

ANÁLISIS DE LOS TIEMPOS DE ARRIBO, TÉRMINO Y DURACIÓN DE LOS AVISOS OFICIALES DE MAREJADAS EN LAS COSTAS DE CHILE

ICO 621 – PROYECTO DE TÍTULO II

Autor : Alex Lara Yergues

Profesora Guía : Catalina Aguirre Galaz

Fecha : 16 / 01 / 2023

CONTENIDO



INTRODUCCIÓN



OBJETIVOS



MARCO TEÓRICO



METODOLOGÍA



RESULTADOS



DISCUSIÓN



CONCLUSIONES



REFERENCIAS

1. INTRODUCCIÓN



- Las marejadas son eventos extremos de oleaje que afectan el uso y operación habitual en las costas de Chile.
- Se ha registrado un aumento en la frecuencia de las marejadas en las últimas décadas (Winckler et al., 2020).
- Se proyecta al cambio climático como potencial responsable del aumento en la frecuencia de las marejadas, así como también de los aumentos de las alturas significativas de las olas (Lobeto et al., 2021).
- Se requiere encontrar criterios cuantitativos que permitan reducir los tiempos de duración de los avisos de marejadas de forma objetiva, manteniendo el nivel de seguridad.
- Buscar diferencias existentes en los pronósticos realizados por SERVIMET y SAM, donde además se complementa con mediciones in situ mediante boyas.
- Este trabajo está realizado bajo el proyecto FONDEF ID20I10404.

2. OBJETIVOS

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar la duración y tiempo de arribo de los avisos oficiales de marejadas generados por SERVIMET, y comparar estas variables con las que se obtendrían utilizando modelos numéricos y registros de boyas de oleaje.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

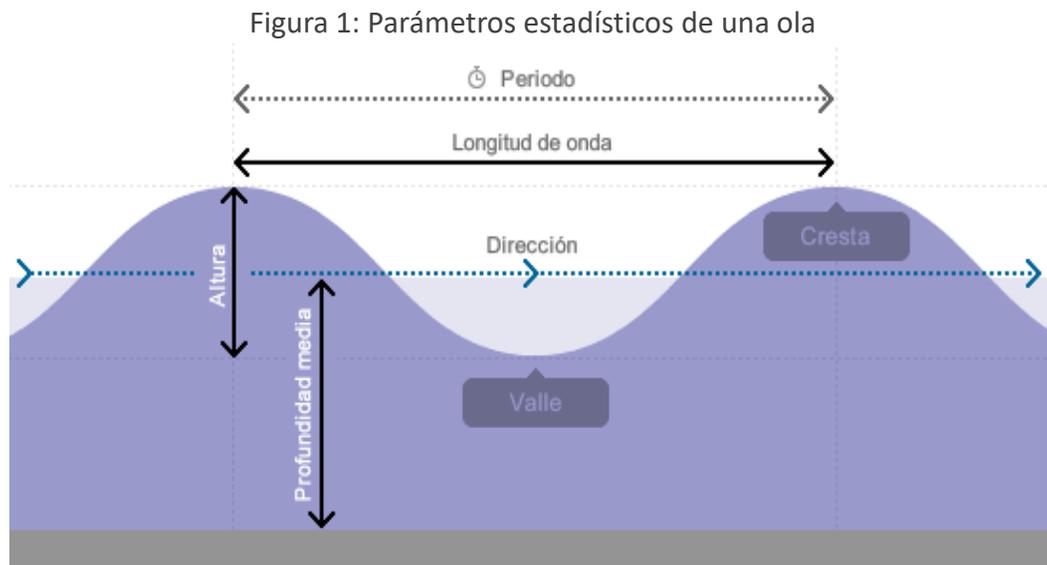
- 1 • Analizar tiempos de arribo, término y duración de los avisos de marejadas del SERVIMET.
- 2 • Analizar tiempos de arribo, término y duración de las alertas de marejadas del Sistema de Alerta de la Universidad de Valparaíso.
- 3 • Analizar tiempos de arribo, término y duración del evento de marejada registrado en boyas.
- 4 • Identificar y cuantificar las diferencias obtenidas de las 3 bases de datos.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 OLEAJE Y MAREJADA

OLEAJE

El oleaje es un fenómeno generado por la acción del viento que transmite energía del aire al agua.



Fuente: (Surf Atlántico, s.f.).

MAREJADA

Cuando se habla del fenómeno de la marejada existen varias definiciones a nivel país.

- El Atlