz/event/July_1978_North_Island_Storm	1
Whitianga	20	Jul	1978	175,7015	-36,8197	Se declaró el estado de emergencia en el área de Whitianga. Bomberos voluntarios y otros, ayudaron a colocar sacos de arena en una larga extensión del sendero de la Esplanade Road. Estos fueron removidos por el mar, y algunas de las casas experimentaron inundaciones.	https://hwe.niwa.co.nz/event/July_1978_North_Island_Storm	1

Tabla 6: Eventos de inundación registrados en Nueva Zelanda desde 1900 a 2010 (continuación)



Lugar	Día	Mes	Año	Longitud	Latitud	Descripción breve	Enlace	WT
Tairua	13	Abr	1981	175,8497	-37,0065	La inundación por el efecto combinado de marea alta y alturas de ola elevadas, cerró la autopista del sur del pueblo, la que se dirige a Hikuai, durante un día.	https://hwe.niwa.co.nz/event/April_1981_Waikato_Stream	2
Hikuai	13	Jul	1987	175,8869	-37,0193	El agua inundó la autopista estatal 25 en la noche del 13, y con la marea alta el 14.	https://hwe.niwa.co.nz/event/July_1987_Waikato_Stream	5
Totara	13	Jul	1987	175,5488	-37,1681	La autopista estatal 26 se inundó con la marea alta.	https://hwe.niwa.co.nz/event/July_1987_Waikato_Stream	5
Whitianga	7	Mar	1988	175,7015	-36,8197	El ciclón extratropical Bola golpeó a muchas regiones en la isla norte. Se dieron fuertes lluvias, vientos y mareas que produjeron el estado de alerta en varias regiones, así como daños a personas y viviendas	https://hwe.niwa.co.nz/event/March_1988_North_Island_Extra-tropical_Cyclone_Bola	4
Thames	14	Jul	1995	175,5254	-37,1302	Lugares como Moanataiari y Grahamstown, en el distrito de Thames, fueron inundadas por el efecto de la marea meteorológica, lluvia y marea astronómica. 30 personas evacuadas.	https://hwe.niwa.co.nz/event/July_1995_New_Zealand_Flooding_and_Snow	5

Tabla 6: Eventos de inundación registrados en Nueva Zelanda desde 1900 a 2010 (continuación)



Lugar	Día	Mes	Año	Longitud	Latitud	Descripción breve	Enlace	WT
Mission Bay	10	Ene	1997	174,7941	-36,8499	Tamaki Drive se cerró entre la calle Ngapipi y la calle Strand porque el agua inundaba ciertos tramos.	https://hwe.niwa.co.nz/event/January_1997_New_Zealand_Ex-tropical_Cyclone_Drena	4
New Plymouth	10	Ene	1997	174,0694	-39,055	Grandes olas fueron aumentadas por un vendaval del norte, combinado con mareas vivas. Muchas casas fueron inundadas, y los turistas tuvieron que ser evacuados de la costa.	https://hwe.niwa.co.nz/event/January_1997_New_Zealand_Ex-tropical_Cyclone_Drena	4
Ruby bay y Nelson	11	Ene	1997	173,0695	-41,2363	Vendavales del norte, combinado con mareas vivas. Algunas casas se inundaron.	https://hwe.niwa.co.nz/event/January_1997_New_Zealand_Ex-tropical_Cyclone_Drena	4
Thames	10	Ene	1997	175,5385	-37,1366	Se declaró el estado de emergencia en el distrito de Thames. Se produjo la peor inundación en 50 años, afectando a 44 casas con graves daños y otras 33 sufrieron daños materiales en mobiliario y pertenencias varias. Carreteras cortadas en más de 30 km.	https://hwe.niwa.co.nz/event/January_1997_New_Zealand_Ex-tropical_Cyclone_Drena	4

Tabla 6: Eventos de inundación registrados en Nueva Zelanda desde 1900 a 2010 (continuación)



Lugar	Día	Mes	Año	Longitud	Latitud	Descripción breve	Enlace	WT
Ohawini Bay	11	Mar	1997	174,3445	-35,3771	Una familia tuvo que ser evacuada en la bahía Ohawini, por el nivel de agua y la fuerza del oleaje	https://hwe.niwa.co.nz/event/March_1997_North_Island_Ex-tropical_Cyclone_Gavin	4
Paihia	11	Mar	1997	174,0867	-35,2776	50 m de dique colapsaron por un enorme oleaje, así como mareas inusualmente altas.	https://hwe.niwa.co.nz/event/March_1997_North_Island_Ex-tropical_Cyclone_Gavin	4
Tutukaka	11	Mar	1997	174,5421	-35,6159	El sótano de varias casas costeras en Tutukaka fue inundado.	https://hwe.niwa.co.nz/event/March_1997_North_Island_Ex-tropical_Cyclone_Gavin	4
Ruby bay	29	Mar	1998	173,0695	-41,2363	Un ciclón provocó fuertes vendavales en la isla sur, que propició inundaciones costeras por fuertes oleajes.	https://hwe.niwa.co.nz/event/March_1998_Southern_NZ_Ex-tropical_Cyclone_Yali	9
Westport	29	Mar	1998	171,571	-41,737	Westport sufrió una inundación por las mismas condiciones que en Ruby Bay.	https://hwe.niwa.co.nz/event/March_1998_Southern_NZ_Ex-tropical_Cyclone_Yali	9

Tabla 6: Eventos de inundación registrados en Nueva Zelanda desde 1900 a 2010 (continuación)



Lugar	Día	Mes	Año	Longitud	Latitud	Descripción breve	Enlace	WT
Bahía de Auckland	17	Abr	1999	174,5656	-37,0011	Huia, Onehunga y Manukau fueron afectadas por una fuerte inundación que produjo importantes daños materiales en la población, al inundar las plantas bajas de las casas, y producirse un corte general de electricidad. La pleamar se combinó con sistemas de baja presión y vendavales del suroeste.	https://hwe.niwa.co.nz/event/April_1999_New_Zealand_Snow_and_Marine_Inundation	9
Raglan	17	Abr	1999	174,8655	-37,7972	Las causas y consecuencias de la inundación son los mismos que en Raglan. El vendaval, la pleamar y el sistema de bajas presiones afectaron a toda la costa oeste de Nueva Zelanda.	https://hwe.niwa.co.nz/event/April_1999_New_Zealand_Snow_and_Marine_Inundation	9
Hatfields Beach	3	Jul	2000	174,6952	-36,5654	Tuvo que construirse de emergencia un muro de piedra, así como colocar sacos de arena entre la playa y la autopista estatal 1, para parar la incursión del agua sobre dicha carretera con una marea inusualmente alta.	https://hwe.niwa.co.nz/event/July_2000_Upper_North_Island_Storm	12

Tabla 6: Eventos de inundación registrados en Nueva Zelanda desde 1900 a 2010 (continuación)



Lugar	Día	Mes	Año	Longitud	Latitud	Descripción breve	Enlace	WT
Northland	3	Jul	2000	174,4925	-35,5531	La tormenta de la primera semana de julio coincidió con una marea excepcionalmente alta. Grandes erosiones en las playas de la zona, especialmente Matapouri y Bream Bay	https://hwe.niwa.co.nz/event/July_2000_Upper_North_Island_Storm	12
Haumoana	29	Mar	2002	176,9523	-39,6058	Se hizo daño severo a la playa de Haumoana así como a sus casas, que tuvieron que ser evacuadas por fuertes oleajes durante la marea alta.	https://hwe.niwa.co.nz/event/March-April_2002_North_Island_and_Canterbury_High_Winds_and_Seas	2
Wellington	14	Ago	2004	174,7785	-41,3466	Las carreteras se vieron afectadas, en general con el vendaval y las lluvias que afectaron a todo el país. A esto hay que sumar las zonas costeras, donde las olas arrastraron restos de piedras y algas a las carreteras y a las líneas de ferrocarril. Tormenta de magnitud y causa similar a la de 1968.	http://www.nzherald.co.nz/nz/news/article.cfm?c_id=1&objectid=3585142	16

Tabla 6: Eventos de inundación registrados en Nueva Zelanda desde 1900 a 2010 (continuación)



Lugar	Día	Mes	Año	Longitud	Latitud	Descripción breve	Enlace	WT
Haumoana	9	Feb	2008	176,9273	-39,4881	Olas de hasta 6 m provocaron el traslado de rocas y guijarros bajo las casas, mientras los aparcamientos se inundaron y diversos escombros fueron arrojados cerca de los negocios próximos a la costa.	http://www.nzherald.co.nz/hawkes-bay-today/news/article.cfm?cid=1503462&objectid=10966273	8
Wainui	9	Feb	2008	178,0757	-38,686	Múltiples incidentes: Las olas llegaron a adentrarse en las propiedades de la gente. Los accesos a playas públicas y privadas fueron fuertemente dañados.	https://hwe.niwa.co.nz/event/February_2008_Gisborne_and_Hawkes_Bay_High_Seas	8
Carters Beach	4	Jul	2008	171,5466	-41,7467	Los fuertes oleajes, combinado con las mareas altas, ocuparon 15 m de playa. La carretera de acceso a la misma fue erosionada en muchas zonas, y se cerró el tramo de carretera que unía dos clubes costeros cercanos.	https://hwe.niwa.co.nz/event/July_2008_New_Zealand_Cold_Snap	16

Tabla 6: Eventos de inundación registrados en Nueva Zelanda desde 1900 a 2010 (continuación)



Lugar	Día	Mes	Año	Longitud	Latitud	Descripción breve	Enlace	WT
Paekakariki	22	Jul	2008	174,57	-40,5902	Olas enormes arrojaron escombros sobre las carreteras entre Pukerua Bay y Paekakariki. Arrastraron a un hombre al mar, que fue salvado por una vecina. Se rompieron protecciones, se inundó alguna casa, y las carreteras estaban intransitables	http://www.stuff.co.nz/national/545892/Destructive-storm-to-hit-New-Zealand	16
Playas de Kapiti Coast	22	Jul	2008	175,0402	-40,8189	Las condiciones de las carreteras cercanas a la costa de Kapiti las hicieron impracticables durante largos periodos de tiempo. Las olas de más de 5 metros sobrepasaron los diques e incluso lanzaron bloques a las carreteras.	https://hwe.niwa.co.nz/event/July_2008_Lower_North_Island_Storm	16
Puerto de Taranaki	22	Jul	2008	174,0387	-39,0591	Se observaron olas de mucha altitud. La tormenta trajo uno de los mayores temporales que afectaron al puerto en muchos años. Tuvieron que cerrarse muchos muelles, así como el aparcamiento próximo al muelle, totalmente impracticable.	https://hwe.niwa.co.nz/event/July_2008_Lower_North_Island_Storm	16

Tabla 6: Eventos de inundación registrados en Nueva Zelanda desde 1900 a 2010 (continuación)



Lugar	Día	Mes	Año	Longitud	Latitud	Descripción breve	Enlace	WT
Greymouth	23	Jul	2008	171,1947	-42,4427	Debido a la fuerte tormenta las olas pasaron los diques, lanzando los bloques de hormigón. En Blaketown, algunos de los enormes bloques de hormigón empleados para cortar el tráfico fueron totalmente desplazados	https://hwe.niwa.co.nz/event/July_2008_Lower_North_Island_Storm	16
Coopers Beach y Paihia	26	Jul	2008	173,5047	-34,9863	Las autopistas estatales 10 y 11 fueron cerradas por culpa de las olas lanzando rocas y residuos a la carretera. Aunque la inundación fue solo aquí, en muchos otros lugares se tuvieron que tomar precauciones.	https://hwe.niwa.co.nz/event/July_2008_North_Island_Weather_Bomb	12
Clifton	27	Jul	2008	177,0188	-39,6361	La zona del aparcamiento de caravanas siguió perdiendo metros de tierra al mar, que a lo largo del año llegó a ser de 12 m en total. Los vehículos tuvieron que ser evacuados por riesgo de pérdida, aunque al final no se alcanzaron las alturas de oleaje previstas.	http://www.nzherald.co.nz/hawkes-bay-today/news/article.cfm?cid=1503462&objectid=10972586	15

Tabla 6: Eventos de inundación registrados en Nueva Zelanda desde 1900 a 2010 (continuación)



Lugar	Día	Mes	Año	Longitud	Latitud	Descripción breve	Enlace	WT
Haumoana	30	Jul	2008	176,9523	-39,6058	Al menos 4 propiedades en la playa fueron dañadas por el mar y otra fue fuertemente amenazada, al estar parcialmente sumergida por grandes olas con la marea alta, ya que rompieron el muro de contención de la casa	https://hwe.niwa.co.nz/event/July_2008_New_Zealand_Severe_Storm	5
New Plymouth	31	Jul	2008	174,0388	-39,0602	El fuerte oleaje provocó la aparición de fragmentos de piedras en la pasarela para peatones del puerto, además de en el acceso del parking al puerto. Ambos tuvieron que ser cerrados todo el día por seguridad.	https://hwe.niwa.co.nz/event/July_2008_New_Zealand_Severe_Storm	5
Porirua	2	Ago	2008	174,8383	-41,1208	La carretera Titahi Bay fue cerrada al medio día debido a que el mar la había inundado parcialmente. 2 calles cercanas también se inundaron.	https://hwe.niwa.co.nz/event/August_2008_Central_New_Zealand_Heavy_Rain	1
Mokau	2	Ago	2008	174,6152	-38,6975	La costa de Mokau se vió afectada por fuertes oleajes. La gente con propiedades costeras llegaron a perder hasta 5 metros de terreno por estas inundaciones.	http://www.pressreader.com/new-zealand/taranaki-daily-news/20080805/281582351411508	1

Tabla 6: Eventos de inundación registrados en Nueva Zelanda desde 1900 a 2010 (continuación)



Lugar	Día	Mes	Año	Longitud	Latitud	Descripción breve	Enlace	WT
Nelson	11	Feb	2009	173,2891	-41,263	La parte central de la ciudad se vio inundada por una marea excepcionalmente alta, por tratarse del perigeo.	http://www.stuff.co.nz/nelson-mail/news/1398674/Heaven-and-Earth-collude-to-cause-exceptionally-high-tide	3
Clifton	29	May	2010	177,0019	-39,6397	El gran oleaje en Clifton produjo la socavación de muchos metros de tierra en el club marítimo y el aparcamiento de caravanas. Se tuvo que retirar algunas caravanas y vehículos para evitar perderlos. La tierra anexa a la carretera fue socavada por el oleaje	http://www.nzherald.co.nz/hawkes-bay-today/news/article.cfm?id=1503462&objectid=10996448	5

Tabla 6: Eventos de inundación registrados en Nueva Zelanda desde 1900 a 2010 (continuación)



5. APLICACIÓN AL TRABAJO. RESULTADOS

En este apartado se trata de definir los resultados del análisis forense, de forma que puedan extraerse conclusiones de los mismos. En el apartado 5.1 se estudia cómo se asocian los patrones atmosféricos con los eventos de inundación, empleando para ello los WTs. En el apartado 5.2 se presentan las series de TWL calculadas y la correlación de estas con el registro de inundaciones.

5.1. WTs: Condiciones atmosféricas e inundación

Tal y como se comentó en el apartado anterior, en la tabla 6 aparecen reflejadas todas las localizaciones que sufrieron inundación costera en algún momento del siglo XX. Sin embargo, de cara a realizar el análisis con WTs, debe tenerse en cuenta que un único evento de inundación (una tormenta, un sistema de baja presión, una marea viva) puede afectar a varias localizaciones. Para tener esto en cuenta, y que un WT no parezca asociado a un mayor número de inundaciones por haber provocado un evento de gran extensión espacial, las distintas situaciones registradas de la tabla 6 se agrupan por tormentas. Esta agrupación permite definir de forma correcta la proporción de eventos asociado a cada WT, lo que a su vez permite conocer qué patrones atmosféricos tienen mayor probabilidad de provocar fenómenos de inundación costera. De esta forma, el porcentaje de eventos asociados a los distintos WTs no está condicionado por el hecho de que las hemerotecas pueden registrar más inundaciones en zonas más pobladas, e ignorar las inundaciones en zonas que no afectan a la población.

En el apartado 3.2 se expusieron los problemas de heterogeneidades presentes en las probabilidades de ocurrencia de los WTs entre la primera y segunda mitad del siglo, así como las mismas diferencias para las series reconstruidas de oleaje y marea meteorológica. La agrupación en tormentas es de gran utilidad en este aspecto, pues permite comprobar si la proporción de WTs en la primera mitad de siglo es similar a la de la segunda mitad. A modo de comparar estos dos intervalos temporales, se ha optado por elaborar dos histogramas (figuras 16 y 17).

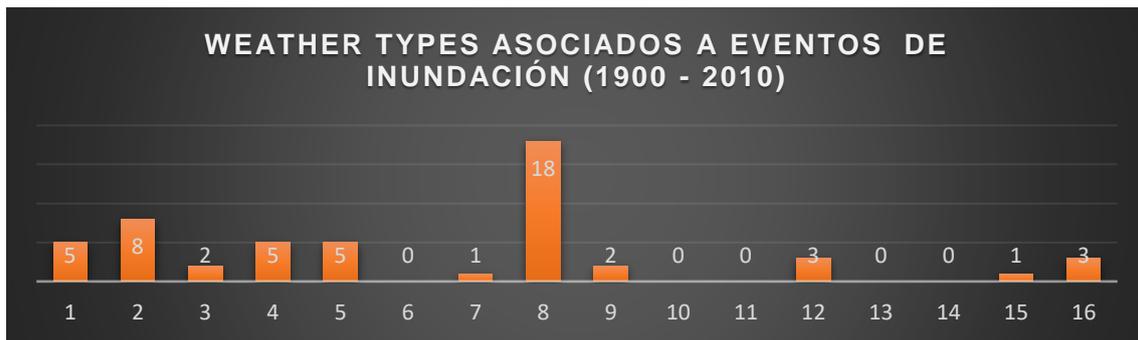


Figura 16: WTs asociados a eventos de inundación (1900 - 2010)

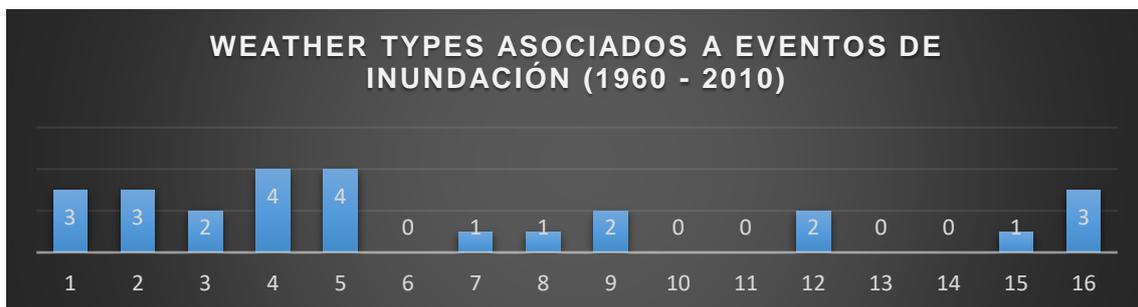


Figura 17: WTs asociados a eventos de inundación (1960 - 2010)

Puede apreciarse una diferencia notable entre ambos histogramas, relacionada fundamentalmente con la elevada proporción de eventos asociados al WT8 en las primeras décadas del siglo XX. Esta distribución puede entenderse si observamos la probabilidad de ocurrencia de este WT en estas décadas (figura 12). Sin embargo, al intentar explicar físicamente esta elevada proporción, se comprueba que este WT representa un prototipo de condiciones sinópticas que no conllevan estados del mar muy energéticos, o alturas de ola excepcionalmente grandes (figura 11). Esta condición confirma la presencia de heterogeneidades en las primeras década del siglo XX, tal y como se comentó en el apartado 3.2. Por ello se realiza el estudio desde 1960 hasta 2010.

Para este periodo de 50 años se obtienen 26 eventos. 12 de ellos, registrados en la tabla 7, pueden agruparse por tormentas de una duración mínima (que se ha establecido en 3 días seguidos bajo unas condiciones sinópticas similares). El resto son inundaciones producidas tras uno o dos días de condiciones atmosféricas tormentosas, que suelen producir inundaciones de menor calibre. Se recogen a continuación esas 12 tormentas de mayor duración, incluyendo datos sobre la duración de las mismas, las localizaciones afectadas, la causa de las inundaciones o lo WTs asociados a cada evento de inundación producido dentro de esas tormentas.



Inicio	Final	Localizaciones afectadas	Causa tormenta	Wt asociados inundación
09-abr-68	12-abr-68	Whitianga, Whakatane, Waiotahi	Ciclón extratropical Giselle, formado en el Mar de Coral. Se desplazó hacia el sudeste, alcanzando la fachada norte y este de la isla norte el día 9. En Hawke Bay produjo vendavales, mientras que en Bay of Plenty y Waikato se produjeron inundaciones.	3
16-ago-74	18-ago-74	Kakanui, Haumoana, Clive, Te Awanga	Tormenta costera provocada por un sistema de baja presión en el sudeste de Nueva Zelanda. Se produjeron inundaciones en varios puntos de la costa este de ambas islas debido al nivel de la marea meteorológica.	1
18-jul-78	21-jul-78	Cooks Beach, Leigh, Paihia, Tairua, Whitianga	La combinación de una depresión en el mar de Tasmania (moviéndose hacia el sudeste) y un vendaval del este afectó gravemente a la parte norte (Auckland, Waikato, Northland) de la isla norte, produciendo niveles excepcionales de marea meteorológica y fuertes oleajes	1
14-jul-87	18-jul-87	Hikauai, Totara, Thames	Un vendaval del este que con la ayuda de la pleamar, produjo inundación costera (situación de mareas vivas)	5
14-jul-95	18-jul-95	Miranda, Waitakaruru, Thames	Una tormenta que produjo inundaciones el 14, aunque se acentuaron los efectos el 15. Sistema de baja presión en el sudeste del país, que introdujo corrientes de aire del sudoeste. Combinación de mareas meteorológica y astronómica para producir daños en la costa (en mareas vivas)	5

Tabla 7: Agrupación de eventos por tormentas (1960 - 2010)



Inicio	Final	Localizaciones afectadas	Causa tormenta	Wt asociados inundación
10-ene-97	12-ene-97	Nelson, Thames, Mission Bay, New Plymouth, Ruby Bay	El ciclón extratropical Drena trajo fuertes vientos y fuerte oleaje a la fachada norte de la isla norte (Thames y Mission Bay). También se produjeron fuertes oleajes en otros puntos del este y sur de dicha isla, al desplazarse el ciclón en dirección sudeste y combinarse con el efecto de las mareas vivas	4
11-mar-97	13-mar-97	Paihia, Ohawini Bay, Tutukaka	El ciclón Gavin, una depresión a 400 km al nordeste de Auckland se movió hacia Nueva Zelanda los días 10 y 11. Fuertes vientos que favorecieron la generación de fuertes oleajes y una marea meteorológica excepcional.	4
16-abr-99	18-abr-99	Manukau, Huia, Onehunga, Raglan	Un vendaval del sudoeste y sistemas de presión muy baja en el sur del país, produjeron fuertes oleajes en casi toda la isla. La combinación con la marea alta provocó las inundaciones.	9
01-jul-00	04-jul-00	Northland, Hatfields Beach	Tormenta que coincidió con mareas vivas. Vientos del sudeste produjeron un aumento en el set-up del oleaje en la costa, apareciendo severa erosión en varias zonas de Northland.	12
19-jul-08	24-jul-08	Greymouth, Paekakariki, Puerto de Taranaki, Playas de Kapiti Coast	Un sistema de presión muy baja en el mar de Tasmania produjo tornados, vendavales y tormentas sobre Nueva Zelanda. Vientos del oeste produjeron inundaciones severas en la cara oeste de ambas islas.	16
26-jul-08	28-jul-08	Coopers Beach, Paihia, Haumoana	Un sistema de baja presión generado en las zonas sur y este de Nueva Zelanda que se desplazó hacia la isla norte el día 26. Un vendaval del nordeste produjo fuertes oleajes en toda la fachada norte. El día 27, el sistema de baja presión se desplazó hacia el este, produciendo inundaciones en la bahía de Hawke por elevación de la marea meteorológica	12;15

Tabla 7: Agrupación de eventos por tormentas (1960 – 2010)(continuación)

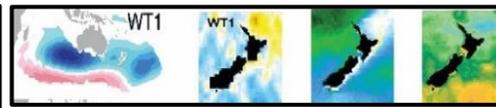


Inicio	Final	Localizaciones afectadas	Causa tormenta	Wt asociados inundación
29-jul-08	03-ago-08	Mokau, Haumoana, Porirua, New Plymouth	El área del sistema de baja presión fue mucho más extensa que en la tormenta del 26, cubriendo totalmente el mar de Tasmania. Además, el sistema se desplazó de forma lenta sobre la fachada oeste y sur, para acabar estableciéndose en el sector central y este, produciéndose inundaciones en todas estas fachadas por un ascenso de la marea meteorológica durante los días 30 y 31. Cuando el sistema se encontraba sobre la fachada oeste (Haumoana) el 2 de agosto (ya en WT1), este ascenso de la marea meteorológica se combinó con una situación de mareas vivas.	5;1

Tabla 7: Agrupación de eventos por tormentas (1960 - 2010) (continuación)

Se observa que hay tormentas en las que las condiciones atmosféricas han ido variando (por un desplazamiento de los sistemas de presión o la dirección del viento), lo que se traduce en varios WTs asociados a la misma tormenta, como se ve en los dos últimos casos.

A continuación se presentan los distintos tipos de WT asociados a los eventos registrados (WT1, WT2, WT3, WT4, WT5, WT7, WT8, WT9, WT12, WT15, WT16). Con este fin, se representan las localizaciones afectadas en un mapa de Nueva Zelanda, y se comprueba si las inundaciones en esas ubicaciones se corresponden con los patrones atmosféricos, altura de ola o marea meteorológica asociados a ese WT (Figuras 18 a 28).



Zonas muy extensas de baja presión producen fuertes oleajes en la cara norte del país, así como en algunas partes de la cara este. Las regiones de Porirua y Kakanui se vieron afectadas por un nivel excepcional de marea meteorológica.

Mokau por su parte, se vió afectada por un fenómeno de mareas vivas, unido a un estado del mar energético.

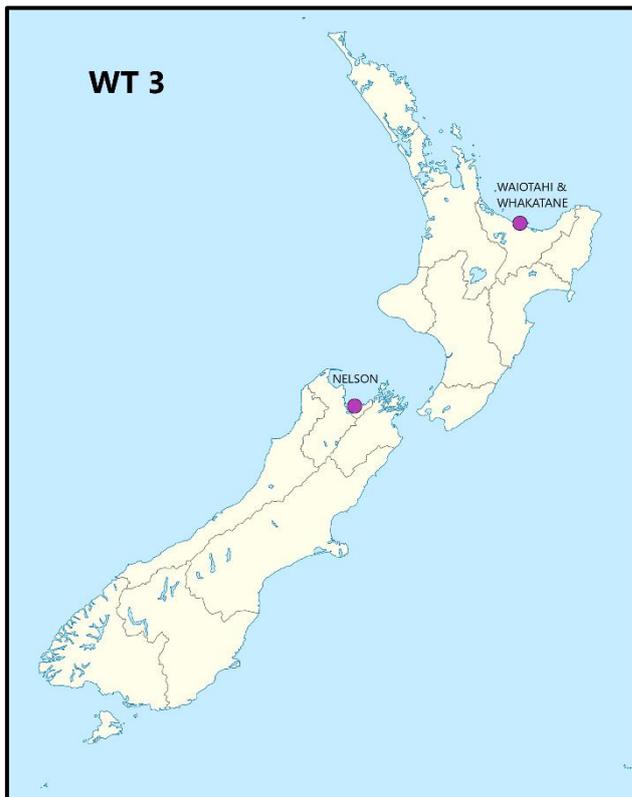
Figura 18: Situaciones de inundación asociadas al WT1



No se aprecian zonas extensas de fuerte oleaje, salvo algunas zonas puntuales en Waikato, Wellington y la bahía de Hawke.

Dada la cercanía a la costa de un sistema de baja presión, se aprecian mareas meteorológicas de mayor entidad en todas las fachadas de la isla.

Figura 19: Situaciones de inundación asociadas al WT2



Solo se aprecian estados energéticos en la región de la bahía de Hawke.

Las zonas inundadas se vieron afectadas por el ciclón extratropical Giselle (en el caso de Waioatahi y Whakatane) o por mareas vivas (Nelson).

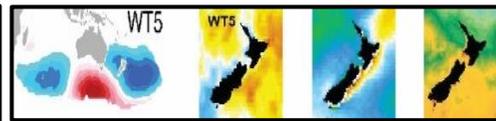
Figura 20: Situaciones de inundación asociadas al WT3



Toda la fachada norte de la isla norte se ve afectada por sistemas de baja presión, lo que provoca oleajes muy energéticos. Inundaciones por este motivo en las regiones de Northland, Auckland y Waikato.

El resto de regiones inundadas (Wellington, Ruby Bay, Nelson y New Plymouth) se vieron afectadas por la marea meteorológica.

Figura 21: Situaciones de inundación asociadas al WT4



La principal causa de tormentas es la existencia de un sistema de presión muy baja extendida sobre las islas, el Mar de Tasmania y el océano Pacífico, así como fuertes rachas de viento del sudoeste, motivada por la existencia de un sistema anticiclónico en el sur de Australia.

Figura 22: Situaciones de inundación asociadas al WT5



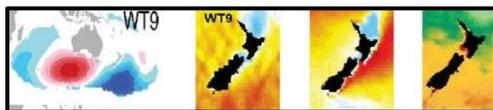
Los sistemas de alta presión presentes sobre las islas, chocan con sistemas de baja presión en el Mar del Coral y/o el Mar de Tasmania, produciendo corrientes de vientos que provocan un aumento de altura de ola. Para Mission Bay, se produjeron inundaciones por la combinación de estas olas con mareas vivas.

Figura 23: Situaciones de inundación asociadas al WT7



No hay estados de mar muy energéticos asociados a este tipo de tiempo, salvo zonas ligeramente energéticas en la Bahía de Hawke (Haumoana) y en Gisborne (Wainui). Nuevamente, la combinación de mareas altas y los ciclones tropicales son los que causan las inundaciones en los eventos registrados.

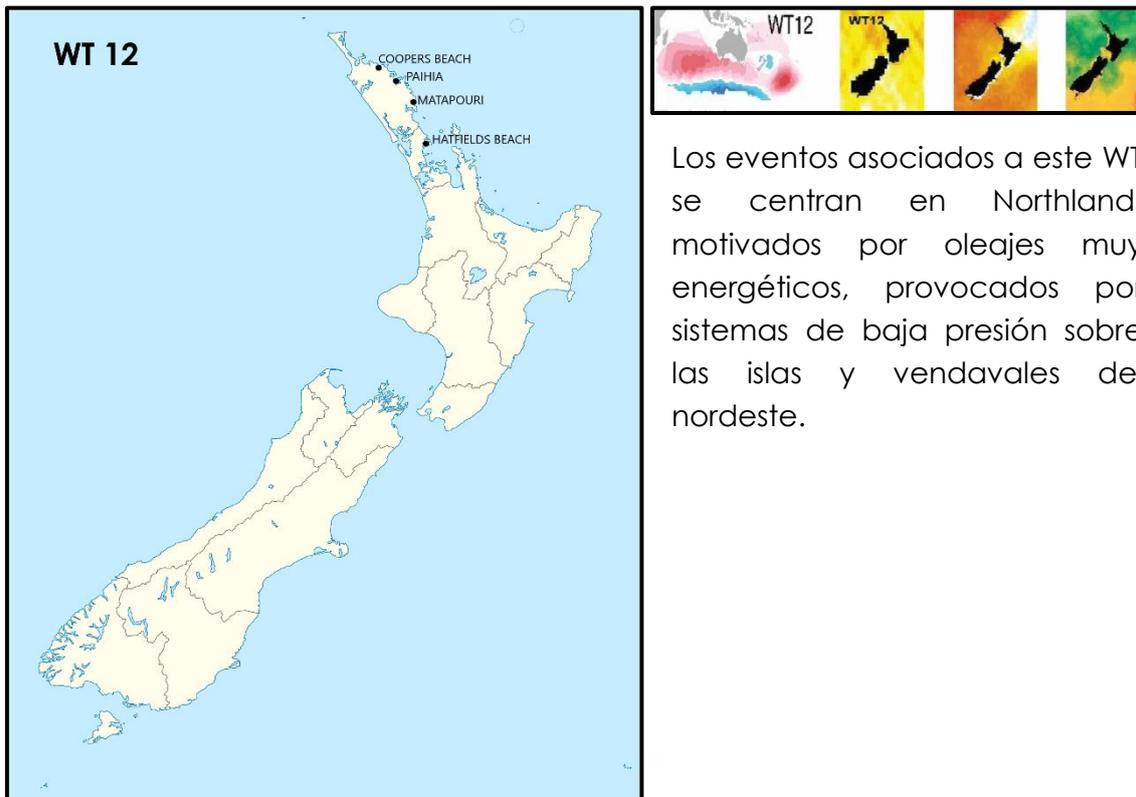
Figura 24: Situaciones de inundación asociadas al WT8



Grandes áreas de baja presión en la zona sudeste de Nueva Zelanda provocan estados muy energéticos con grandes alturas de ola en las fachadas este, oeste y sur de Nueva Zelanda.

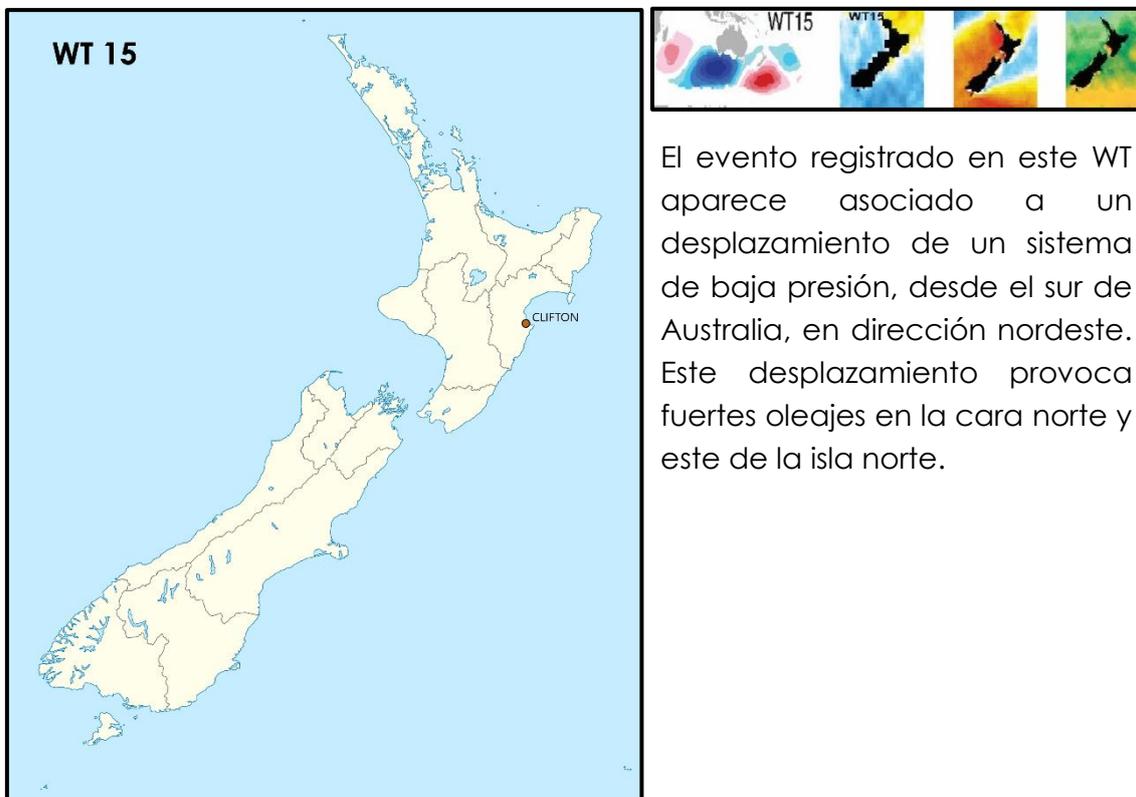
En los eventos registrados asociados a este WT, se combinan los fuertes oleajes con fuertes vendavales del sudoeste, que afecta en mayor medida a la fachada oeste de ambas islas.

Figura 25: Situaciones de inundación asociados al WT9



Los eventos asociados a este WT se centran en Northland, motivados por oleajes muy energéticos, provocados por sistemas de baja presión sobre las islas y vendavales del nordeste.

Figura 26: Situaciones de inundación asociadas al WT12



El evento registrado en este WT aparece asociado a un desplazamiento de un sistema de baja presión, desde el sur de Australia, en dirección nordeste. Este desplazamiento provoca fuertes oleajes en la cara norte y este de la isla norte.

Figura 27: Situaciones de inundación asociadas al WT15



Figura 28: Situaciones de inundación asociadas al WT16

Este WT está caracterizado por representar los sistemas de baja presión más extensos alrededor de Nueva Zelanda. La cercanía de las zonas de menor presión a la costa oeste de las islas, provoca un gran número de inundaciones en esa fachada, combinando trenes de fuerte oleaje y zonas de gran marea meteorológica.

También se aprecian grandes mareas meteorológicas en la región de Kapiti y Wellington.

Hay que comentar, previamente a entrar en patrones atmosféricos que provocan inundación, la existencia de eventos en los que no estaba especificada una fecha concreta en la fuente donde estaban registrados, y que en algunos casos podía concretarse cotejando varias hemerotecas. Hay otros eventos en los que esto no fue posible, y en los que ha sido útil el prototipo de condiciones sinópticas definido en cada WT. Aunque a veces en las hemerotecas no se concrete la fecha exacta de la inundación, sino el intervalo temporal en el que se produjo la tormenta, sí que aparece la causa del evento (patrones atmosféricos y/o componente del mar que tenía un nivel excepcional). Si durante los días que duró la tormenta hay varios WTs asociados, puede localizarse aquel WT que se ajuste más a las condiciones atmosféricas que causaron la inundación (localización de sistemas de baja/alta presión, dirección del viento, zonas más energéticas del oleaje, etc.).

Además, los WTs permiten extraer algunos patrones en las inundaciones, que se resumen a continuación:

- ✚ En todos los WTs se aprecian estados de mar energéticos con mucha altura de ola, ya sean en zonas muy extendidas, que abarcan todas las fachadas de las islas, o solo bahías (como en los WT2, WT3 y WT8). Pese a ello, no en todos estos WTs se han producido inundaciones en estas zonas



energéticas, sino que hay zonas con menor altura de ola, pero con un mayor nivel de marea meteorológica o que coinciden con mareas vivas. Un caso en el que ocurre este fenómeno es la inundación de Nelson del 11/02/2009 (asociado al WT3). La zona de Nelson (región de Tasman), no está afectada por grandes alturas de ola (como se aprecia en la figura 20). Sin embargo, las condiciones atmosféricas locales (sistema de baja presión) produjeron un aumento del nivel de la marea meteorológica (figura 29), que coincidió con la luna llena en el perigeo, lo que provocó una marea astronómica excepcionalmente alta (figura 30).

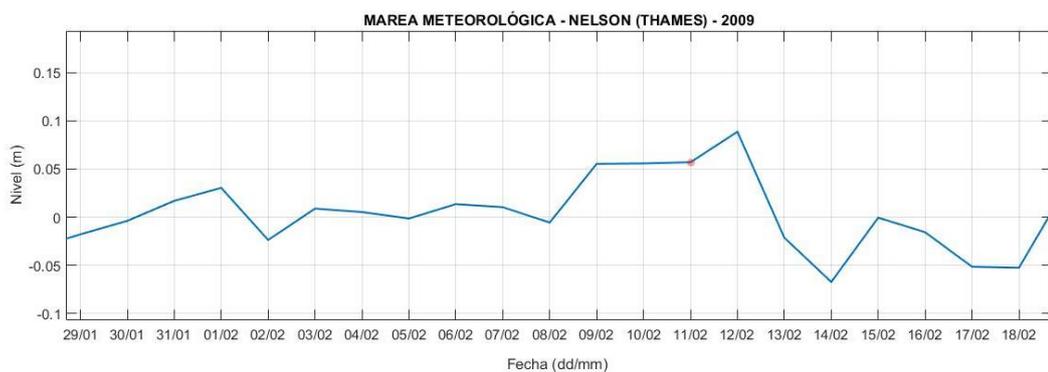


Figura 29: Marea meteorológica en Nelson - 11/02/2009

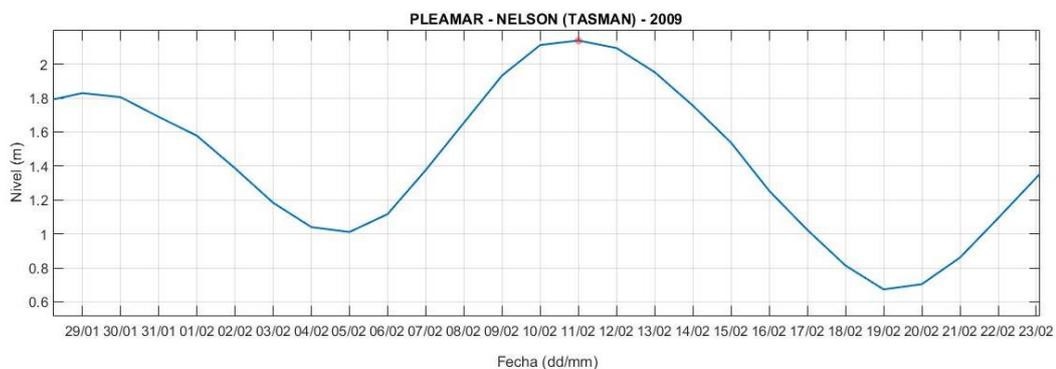


Figura 30: Mareas vivas en Nelson - 11/02/2009

Esta situación no es de extrañar, teniendo en cuenta los datos recogidos en la tabla 4, referente a la baja altitud media de la mayoría de regiones de Nueva Zelanda. Esta condición facilita que las mareas astronómicas excepcionalmente altas produzcan pequeñas inundaciones con frecuencia, que si bien no van más allá de pequeños daños, muestran el potencial que tienen las mareas para combinarse con situaciones más energéticas, y producir así inundaciones de mayor magnitud.



- Las condiciones atmosféricas que tienden a producir inundaciones son aquellas con sistemas de baja presión sobre las islas o próximos a alguna de sus fachadas, salvo el caso del WT7. Para este caso concreto, la circulación del viento entre los sistemas de alta y baja presión presentes, y la dirección de este viento por el efecto Coriolis, conllevan un gran aumento de la altura de ola en la fachada norte de la isla norte (figura 31).

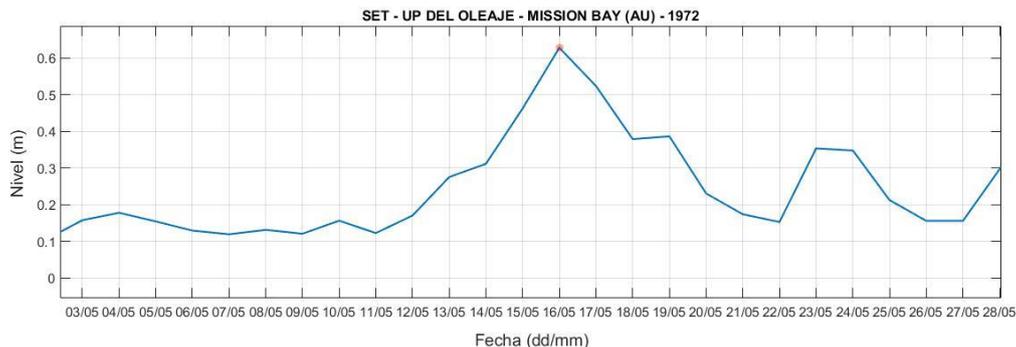


Figura 31: Aumento de altura de ola por acción del viento en Mission Bay - 16/05/1972

- Mientras que las causas de las inundaciones en la isla norte son más heterogéneas, la isla sur se ha visto afectada fundamentalmente por inundaciones en la costa oeste y noroeste, es decir, las regiones de West Coast y Tasman. Esta situación puede deberse a los sistemas de baja presión en el Mar de Tasmania o a la circulación de vientos del oeste, que provocan un aumento del nivel de marea meteorológica y altura de ola en la fachada oeste de ambas islas (WT16). También las situaciones sinópticas representadas con el WT9 provocan situaciones muy energéticas en la costa oeste de ambas islas. La localización de un fuerte anticiclón en el sur de Australia y una fuerte borrasca en el sur de Nueva Zelanda, provoca ráfagas de viento del sudoeste, que elevan la altura significativa de las olas y el nivel de la marea meteorológica en las costas oeste, este y sur de la isla sur. Sin embargo, en la zona sur y este apenas se registran eventos de inundación. La explicación puede ser doble: por un lado, al estar mucho más poblada y contar con ciudades importantes como Christchurch (380.000 habitantes), cuenta con mejores defensas frente a los estados del mar. Por otro lado, las regiones de Tasman y West Coast son las que tienen menor altitud media en esta isla (8 y 7 m respectivamente). Esta situación provoca que la combinación de fuertes oleajes y mareas vivas (como el caso de Nelson en Febrero de 2009 antes descrito) pueda provocar inundaciones en estos territorios.



- En dos eventos se puede apreciar una discrepancia entre las condiciones medias de oleaje y/o marea meteorológica que representa el WT, y las condiciones energéticas que, según la hemeroteca, produjeron la inundación. Estas dos inundaciones ocurrieron en abril de 1968 (WT3) y enero de 1997 (WT4), durante dos ciclones extratropicales. Uno de los posibles motivos de que el nivel de oleaje y marea meteorológica no se vea representando bien en esos WT para esas localizaciones concretas, puede ser una deficiencia de la clasificación en lo que a actividad ciclónica se refiere. Al ser eventos muy esporádicos, los ciclones quedan asociados a varios grupos (ver figura 32). Por otro lado, cabe contemplar la posibilidad de que los campos forzadores de oleaje y marea meteorológica del CFSR (viento y presión), no representen bien la severidad de las tormentas en situaciones ciclónicas (Hodges et al., 2011). Para obtener perspectiva en este sentido, se realiza el análisis del siguiente apartado, en donde se podrá comprobar que ocurre en estos eventos, si los efectos ciclónicos aparecen mitigados en la reconstrucción con respecto a la situación real o no.

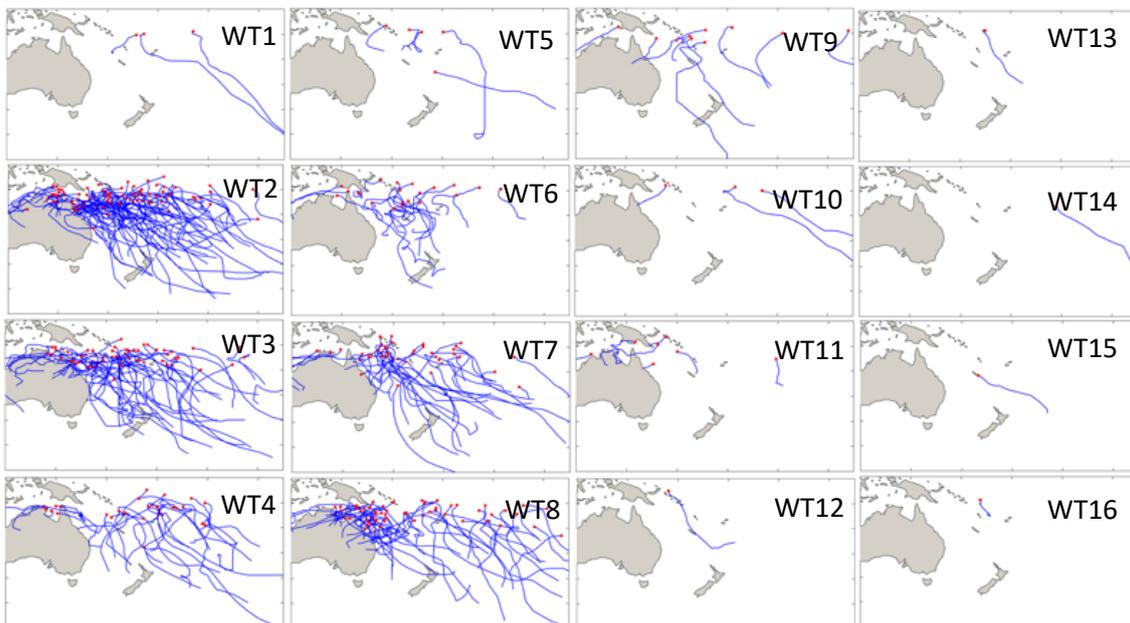


Figura 32: Ciclones asociados a cada WT

- En las figuras antes expuestas (15 y 18 a 28), puede apreciarse qué regiones han sido más dañadas por las inundaciones. Estas son las regiones del norte, concretamente Waikato, Auckland y Northland. Las condiciones geográficas y demográficas pueden facilitar esta situación, ya que se trata de 3 de las zonas más pobladas de Nueva Zelanda, con muchos kilómetros de costa y poca superficie (La región de Auckland



puede sufrir temporales del este, norte u oeste). Sin embargo, no solo estas condiciones son las que provocan esta mayor proporción de eventos. Todos los WTs recogidos menos el 9, presentan condiciones energéticas en la fachada norte, especialmente el WT1, WT4, WT5, WT7 y WT12. El 4 y el 5 presentan sistemas de muy baja presión, el WT4 en el norte de las islas (lo cual se traduce en trenes de oleaje muy energéticos) y el WT5 sobre las propias islas. Por su parte, el WT12 refleja una región sometida a bajas presiones, rodeada de sistemas anticiclónicos de muy alta presión, fundamentalmente en el pacífico sudeste. Esto conlleva que los eventos asociados a este WT, todos situados en la región de Northland, sean producto de una combinación de una tormenta producida por las bajas presiones, que se desplaza con rapidez por toda la costa norte y este, y fuertes vendavales del sudeste, provocados por las corrientes de aire entre los sistemas de alta/baja presión.

✚ En cuanto a definir un WT con unas condiciones sinópticas más comunes en la generación de inundaciones es una simplificación compleja, ya que no solo influye el número de eventos sino la magnitud de los mismos. Por un lado, si se atiende al número de eventos producidos, los WTs asociados a más eventos son el WT1, WT2, WT4, WT5 y WT16.

- Si se analiza la repercusión de los eventos o su magnitud, se puede comprobar que el WT2 está asociado a pequeñas inundaciones que se producen de forma puntual, normalmente por la combinación de fuertes oleajes con mareas vivas, que dificultan el tráfico en vías de tráfico principales, erosionan las playas y obligan a la protección superficial de las propiedades costeras.
- Los sistemas de presión muy baja sobre Nueva Zelanda (representados por las condiciones sinópticas del WT16), producen inundación en toda la costa oeste, cuando los vendavales provenientes de esta dirección se suman a mareas vivas (combinación de set-up del oleaje producido por los vendavales, marea meteorológica alta por la cercanía del sistema de baja presión, y mareas vivas). Las tierras situadas en la isla sur están aún más expuestas a estas condiciones, por la menor altitud del terreno y la menor densidad de población, ya comentada.
- Los eventos asociados al WT1 son fácilmente interpretables observando las condiciones de oleaje representadas en la figura 18. Por un lado, los eventos de la región norte se ven afectados por



el set-up del oleaje, así como un aumento en el nivel de la marea meteorológica (dada la proximidad de los sistemas de baja presión). Por otro lado, los eventos que ocurren en la costa oeste y este, van asociados con mareas vivas y niveles elevados de marea meteorológica, con oleajes poco energéticos. Dos casos muy claros de la combinación de mareas vivas y marea meteorológica son las inundaciones de Mokau en 2008 y la bahía de Hawke en 1974 (ambos eventos aparecen detallados en el próximo apartado y en el anejo 1 que acompaña al documento).

- El WT4 aparece asociado a eventos severos durante ciclones extratropicales como el Drena y el Gavin (enero y marzo de 1997). Como se ha comentado, algunas de estas localizaciones inundadas no presentan condiciones muy energéticas (según el prototipo que establece el WT), por lo que requieren de un estudio complementario como el detallado en el próximo apartado.

 - El WT5 queda asociado al mismo número de eventos que el WT4 (ver histograma en figura 17), pero los asociados al primero producen mayor impacto por daños y/o víctimas. Un ejemplo es el evento de 1995, en el que se aprecia una coincidencia entre los patrones sinópticos del WT, y los estados de oleaje y marea meteorológica (ver ficha del evento del 14 de julio de 1995 en el siguiente apartado).
- ✚ Atendiendo a un criterio combinado, en el que se valora el número de eventos producidos y la magnitud de los mismos, se obtienen los WT5 y WT16 como las condiciones sinópticas que conducen a eventos de inundación de mayor importancia en Nueva Zelanda. Esta situación puede deberse a la cercanía de los sistemas de baja presión, estando en el WT5 y WT16 sobre las propias islas. Estos eventos suelen estar asociados a la combinación de dos componentes, ya sean oleajes muy energéticos y grandes mareas meteorológicas, o la colaboración de mareas vivas para aumentar el nivel total del mar.

Los eventos agrupados en WT4 y WT3 también producen inundaciones severas, si bien están asociadas a ciclones tropicales y extratropicales, que como se ha mencionado anteriormente, necesitan de un estudio complementario, desarrollado en el próximo apartado.



El WT1 también está asociado a tormentas que producen muchas inundaciones, en este caso suelen tener una importante componente astronómica (mareas vivas), que al combinarse con mareas meteorológicas u oleajes energéticos, producen la inundación de zonas bajas.

La tabla 7 sirve como apoyo a lo explicado con anterioridad, ya que los WTs asociados a más tormentas son el 1 y el 5.

5.2. Cálculo de TWL. Correlación con eventos de inundación

La cota de inundación o nivel total del mar (TWL), tal y como se ha explicado previamente, se compone de 3 componentes principales: la marea astronómica, la marea meteorológica y el set – up del oleaje. Se dispone de datos diarios de estas dos últimas variables, desde el 13 de enero de 1900 hasta el 31 de diciembre de 2010. Sin embargo, en el caso de la marea astronómica, el análisis armónico proporciona datos horarios de la variable. Para poder realizar la suma de las tres componentes, se opta por calcular el máximo diario de los valores de marea astronómica (pleamar). Con los valores diarios de las tres variables se puede obtener el TWL para todos los puntos de cálculo especificados en la metodología.

Estos niveles deben compararse con los registros de la hemeroteca, con el fin de validar los modelos estadísticos que se han empleado para el cálculo de las componentes del nivel del mar, y comprobar su precisión para reproducir eventos de inundación costera. El primer paso en esta tarea es verificar si en las fechas en las que se han registrado eventos de inundación, existen también niveles de TWL elevados. Además, en caso de ser conocida la causa de la inundación (oleaje, marea meteorológica o marea astronómica), se puede estudiar si esa componente presenta un nivel excepcional que explique el fenómeno.

A continuación se realiza la exposición de los resultados. Ante el elevado número de eventos y localizaciones afectadas (los 26 eventos del intervalo de estudio, 1960 – 2010), se presentan en este apartado tres de los más notables o dañinos, dos de los cuales son los reflejados en la figura 33 y que ya se comentaron en el anterior apartado. Para cada caso se muestran el nivel del mar y de sus componentes en la fecha de inundación y días próximos (para valorar el evento en un contexto temporal más amplio). Se incluye también, un fragmento de la fuente de la noticia registrada, que incluye WT asociado, ubicación, fecha y causa de los eventos.



Notable coastal inundation events around New Zealand

- > On 14 July 1995 a small-scale high intensity low-pressure storm generated a large storm surge in the Firth of Thames that coincided with a high perigeon-spring tide. The resulting storm tide flooded extensive areas of low-lying coastal land around Thames and the suburb of Moanataiari.
- > Ex-tropical cyclone Giselle crossed New Zealand on 9–10 April 1968. It generated one of the largest recorded storm surges in Tauranga Harbour of 0.88 m, and caused severe sea conditions in Wellington including 10–12 m high waves, which contributed to the sinking of the interisland ferry TEV Wahine with the loss of 51 lives.

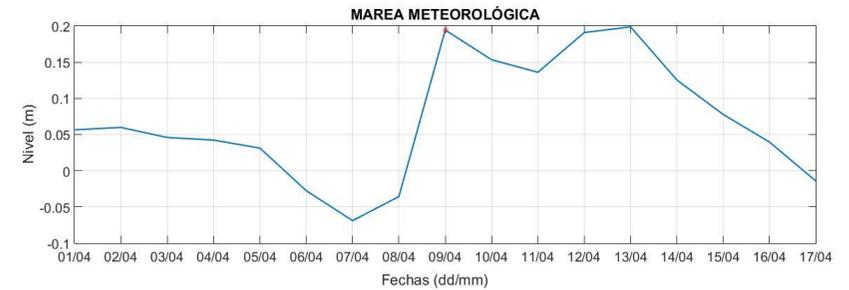
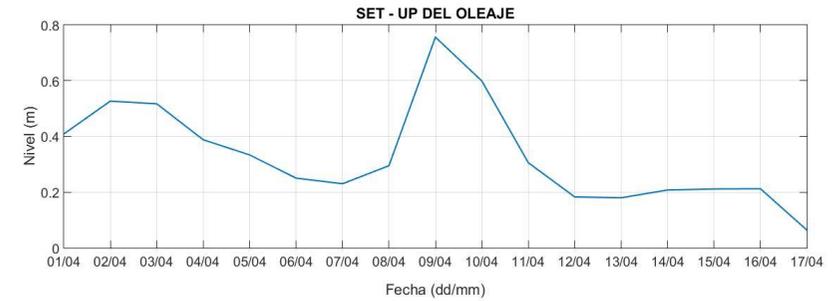
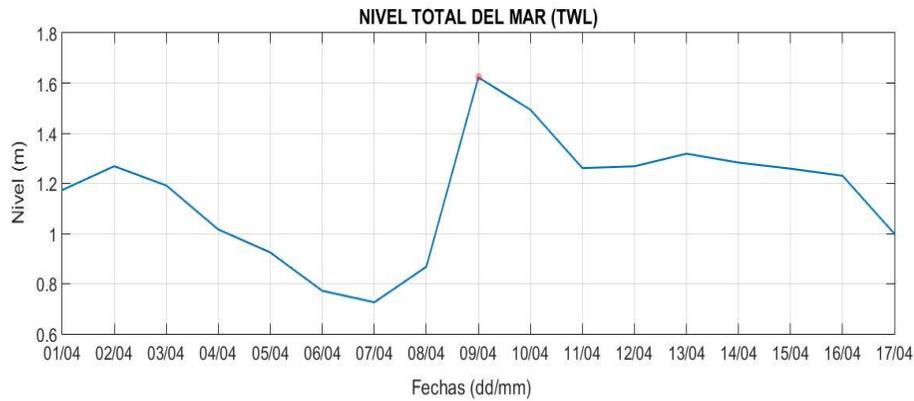
Figura 33: Principales eventos de inundación en Nueva Zelanda por tormentas costeras (Fuente: NIWA - Coastal Storm Inundations)

En el anejo 1 que acompaña a este documento, se presentan el resto de eventos que han producido inundaciones de mayor magnitud o de una mayor extensión sobre la geografía neozelandesa (los 9 restantes recogidos en la tabla 7).



09 – 04 – 1968 (WT3)

Inundación en Waiotahi y Whakatane (Bay of Plenty)



Maritime / Coastal at Whakatane



Two fishing boats were wrecked at the wharf.



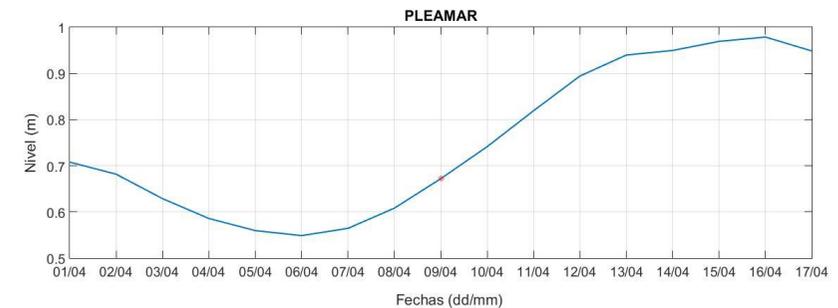
In the rural area, huge seas were driven inland, flooding many hectares of coastal farmland.



Hundreds of cattle and sheep were drowned.



Huge waves smashed a concrete retaining wall and washed logs across the road.



Fuente: https://hwe.niwa.co.nz/event/April_1968_New_Zealand_Ex-tropical_Cyclone_Giselle



14 – 07 – 1995 (WT5)

Inundación en Miranda, Thames y Waitakaruru (Waikato)



Waikato



Maritime / Coastal at Waikato



A storm surge flooded Moanataiari, Grahamstown, Miranda and Waitakaruru on the 14th



Multi Hazard



Damage was caused by the combination of rain and high tide.

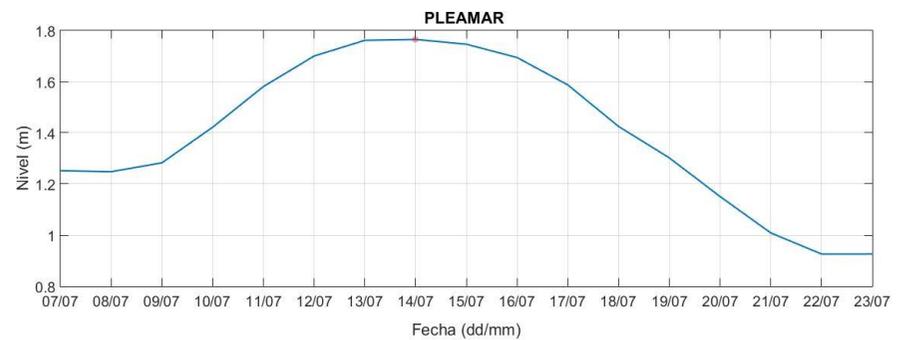
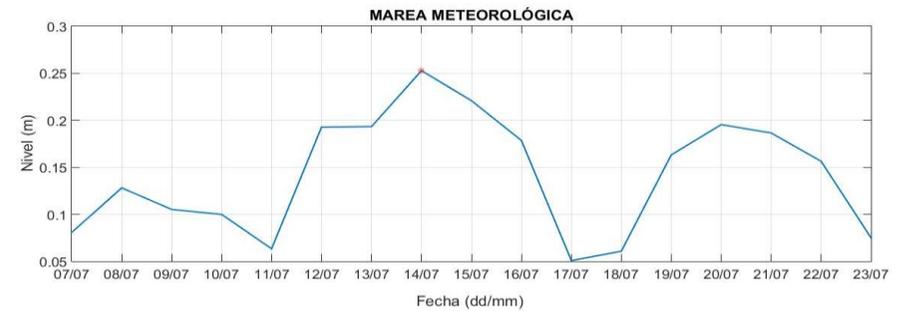
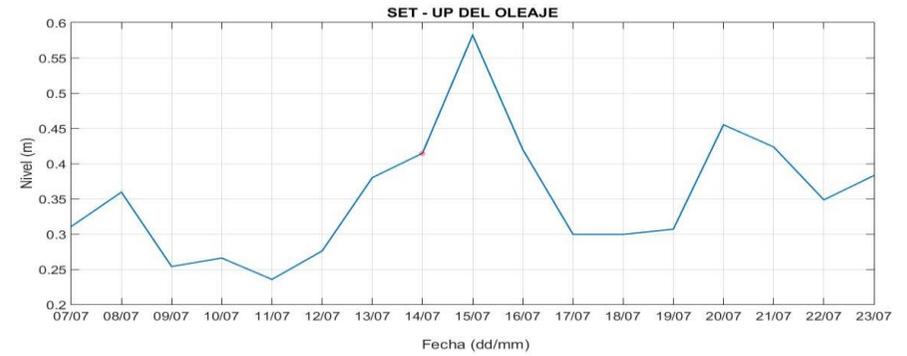


A Civil Defence Emergency was declared for Thames Valley, Thames Ward and Plains Ward



30 people were evacuated.

Fuente: https://hwe.niwa.co.nz/event/July_1995_New_Zealand_Flooding_and_Snow





2- 08 – 2008 (WT1)

Inundación en Mokau (Waikato)

Emergency meeting on Mokau erosion

Taranaki Daily News 5 agosto 2008 By ROB MAETZIG rob.maetzig@tnl.co.nz

OFFICIALS will hold an emergency meeting on Mokau today to discuss what – if anything – can be done to halt severe erosion that is endangering a number of seafront properties.

For the past fortnight the coastal settlement has been badly hit by high seas whipped up by northerly storms, and on almost every high tide locals have helplessly watched as waves have chopped out large chunks of land.

They say Sunday night's tide was the worst yet – and yesterday the locals awoke to find massive damage, including the wreckage

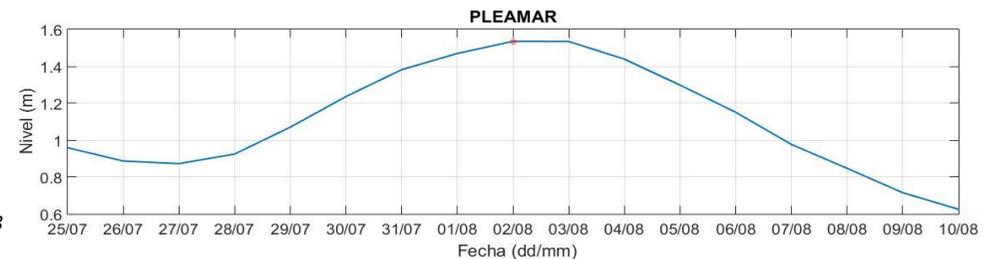
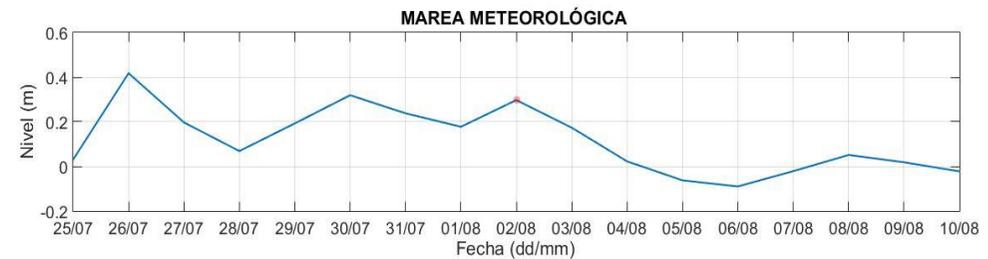
of a large shed that has crashed down from a private property onto Mokau Beach below.

“It’s been really bad,” said Mokau resident Margaret Whitaker.

“People who have properties along the waterfront say they have lost at least five metres of land in recent days.

“Yesterday we rescued a caravan from the edge, but obviously we were unable to shift the shed – and now it’s down at the bottom of the cliff.”

Waitomo District Council leader for compliance, Johan



Fuente: <http://www.pressreader.com/new-zealand/taranaki-daily-news/20080805/281582351411508>



En los 3 casos presentados se puede comprobar la precisión con la que se ajustan el TWL y las distintas componentes del nivel del mar a los eventos registrados.

- ✚ La inundación en la Bahía de Plenty del 09 de abril de 1968 fue causada por fuertes oleajes y un nivel elevado de marea meteorológica, tal y como se aprecia en las gráficas correspondientes.

- ✚ La inundación de Thames del 14 de julio de 1995 se corresponde con los niveles excepcionales medidos. Como se aprecia en la noticia que registra el evento, una de las principales causas de la inundación fue la combinación de marea excepcionalmente alta (que según la reconstrucción de marea astronómica, coincide con un periodo de mareas vivas), y una marea meteorológica elevada.

- ✚ La inundación de Mokau (02 de agosto de 2008) debe estudiarse con perspectiva respecto a las tormentas anteriores (23 de julio de 2008 y 27 de julio de 2008). Si bien las condiciones del mar no son tan energéticas como en esas tormentas precedentes, se alcanza una situación de mareas vivas que produce un aumento importante en el nivel del mar.

En el anejo 1 se puede apreciar que el resto de eventos registrados durante una tormenta importante (los de la tabla 7) concuerdan no sólo en un pico de TWL con respecto a los días anteriores y posteriores, sino que la causa de la inundación queda también bien representada. Esta concordancia, como es lógico, mejora cuanto más cerca está la zona de inundación del punto donde se han obtenido las distintas componentes del mar. Zonas como Wellington, Taranaki, Manawatu, Bahía de Hawke y Gisborne, no disponen de coordenadas de cálculo cercanas a sus costas. De ese modo, para el cálculo del TWL en esas localizaciones, se han tomado puntos lo más próximos posible a la zona inundada, o que bajo un determinado WT, existieran condiciones sinópticas o estados de mar similares. A menudo, esta solución sirve para localizar picos en los niveles medidos, de forma que pueda quedar justificada la inundación. Sin embargo, analizando estos picos en la serie temporal completa, se aprecia que existen casos en los que estos máximos locales no se corresponden con máximos de la serie histórica. Esta situación puede deberse a que el cálculo se ha realizado en 19 puntos representativos alrededor de la costa neozelandesa. Dada la morfología costera y la orientación de las distintas fachadas, es posible que se necesitase realizar la reconstrucción en un mayor número de puntos, ya que en las condiciones actuales, existen cientos de kilómetros entre algunos puntos contiguos.



De forma adicional, cabe la posibilidad de hacer un análisis complementario que sirva para comprobar la capacidad del TWL para predecir las inundaciones. Este análisis también sirve para verificar si los campos atmosféricos forzadores (del CFSR) están subestimados en el caso de los ciclones, lo que produciría el mismo efecto en el oleaje y quizás la marea meteorológica. En Hodges et al. (2011) se propone que la mejor manera de obtener respuesta a esta circunstancia, es comparar las medidas de TWL y de las distintas componentes con observaciones independientes de ellas, como es el caso de los eventos registrados en hemerotecas.

Para realizar este análisis se toman algunos de los principales eventos de inundación. Se comprueba qué componente/s produjo la inundación (las hemerotecas suelen reflejar si la inundación fue por grandes olas, una elevada marea meteorológica, una situación de mareas vivas o una combinación de las anteriores), y se compara con otras fechas buscando obtener algunos patrones de comportamiento.

Para empezar, se analiza el evento asociado al ciclón extratropical Giselle, del 09 de abril de 1968, en el que según la descripción del evento de la figura 33, se registró una de las mayores mareas meteorológicas históricas de la Bahía de Plenty. Para comprobar esta situación, se ha buscado en la base de datos de marea meteorológica de dicha bahía (asociado al punto de cálculo de Moturiki Island), todos los valores iguales o superiores al medido en esa fecha, resultando los niveles representados en la tabla 1 del anejo 2. En dicha tabla se reflejan todos los días de la serie histórica en que se superó el mínimo, representado como el nivel de marea meteorológica registrado el 09 de abril de 1968 (el día 1 de la serie se correspondería con el 01 de enero de 1960, y el día 18628 con el 31 de diciembre de 2010). Se representa en orden creciente el valor de la marea meteorológica, desde el mínimo hasta el máximo registrado, así como el set-up del oleaje, pleamar y TWL. Por último, se marcan en la primera columna todas aquellas fechas en los que existe registro de inundación.

Se pueden obtener ciertos patrones gracias a este método:

- ✚ Comparando los niveles de TWL, se observa que 4 de los 5 niveles que superan los 1,85 m están asociados a un evento de inundación registrado. Podría relacionarse el evento que no está registrado (con fecha del 18 de septiembre de 2005) con la disponibilidad de información en las hemerotecas. Estas no son demasiado extensas en lo que respecta a inundaciones de tipo costero: NIWA por su parte, recoge situaciones complejas que engloban "catástrofes naturales" de todo tipo (inundación fluvial, inundación costera, heladas, tornados, vendavales, etc.) alrededor de las distintas fachadas de la isla. Es decir, no aparecen pequeñas tormentas o eventos aislados que hayan podido producir



inundaciones en un pequeño pueblo costero, o como ya se dijo, en zonas no pobladas. Lo mismo pasa con los periódicos digitales disponibles. Pocos permiten el acceso a una hemeroteca de periódicos desde 1960, lo cual dificulta aún más la búsqueda de registros, teniendo que hacer uso a menudo de un buscador genérico, con las carencias que ello implica.

- ✚ Es también remarcable que en el evento del que parte el análisis, se registró un nivel excepcionalmente alto de marea meteorológica (según la fuente consultada), aunque tal y como se ve en la tabla 1 del anejo 2, se ha visto superada en 61 días a lo largo de 50 años. Además, debe tenerse en cuenta que en esos 62 días hay 6 eventos de inundación (asumiendo la posibilidad de que el 18 de septiembre de 2005 también existiera inundación), 5 de los cuales tienen un TWL mayor de 1,85 m., como se comentó en el anterior punto. Sin embargo, el evento del que se realiza el análisis (09 de abril de 1968) presenta un TWL de 1,62 m. Todos estos detalles pueden llevar a concluir que en algunos casos (pocos), la intensidad de las tormentas calculadas con el forzamiento atmosférico pueden estar parcialmente subestimadas.
- ✚ Resulta también, que los 6 eventos están asociados a los 6 niveles de oleaje más altos de esa serie de 62 días. Esto reafirma la suposición, planteada en varios trabajos (Cid et al., 2016; Pérez et al., 2015), de lo importante que es que se combinen dos o más componentes con un nivel excepcional para que se produzca la inundación. Esto se refleja en que de los 62 días con mayor marea meteorológica medida en la bahía, sólo se produjo inundación cuando este nivel se combinó con un nivel excepcionalmente alto de set-up del oleaje (que en este caso se establece en 0,756 m.).

Se realiza también el estudio del evento de inundación ocurrido en Nelson el 11 de enero de 1997. Es el otro evento (junto con el de 1968) que se ha analizado con anterioridad por pertenecer a un prototipo sinóptico (WT4) en el que las condiciones medias de oleaje y marea meteorológica son inferiores a las que, supuestamente, produjeron la inundación. Se sigue el mismo proceso que para el evento de abril de 1968, con la salvedad que en este caso, el mínimo es la pleamar medida el 11 de enero de 1997. Se registran los datos de este análisis en la tabla 2 del anejo 2.

Nuevamente, se pueden obtener ciertos patrones:



- ✚ Se aprecia que aunque existen varios días con un nivel de pleamar superior al de ese evento (77 días), la inundación sólo se produce para niveles de TWL mayores de 2,82 m., lo que vuelve a remarcar la importancia de que se combinen dos o más componentes a un nivel excepcional para que se produzca la inundación.
- ✚ Las inundaciones vuelven a producirse, al igual que en el caso de 1968, con algunos de los valores más altos de oleaje de los 77 días. En este caso, la combinación de las tres componentes es la que provoca la inundación.
- ✚ Nuevamente existe un evento (con fecha de 25 de abril de 1967), con unos niveles de TWL, oleaje y pleamar que superan a los de otros eventos de inundación. Sin embargo, tampoco aparece en los registros de las hemerotecas consultadas. Como en el caso anterior, esta circunstancia puede deberse a la ya comentada ausencia de una base de datos de eventos más completa que las existentes.
- ✚ Los 2 eventos que sí han sido registrados en este proceso (sin tener en cuenta el del 25 de abril de 1967 por no conocer la posible causa), están asociados a ciclones extratropicales (el del 11 de enero de 1997, que ocurrió durante el ciclón extratropical Drena, y el del 29 de marzo de 1998, que ocurrió durante el ciclón extratropical Yali). En ambos casos se obtienen niveles excepcionalmente altos de oleaje y marea meteorológica (máximos en la serie de esos 77 días). Esto permite deducir, que para este caso, los efectos de los ciclones extratropicales no están subestimados aparentemente.

Por último se realiza un tercer análisis para el evento producido el 14 de julio de 1995, dada su severidad. Se buscan aquellos días en que se supera la marea meteorológica medida para esa fecha. Se pueden extraer algunas conclusiones (datos en la tabla 3 del anejo 2).

- ✚ Los niveles medidos se corresponden con situaciones excepcionales, ya que de 11 veces que se supera el valor de marea meteorológica establecido, 6 se corresponden con situaciones de inundación costera.
- ✚ Nuevamente destaca la influencia de la pleamar, que en este caso es uno de los motivos principales de la inundación.



Se incluye un tercer anejo (Anejo 3), en el que se representa el índice TWL para el resto de eventos menores, reflejados en la tabla 6 en el periodo 1960 – 2010.

6. CONCLUSIONES

Se han empleado dos metodologías diferentes para analizar las inundaciones costeras producidas en Nueva Zelanda durante el siglo XX y los diez primeros años del siglo XXI.

Por un lado, el análisis mediante WTs ha permitido obtener ciertos patrones en el comportamiento de las inundaciones costeras en Nueva Zelanda. Aunque se partía de un periodo de análisis más amplio (desde 1900), las investigaciones realizada por Rueda et al. (en revisión) hicieron sospechar que existían ciertas heterogeneidades en la primera mitad del siglo XX, debida a la escasez de datos atmosféricos en el hemisferio sur durante ese periodo. Esta hipótesis fue confirmada al realizar la búsqueda de inundaciones y asociarlas a alguno de los 16 WTs existentes, en función de la fecha en que se dieron estos eventos. Un elevado porcentaje de los mismos quedaron agrupados en el WT8, un clúster cuyo prototipo sinóptico no permite explicar tal cantidad de situaciones de inundación. Realizando el estudio sólo en el periodo mejor representado (que se estimó en torno a 1960 por el registro de eventos de la tabla 6), se ha podido comprobar que el análisis basado en WTs es válido para este objetivo.

- ✚ Se ha podido demostrar que en la mayoría de los casos, las localizaciones inundadas en una determinada fecha poseen un nivel de oleaje o marea meteorológica que se corresponde con los niveles medios del grupo al que han sido asociados.
- ✚ Solamente existen dos casos en los que esta situación no se representa con tanta precisión, asociada a dos WTs (WT3) y (WT4). Con el análisis del apartado 5.2 se ha demostrado que las situaciones de inundación del 11 de enero de 1997 se corresponden con niveles extraordinarios de oleaje y marea meteorológica, lo que permite descartar que este evento quede asociado al WT4 por tener unas condiciones energéticas bajas en esa localización (región sur de la isla norte y región norte de la isla sur). Es posible entonces, que el problema sea de la clasificación en sí, pues al ser los ciclones eventos muy puntuales, no se consigue asociarlos a un único tipo de tiempo, por lo que en esas dos ocasiones la clasificación no es tan precisa.
- ✚ Se mantiene que dada la distribución de los eventos en los grupos, se aprecian algunos WTs con una mayor tendencia a producir grandes inundaciones (como el WT1 o WT5). Además, cada uno de ellos tiene una



zona marcada en la que se producen más inundaciones (la región de Northland en el WT12, toda la costa oeste en el WT9 y WT16, etc.).

Por otro lado, el análisis mediante la reconstrucción de la cota de inundación (TWL) ha aportado resultados igualmente interesantes. Al analizar los 26 eventos registrados, se puede concluir que este índice ha conseguido reflejar muy bien las inundaciones, relacionándolas con picos en la cota de inundación. También se consiguió relacionar las causas de las inundaciones (marea astronómica, marea meteorológica y oleaje) con valores extraordinarios de esas componentes (tal y como se puede ver en las fichas del apartado 5.2 o las del anejo 1). Esta relación existente entre los eventos y la reconstrucción de TWL, permite plantear este índice como herramienta para predecir eventos de inundación con una antelación de 5 a 10 días. La marea astronómica se puede predecir en la zona de estudio para cualquier instante con un análisis armónico. La marea meteorológica y el set-up del oleaje pueden obtenerse con downscaling estadístico, a partir de campos de presión obtenidos de modelos atmosféricos que dan predicciones a 15 días.

Con los resultados obtenidos en este trabajo, se cree que con la combinación de las dos metodologías, no sólo se podría predecir inundaciones con varios días de antelación de forma rápida, sino que asociando los patrones atmosféricos o de estado de mar del día que se prevea inundación, a un WT, podría obtenerse una aproximación de las principales zonas o fachadas afectadas.

Como futura línea de investigación o desarrollo, se recomienda desarrollar la base de datos con los eventos de inundación que ocurran en próximas fechas. Cuantos más eventos puedan asociarse a esta metodología, más resultados concluyentes se obtendrán. Del mismo modo, se debería valorar el ofrecimiento de la Biblioteca Nacional de Nueva Zelanda para facilitar artículos y noticias a la Universidad de Cantabria, en caso de querer localizar eventos que de otra manera no se ha podido (como alguno de los comentados en el apartado 5.2 y las tablas del anejo 2).



7. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

Referencias

Bowen, R., Frankic, A., Davis, M.E. (2006). Human development and resource use in the coastal zone. Influences on human health. *Oceanography*, Vol.19, No.2. June 2006

Bryan, K.R., Kench, P.S., Hart, D.E. (2008). Multi-decadal coastal change in New Zealand: evidence, mechanisms and implications. *New Zealand Geographer*, 64: 117–128. doi:10.1111/j.1745-7939.2008.00135.x

Camus, P., Méndez, F.J., Losada, I.J., Menéndez, M., Espejo, A., Pérez, J., Rueda, A., Guancho, Y. (2014). A method for finding the optimal predictor indices for local wave climate conditions. *Ocean Dynamics*. 64, pp. 1025 - 1038.

Camus, P., Menéndez, M., Méndez, F.J., Izaguirre, C., Espejo, A., Cánovas, V., Pérez, J., Rueda, A., Losada, I., Medina, R. (2014). A weather-type statistical downscaling framework for ocean wave climate. *Journal of Geophysical Research*. 119 - 11, pp. 7389 - 7405.

CEPAL, Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria. Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe. Impactos.

Cid, A., Camus, P., Castanedo, S., Méndez, F.J., Medina, R. (2016). Global reconstructed daily surge levels from the 20th Century Reanalysis (1871 – 2010). *Global and Planetary Changes*, 10.1016/j.gloplacha.2016.11.006

Dean, R.G. y Walton Jr. T.L. (2008). Wave Setup – A state of art review. September, 2008, 1-26.

Grobas, M., Espino, M., Martínez J.J. (2003). Variaciones del nivel del mar en el Mediterráneo occidental a partir de los datos suministrados por los mareógrafos.

Griggs, G.B. (2015). Lost neighborhoods of the California Coast. *Journal of Coastal Research*, 31.

Hodges, K., Lee, R.W., Bengtsson, L. (2011). A comparison of extratropical cyclones in recent reanalysis ERA-Interim, NASA MERRA, NCEP CFSR, and JRA-25. *Journal of Climate* 24(18):4888-4906. doi: 10.1175/2011JCLI4097.1

Karegar, M.A., Dixon, T.H., Malservisi, R., Kusche, R., Engelhart, S.E. (2017). Nuisance Flooding and Relative Sea-Level Rise: the Importance of Present-Day Land Motion. *Scientific Reports* 7, Article number: 11197. doi:10.1038/s41598-017-11544-y



Nicholls, R.J., Hanson, S., Herweijer, C., Patmore, N., Hallegatte, S., CorfeeMorlot, J., Chateau, J., Muir-Wood, R. (2008). Ranking of the World's cities most exposed to coastal flooding today and in the future. OECD Environment Working Papers, No. 1, OECD Publishing.

Pawlowicz, R., Beardsley, B., Lentz, S. (2002). Classical Tidal Harmonic Analysis with Error Analysis in MATLAB using T_TIDE.

Pérez, J., Menéndez, M., Méndez, F.J. (2015). Metodologías para el análisis de la climatología del oleaje: pasado, presente y futuro.

Rueda, A., Cagigal, L., Antolínez, A.A., Albuquerque, J.C., Castanedo, S., Coco, G., Méndez, F.J. (en revisión). From weather patterns to marine climate variability for a complicated island setting: The New Zealand case.

Sweet, W., Park, J., Marra, J., Zervas, C., Gill, S. (2014). Sea Level Rise and Nuisance Flood Frequency. Changes around the United States. NOAA Technical Report NOS CO-OPS 073.

Vitousek, S., Barnard, P.L., Fletcher, C.H., Frazer, N., Erikson, L., Storlazzi, C.D. (2017). Doubling of coastal flooding frequency within decades due to sea-level rise. Scientific Reports 7. Article number: 1399. doi:10.1038/s41598-017-01362-7

White, I. (2015). Past, present and future flooding in New Zealand: trends and responses.

Papers Past; National Library of New Zealand - paperspast.natlib.govt.nz

NIWA (National Institute of Water and Atmospheric Research) – niwa.co.nz

Trove; National Library of Australia – trove.nla.gov.au

New Zealand Herald - www.nzherald.co.nz

Stuff - stuff.co.nz

Press reader – pressreader.com/new-zealand

Bibliografía

Castanedo, S. Análisis armónico y predicción de marea astronómica usando T-Tide.

Losada, I., Vidal, C., Díaz, G. (2016). Apuntes Ingeniería Oceanográfica: Descripción del oleaje. Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos; E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Cantabria.



8. AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a los miembros del grupo de investigación “Storm and Surge” del Departamento de Ciencias, Técnicas del Agua y del Medio Ambiente, de la E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Cantabria, por permitirme colaborar en un proyecto del grupo con la realización de este Trabajo Fin de Máster, proporcionándome información y las herramientas necesarias para llevarlo a cabo.

En especial agradecerle a Sonia Castanedo Bárcena, por la paciencia que mostró en los primeros compases de este viaje, y por el esfuerzo en buscar un tema que me ayudara a aprender conceptos de la Ingeniería Oceanográfica que eran desconocidos para mí. También a Ana Cristina Rueda Zamora, por la amabilidad y paciencia con la que siempre atendió mis múltiples dudas. Gracias a las dos por apoyarme siempre, y despertarme el interés por la investigación en esta rama de la ingeniería.

Darles las gracias a Javi, Joaquín y Johnny, mis amigos y *hermanos*, que si bien nunca leerán esto, saben que han sido tres pilares fundamentales para alcanzar esta meta, y con los que he compartido tristezas, nervios y sobre todo alegrías, durante esta aventura de 6 años. Espero que el futuro nos depare proyectos conjuntos.

No podía cerrar este capítulo sin agradecerles a mis padres y a mi hermano. Gracias por estar ahí siempre y por haberme permitido alcanzar este sueño. Sólo vosotros sabéis lo que ha costado.

ANEJOS DE RESULTADOS

CONTENIDO

ANEJO 1.....	1
ANEJO 2.....	11
ANEJO 3.....	16

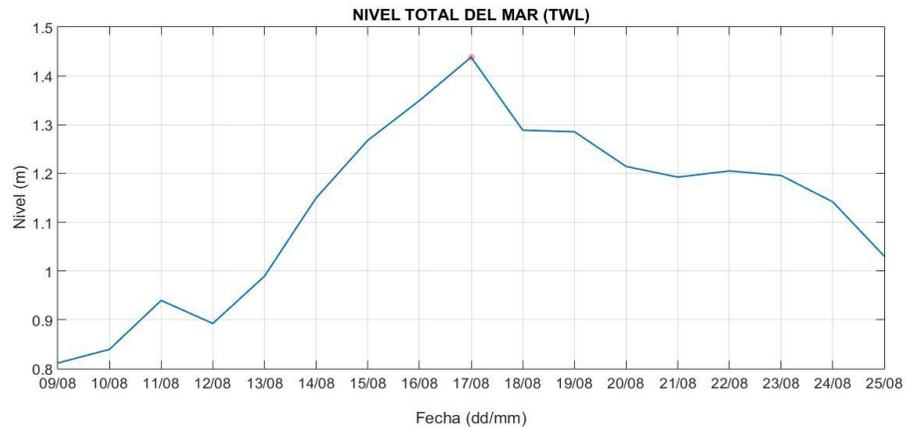


ANEJO 1



17 - 08 - 1974 (WT1)

Inundación en Clive, Haumoana y Te Awanga (Bahía de Hawke)



Hawke's Bay



Maritime / Coastal at Hawke's Bay



Observed wave heights in Hawke's Bay were in the order of 4.5 m - 9.0 m.



A Civil Defence Emergency was declared for Clive, East Clive, Haumoana and Te Awanga at 1:30pm on the 17th until 9:00am on the 19th.

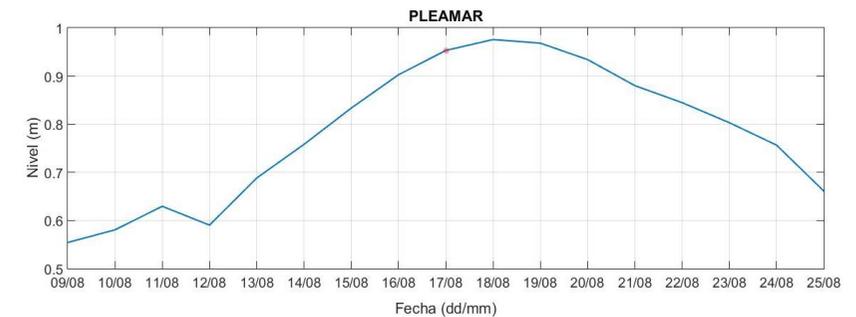
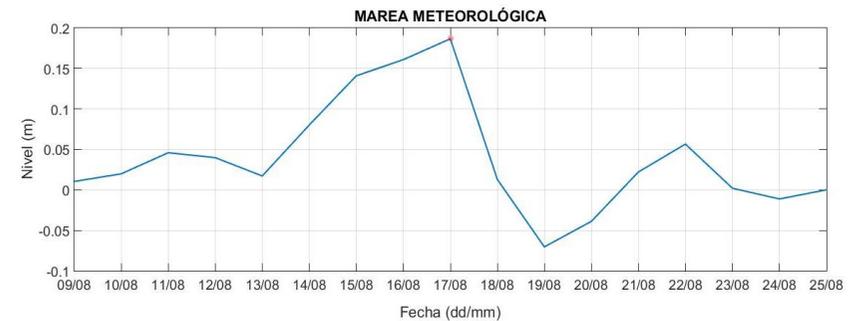
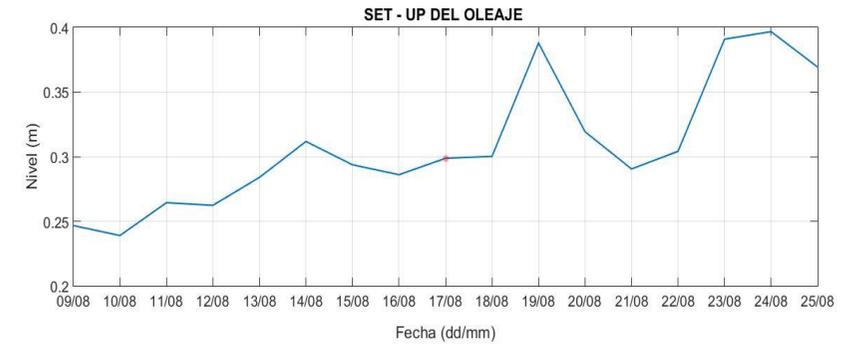


30 homes were evacuated.



200 homes along the coast were affected by the floods.

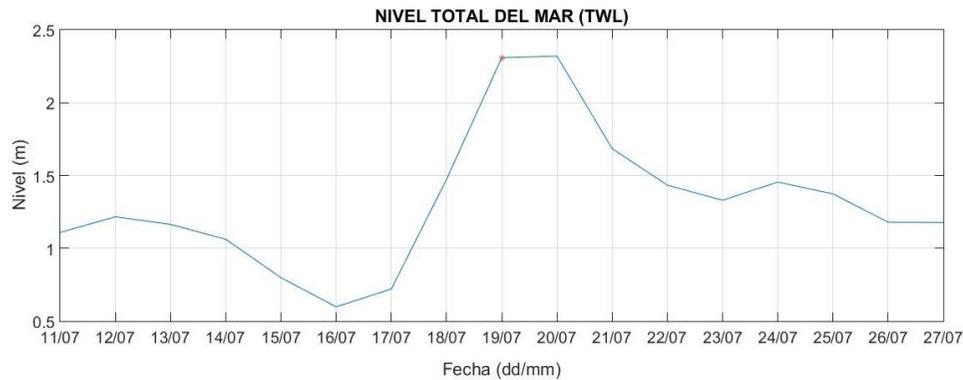
Fuente: https://hwe.niwa.co.nz/event/August_1974_Hawkes_Bay_Heavy_Seas





19 – 07 – 1978 (WT1)

Inundación en Whitianga, Cooks Beach y Tairua (Waikato)



Maritime / Coastal at Tairua [Show on map](#)



Tairua suffered extensive damage.



Tidal surges occurred in the Tairua Harbour caused flooding on the foreshore area between the state highway and Paku.



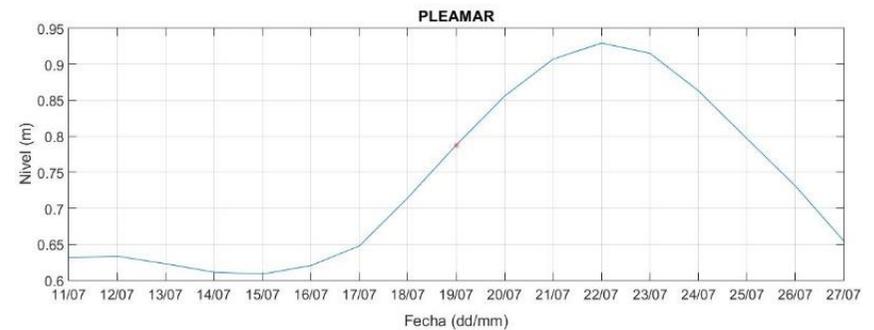
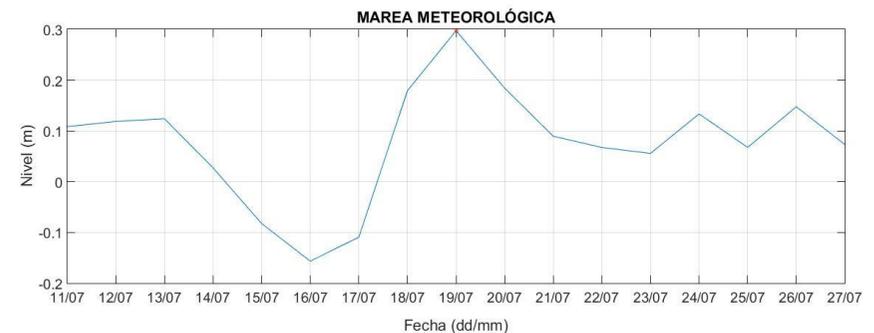
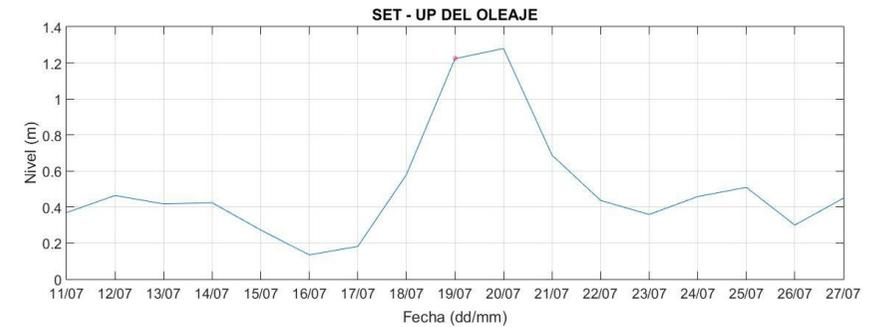
Maritime / Coastal at Cooks Beach [Show on map](#)



Cooks Beach suffered from erosion, with 18 m of beach frontage washed away.



Schools and shops were likely to be closed.

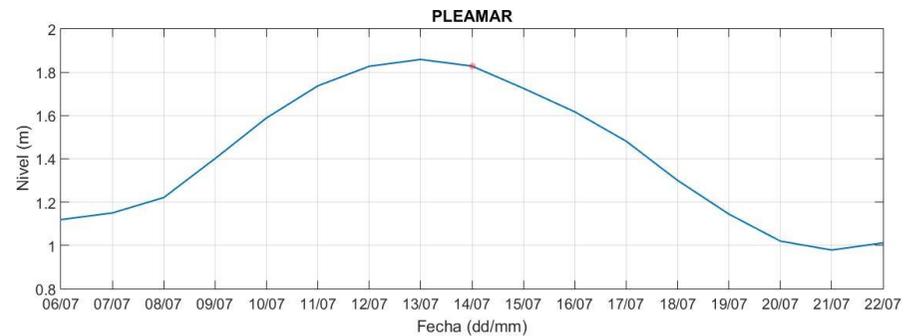
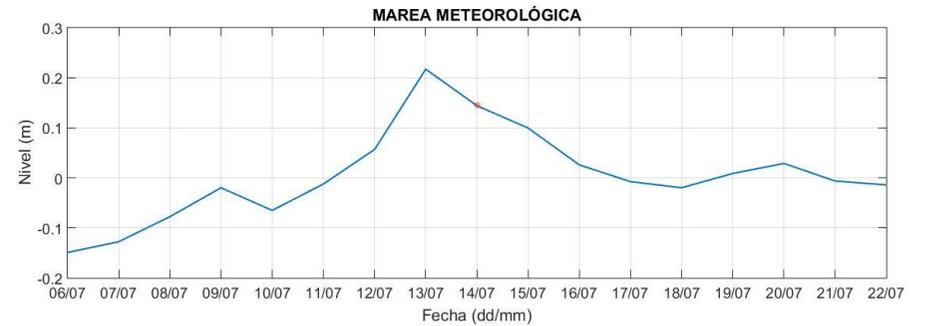
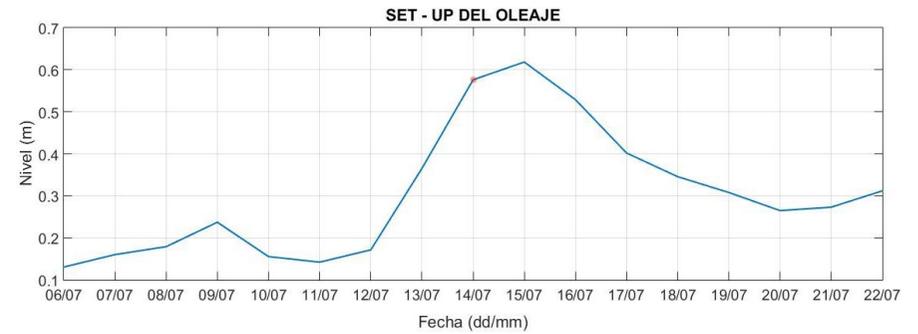
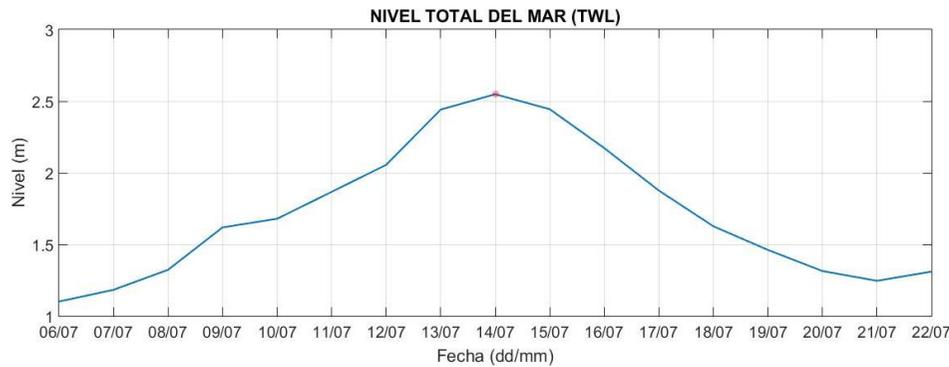


Fuente: https://hwe.niwa.co.nz/event/July_1978_North_Island_Storm



14 - 07 - 1987 (WT5)

Inundación en Thames y Hikuai (Waikato)



Maritime / Coastal at Totara [Show on map](#)



SH26 at Totara was flooding on the high tide on the 13th.



Maritime / Coastal



70 volunteers were out on the 13th sandbagging along Buffalo Beach Road to prevent the sea from crossing the road and entering property.



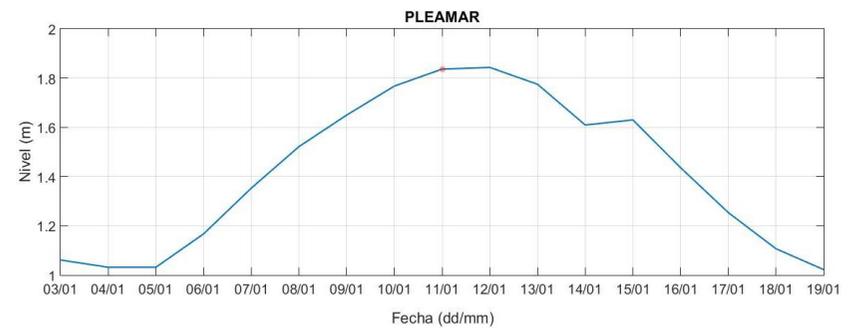
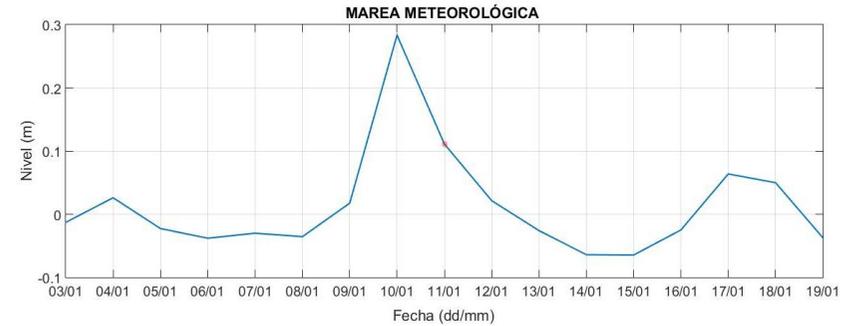
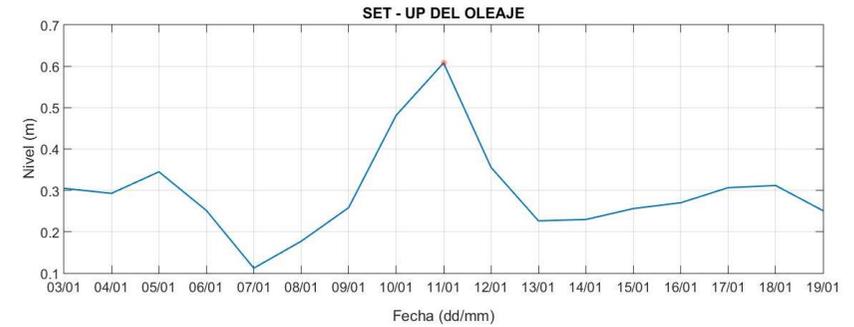
The sea did breach the sandbag wall on the 14th at high tide, but there was no damage done to houses and motels.

Fuente: https://hwe.niwa.co.nz/event/July_1987_Waikato_Storm



11 – 01 – 1997 (WT4)

Inundación en Thames (Waikato)



Waikato



Maritime / Coastal at Waikato



A State of Emergency was declared for the Thames-Coromandel District at 9:40am on the 11th



Worst sea flood in 50 years.



Maritime / Coastal at Firth of Thames [Show on map](#)



In the Firth of Thames, high waves were driven by northerly gales, combined with a spring tide.



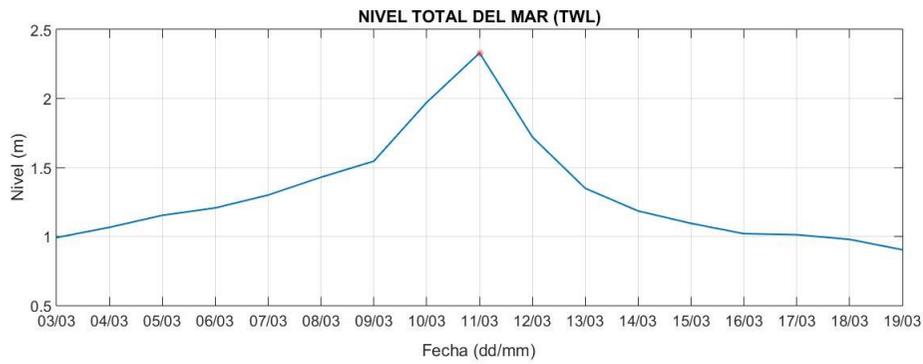
There was a 3.6 m spring tide.

Fuente: https://hwe.niwa.co.nz/event/January_1997_New_Zeland_Ex-tropical_Cyclone_Drena



11 – 03 – 1997 (WT4)

Inundación en Paihia, Tutukaka, Ohawini Bay (Northland)



Maritime / Coastal at Ohawini Bay [Show on map](#)

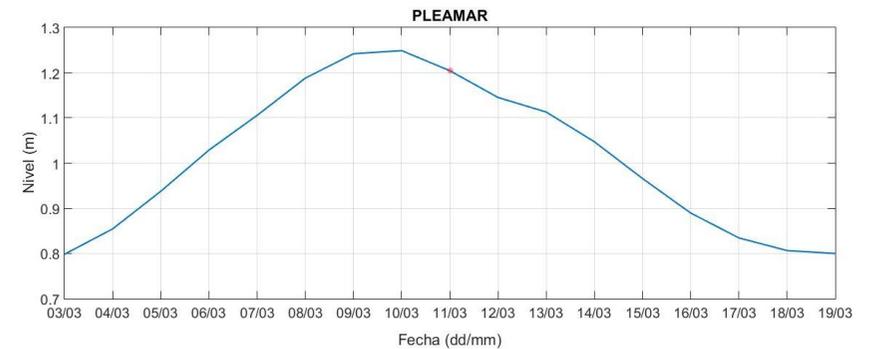
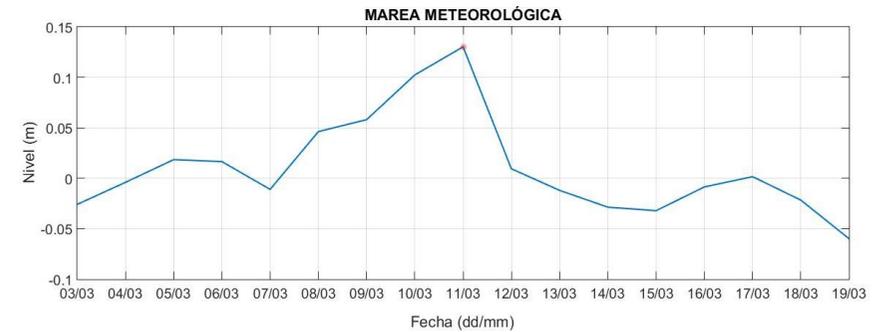
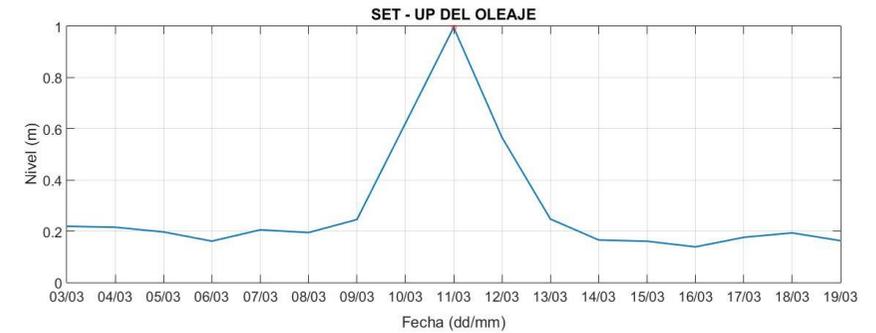
A family was evacuated at Ohawini Bay in Whangaruru Harbour.

Maritime / Coastal at Paihia [Show on map](#)

At Paihia, about 50 m of the waterfront collapsed as a huge swell combined with unusually high tides pounded the east coast.

Maritime / Coastal at Tutukaka [Show on map](#)

The basement of a beachfront house in Tutukaka was flooded.

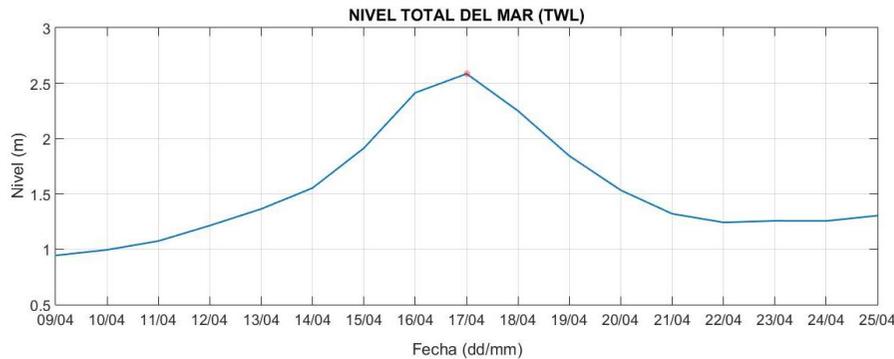


Fuente: https://hwe.niwa.co.nz/event/March_1997_North_Island_Ex-tropical_Cyclone_Gavin



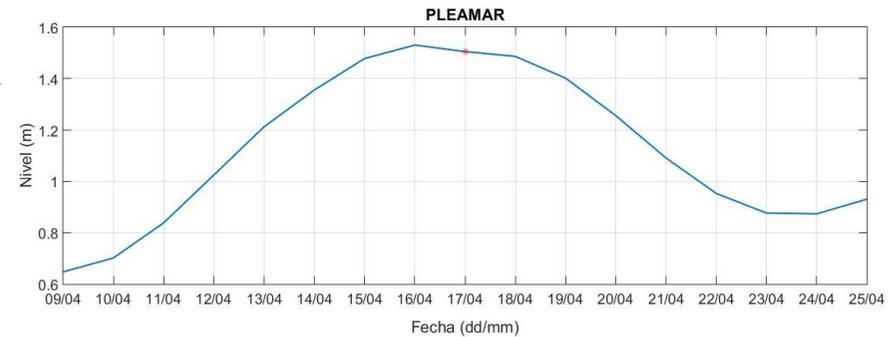
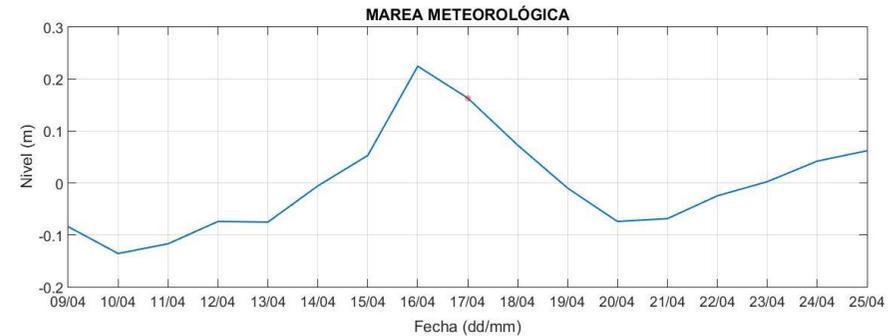
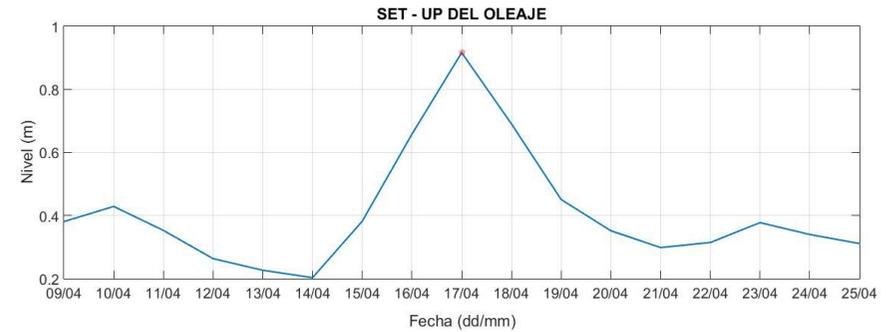
17 – 04 – 1999 (WT9)

Inundación en Raglan (Waikato) Onehunga, Manukau, Huia (Auckland)



Maritime / Coastal at Raglan [Show on map](#)

- In Raglan, the wind and rain whipped waves high enough to breach sea walls on the 17th.
- Some outbuildings were inundated.
- One man had water so deep on his front lawn that he cast a fishing line from the deck of his home.
- At a house in low-lying Lorenzen Bay, four high tides inundated a sleepout and garage and carried off timber stockpiled for home renovations.
- At the same property, sewage was washed from pipes across the lawn.
- The highest tide was at about 10:30am on the 17th.
- Locals agreed the tides were the worst in about 40 years.

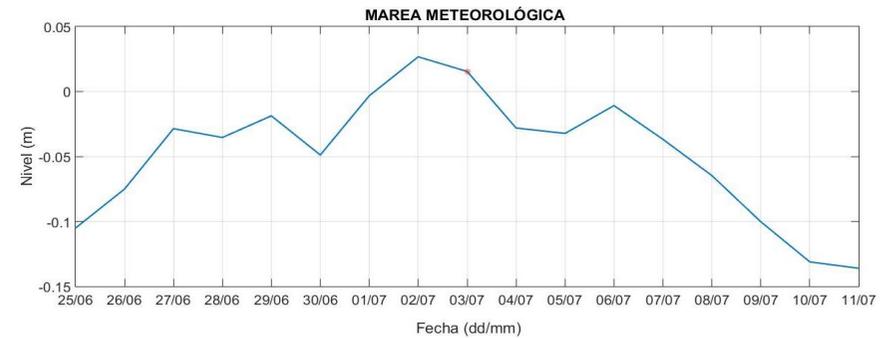


Fuente: https://hwe.niwa.co.nz/event/April_1999_New_Zealand_Snow_and_Marine_Inundation



03 – 07 – 2000 (WT12)

Inundación en Whangarei y Matapouri (Northland)

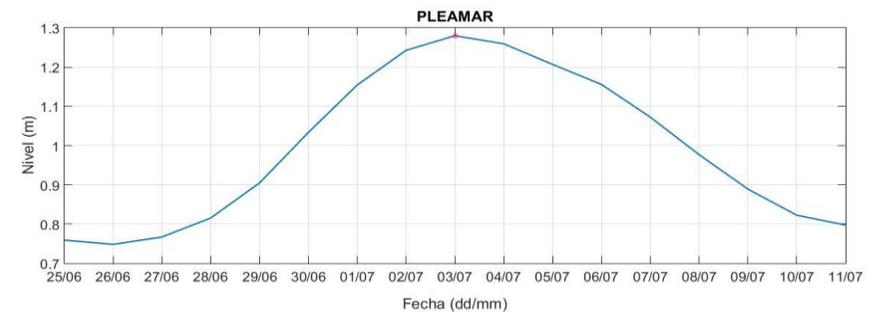


Northland



Maritime / Coastal at Northland

- The storm coincided with a very high spring tide, which peaked on the 4th.
- South-easterly winds resulted in a significant wind set-up against the coast, elevating sea levels and wave run up around the coast.
- A significant amount of erosion occurred on many sections of the Northland coastline, particularly Matapouri and Bream Bay.

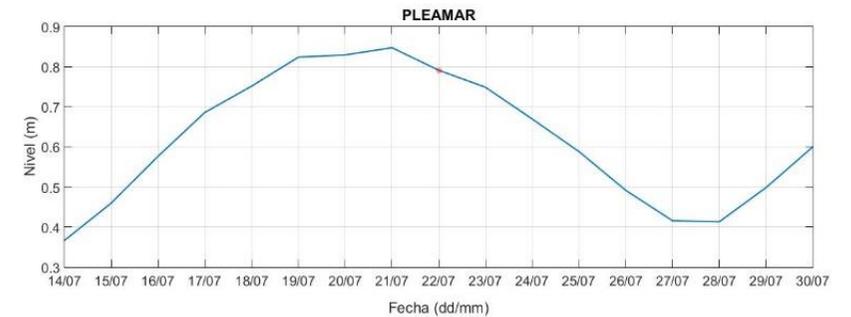
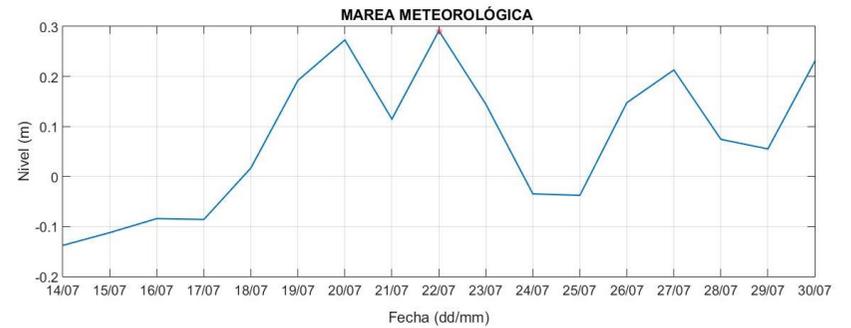


Fuente: https://hwe.niwa.co.nz/event/July_2000_Upper_North_Island_Storm



22 – 07 – 2008 (WT16)

Inundación en Kapiti Coast, Wellington, Paekakariki (Wellington)



Maritime / Coastal at Paraparaumu Beach [Show on map](#)



Storm surges blocked a Paraparaumu Beach drain, sending water gushing through the ground floor of a house.

Wellington



Maritime / Coastal at Wellington



Huge waves pounded the beaches on the Kapiti Coast on the 23rd. People were warned to stay away from the shore.



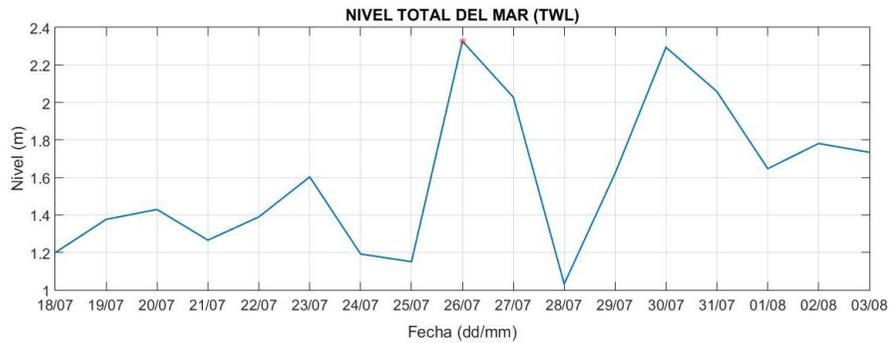
Driving conditions were treacherous along the Kapiti Coast, with some smaller coast roads closed

Fuente: https://hwe.niwa.co.nz/event/July_2008_Lower_North_Island_Storm



26 – 07 – 2008 (WT12)

Inundación en Coopers Beach y Paihia (Northland)



Maritime / Coastal

The very low air pressure allowed tides to rise just over half a metre above normal levels in some places.

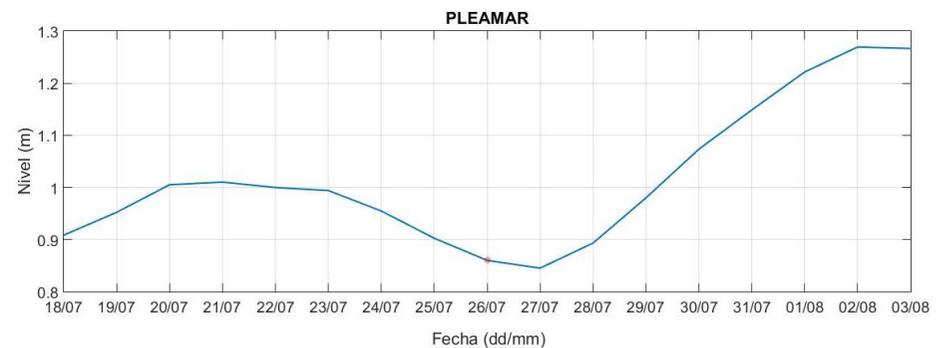
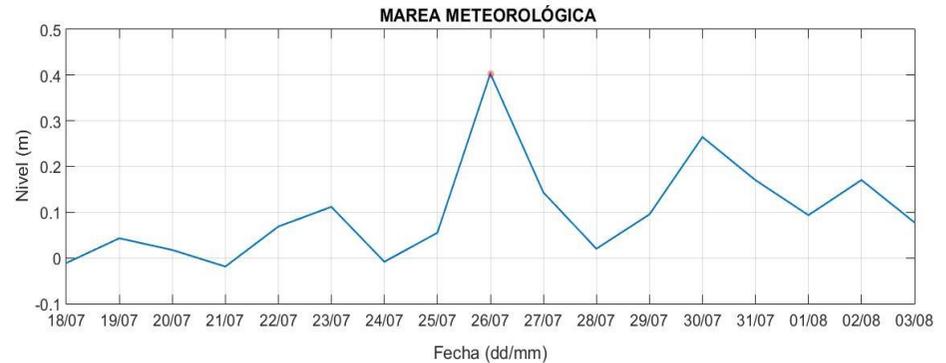
Maritime / Coastal at Coopers Beach [Show on map](#)

Waves pounded the normally calm and tranquil Coopers Beach, crashing on to SH10.

Maritime / Coastal at Paihia [Show on map](#)

SH11 at Paihia was closed as waves washed rocks and debris onto the road on the afternoon of the 26th.

Fuente: https://hwe.niwa.co.nz/event/July_2008_North_Island_Weather_Bom





ANEJO 2



Fechas inundación	Día de la serie	Set-up	M.M.	Pleamar	TWL
09/04/1968	3022	0,756	0,194	0,672	1,622
	1290	0,636	0,195	0,819	1,650
	4999	0,331	0,195	0,459	0,985
	2879	0,496	0,195	0,675	1,367
	2590	0,387	0,196	0,829	1,412
	18026	0,277	0,198	0,729	1,204
	13668	0,528	0,199	0,748	1,474
	3026	0,180	0,199	0,940	1,318
	4311	0,358	0,199	0,692	1,249
	16299	0,406	0,200	0,622	1,228
	7890	0,487	0,201	0,629	1,316
	4348	0,590	0,201	0,726	1,517
	13033	0,648	0,201	0,743	1,591
	7380	0,630	0,202	0,904	1,736
	18083	0,261	0,202	0,573	1,036
	4314	0,502	0,203	0,691	1,397
	9522	0,559	0,205	0,661	1,425
	5725	0,643	0,207	0,689	1,539
	884	0,369	0,208	0,821	1,397
	11525	0,307	0,208	0,551	1,066
	11492	0,272	0,210	0,888	1,369
	7942	0,454	0,213	0,779	1,446
	2336	0,436	0,213	0,821	1,470
	3077	0,261	0,214	0,686	1,160
	1635	0,517	0,217	0,548	1,283
	6812	0,321	0,218	0,723	1,262
	3128	0,432	0,220	0,573	1,224
	11527	0,431	0,220	0,508	1,159
	14842	0,367	0,221	0,763	1,351
	8135	0,747	0,221	0,776	1,744
	17339	0,490	0,222	0,737	1,449
	2381	0,551	0,222	0,684	1,457
	6744	0,553	0,223	0,699	1,474
	1888	0,232	0,223	0,665	1,120
	11892	0,650	0,224	0,642	1,516
	11168	0,730	0,225	0,647	1,603
	7321	0,427	0,226	0,683	1,335
	9040	0,304	0,228	0,840	1,372
	4666	0,565	0,229	0,721	1,515
	1250	0,585	0,230	0,549	1,364
	1680	0,431	0,230	0,808	1,468

Tabla 1: Días en los que se supera el mínimo de marea meteorológica marcado por el 09/04/1968



Fechas inundación	Día de la serie	Set-up	M.M.	Pleamar	TWL
30/07/2008	17744	0,864	0,230	0,757	1,851
	15176	0,301	0,231	0,706	1,238
	6684	0,645	0,234	0,624	1,503
	4609	0,449	0,234	0,822	1,505
	16117	0,321	0,236	0,692	1,249
07/03/1988	10294	1,052	0,241	0,711	2,004
	3099	0,341	0,246	0,575	1,162
	5645	0,668	0,246	0,853	1,767
	15522	0,404	0,247	0,723	1,374
	11833	0,626	0,255	0,584	1,466
	2392	0,555	0,255	0,906	1,716
	12979	0,404	0,256	0,979	1,639
	4339	0,460	0,259	0,616	1,335
	5331	0,489	0,260	0,692	1,441
	1658	0,484	0,264	0,820	1,567
	11927	0,580	0,275	0,790	1,644
	9688	0,457	0,289	0,714	1,460
18/09/2005	16698	0,776	0,296	0,965	2,037
19/07/1978	6775	1,058	0,300	0,832	2,189
	11187	0,552	0,320	0,712	1,583
26/07/2008	17740	0,853	0,379	0,738	1,970

Tabla 1: Días en los que se supera el mínimo de marea meteorológica marcado por el 09/04/1968 (continuación)

Fechas inundación	Día de la serie	Set-up	M.M.	Pleamar	TWL
11/01/1997	13526	0,367	0,213	2,240	2,820
	18324	0,196	0,080	2,242	2,519
	961	0,272	0,028	2,243	2,542
	4460	0,258	0,021	2,243	2,522
	1018	0,135	0,008	2,244	2,386
	14324	0,110	-0,074	2,245	2,281
	14131	0,242	-0,021	2,245	2,466
	1211	0,015	-0,148	2,246	2,113
	16834	0,065	0,039	2,246	2,350
	15785	0,062	-0,132	2,247	2,177
	13776	0,135	-0,022	2,247	2,360
	16891	0,033	-0,024	2,247	2,257
25/04/1967	2672	0,443	0,165	2,251	2,859
	4047	0,116	0,020	2,251	2,387
	11710	0,096	-0,076	2,252	2,272

Tabla 2: Días en los que se supera el umbral de pleamar marcado por el 11/01/1997



Fechas inundación	Día de la serie	Set – up	M.M.	Pleamar	TWL
	827	0,086	0,026	2,252	2,364
	12151	0,252	0,079	2,253	2,584
	7738	0,173	0,078	2,253	2,504
	7000	0,152	0,016	2,256	2,424
	15017	0,113	-0,008	2,257	2,362
	4268	0,140	0,040	2,258	2,438
	15430	0,233	0,146	2,259	2,638
	7412	0,027	-0,127	2,260	2,160
	2615	0,086	0,034	2,260	2,380
	10306	0,087	-0,058	2,261	2,290
	13363	0,254	0,053	2,263	2,570
	11739	0,151	0,053	2,264	2,469
	15814	0,148	0,006	2,264	2,419
	17218	0,025	-0,101	2,264	2,189
	3884	0,205	-0,012	2,265	2,457
	6335	0,067	0,019	2,265	2,350
	10690	0,070	-0,027	2,272	2,315
	10469	0,455	0,058	2,273	2,786
	605	0,126	-0,023	2,273	2,376
	2260	0,132	0,031	2,273	2,436
	4105	0,072	-0,083	2,274	2,263
	7767	0,062	-0,044	2,274	2,292
	10278	0,241	0,203	2,280	2,724
	7546	0,130	0,012	2,281	2,423
	12535	0,060	-0,123	2,282	2,219
	9229	0,086	-0,146	2,282	2,222
	7574	0,155	-0,041	2,284	2,398
	8845	0,049	-0,022	2,284	2,312
	2644	0,041	-0,165	2,285	2,160
	9200	0,029	-0,014	2,286	2,301
	385	0,174	0,042	2,286	2,502
	414	0,171	0,047	2,286	2,504
	3692	0,088	-0,001	2,286	2,374
	8816	0,024	-0,033	2,287	2,278
	12094	0,086	0,011	2,288	2,385
	18295	0,080	-0,054	2,289	2,315
	5950	0,007	-0,078	2,290	2,219
	7190	0,243	0,068	2,294	2,604
	5922	0,101	-0,093	2,294	2,301
	12507	0,082	-0,096	2,296	2,282
	7162	0,122	0,115	2,296	2,533

Tabla 2: Días en los que se supera el umbral de pleamar marcado por el 11/01/1997 (continuación)



Fechas inundación	Día de la serie	Set – up	M.M.	Pleamar	TWL
	1153	0,290	0,020	2,300	2,610
	1182	0,391	0,053	2,301	2,745
	13556	0,201	0,095	2,305	2,601
	13747	0,135	0,050	2,307	2,491
	5538	0,198	0,074	2,307	2,580
	12123	0,106	-0,043	2,308	2,372
	989	0,103	-0,010	2,310	2,403
	15401	0,193	0,127	2,311	2,631
	17247	0,146	-0,013	2,312	2,445
	10662	0,103	-0,025	2,313	2,392
	13584	0,117	-0,013	2,313	2,418
	6970	0,076	-0,042	2,317	2,351
	4076	0,039	-0,007	2,322	2,354
	7383	0,188	0,024	2,323	2,535
	13940	0,097	-0,031	2,334	2,400
29/03/1998	13968	0,564	0,134	2,335	3,033
	16863	0,189	0,064	2,335	2,587
	7354	0,071	0,008	2,338	2,417
	769	0,182	0,133	2,343	2,657
	798	0,078	0,138	2,354	2,569

Tabla 2: Días en los que se supera el mínimo de pleamar marcado por el 11/01/1997 (continuación)

Fechas inundación	Día de la serie	Set-up	M.M.	Pleamar	TWL
14/07/1995	12979	0,415	0,353	1,765	2,533
19/07/1978	6775	1,223	0,357	1,618	3,198
07/03/1988	10294	1,317	0,366	1,362	3,045
	1658	0,472	0,375	1,417	2,264
	9688	0,589	0,383	1,333	2,305
18/09/2005	16698	0,607	0,387	1,679	2,672
	11927	0,505	0,388	1,461	2,354
	13033	0,482	0,400	1,326	2,207
30/07/2008	17744	0,759	0,401	1,412	2,572
	5549	0,752	0,517	1,180	2,450
26/07/2008	17740	0,574	0,535	1,299	2,409

Tabla 3: Días en los que se supera el umbral de marea meteorológica marcado por el 14/07/1995

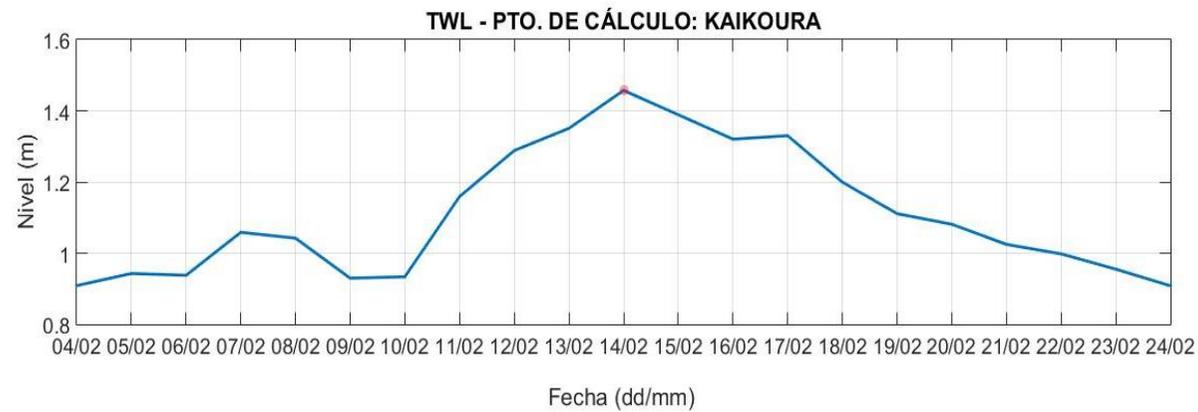


ANEJO 3



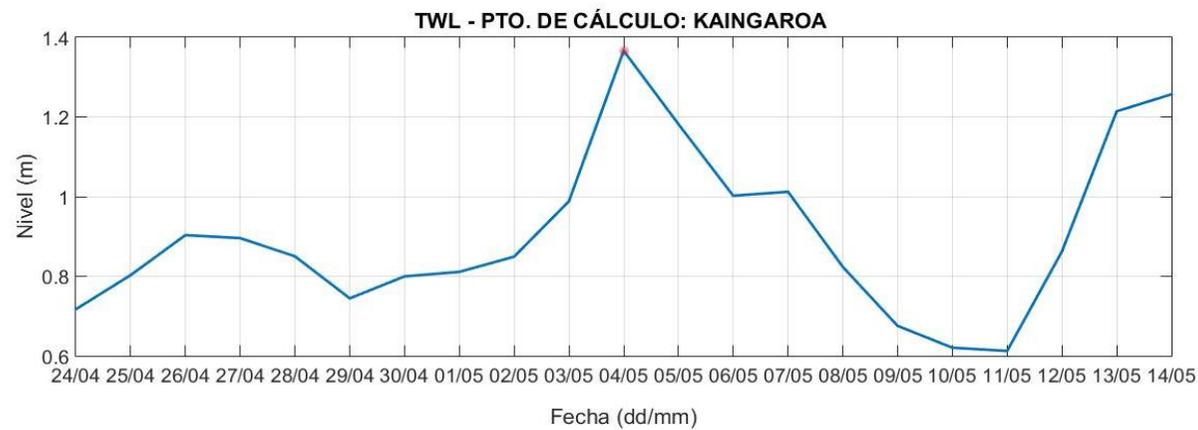
INUNDACIÓN EL 14/02/1965 (WT4)

WELLINGTON



INUNDACIÓN EL 04/05/1971 (WT2)

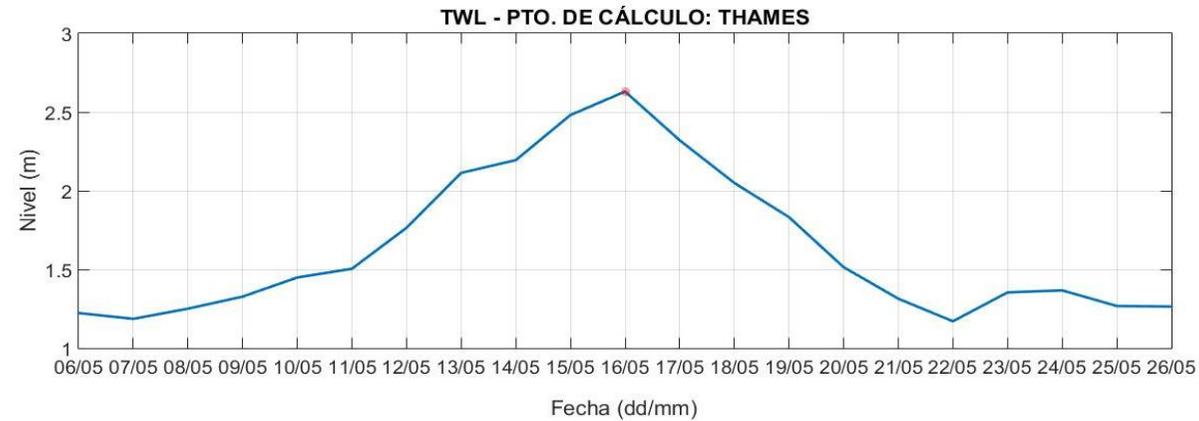
HAUMOANA





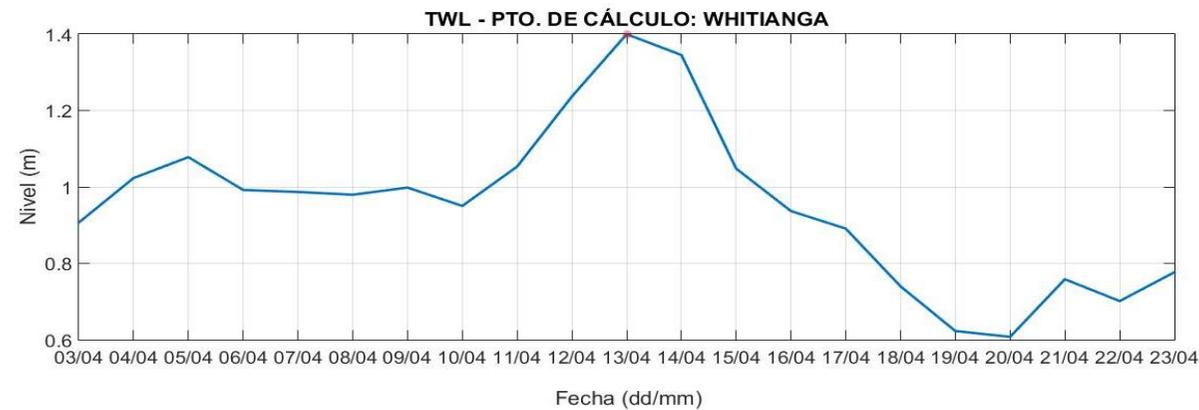
INUNDACIÓN EL 16/05/1972 (WT7)

MISSION BAY



INUNDACIÓN EL 13/04/1981 (WT2)

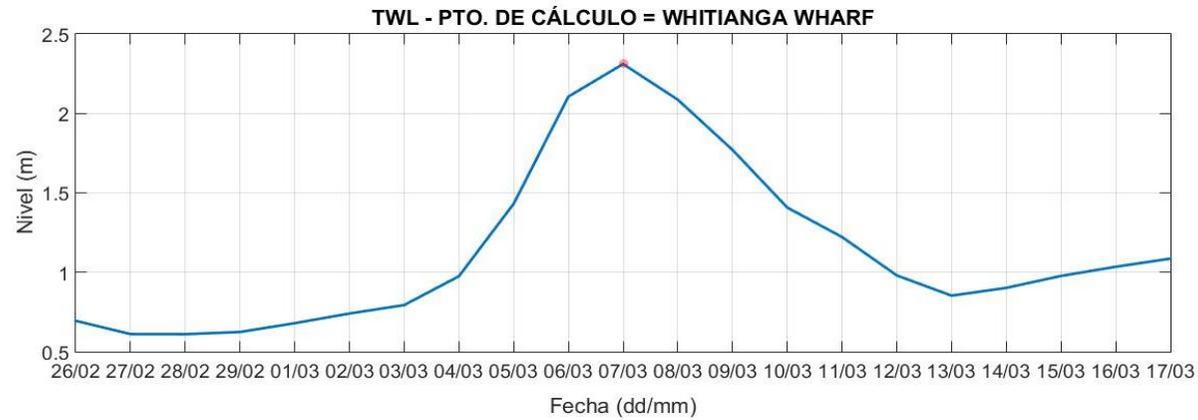
TAIRUA





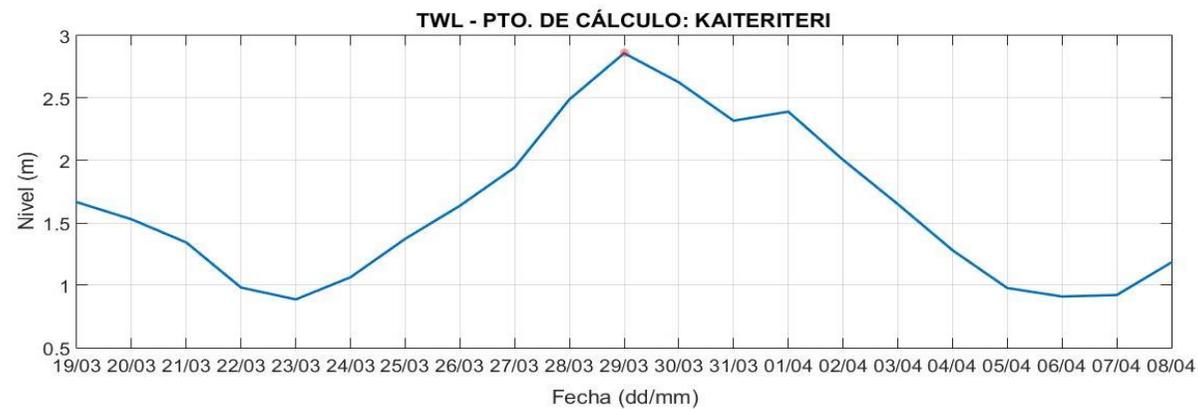
INUNDACIÓN EL 07/03/1988 (WT4)

WHITIANGA



INUNDACIÓN EL 29/03/1998 (WT9)

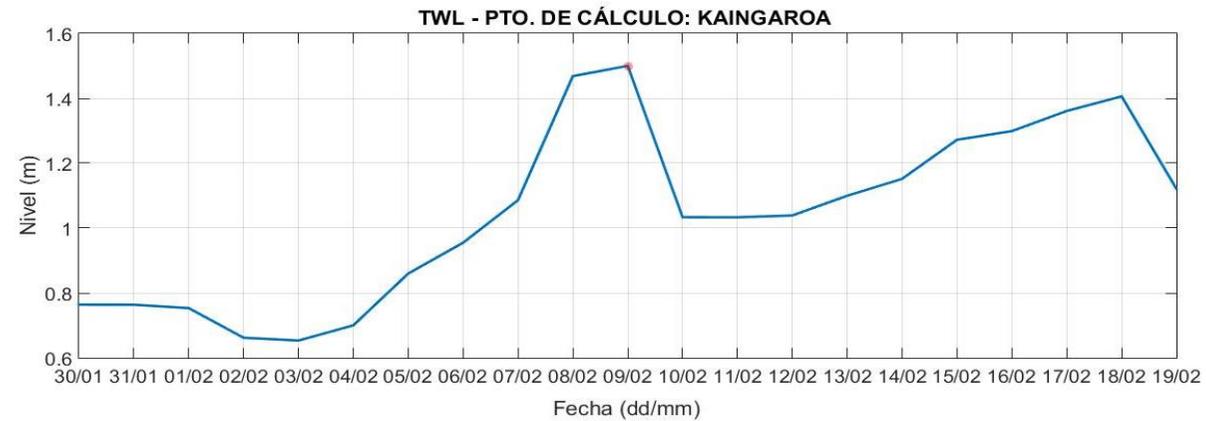
RUBY BAY





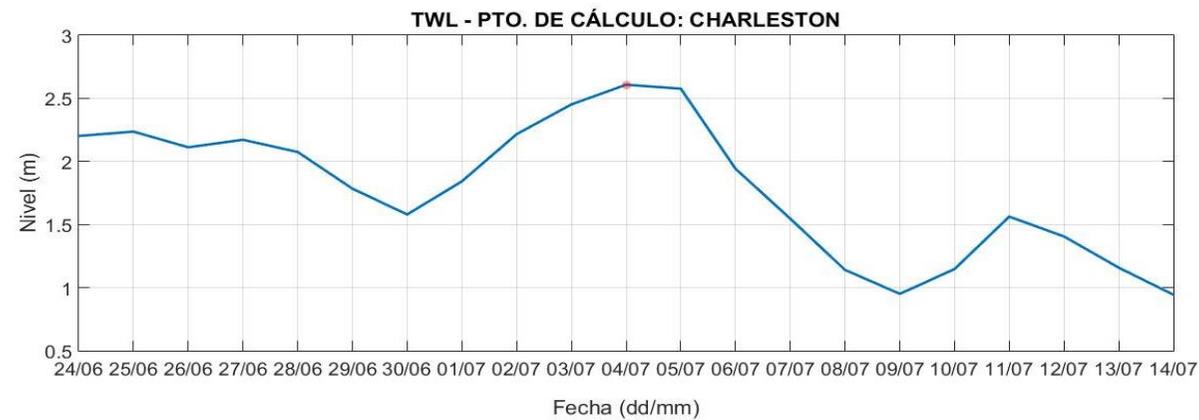
INUNDACIÓN EL 09/02/2008 (WT8)

HAUMOANA & WAINUI



INUNDACIÓN EL 04/07/2008 (WT16)

CARTERS BEACH





INUNDACIÓN EL 11/02/2009 (WT3)

NELSON

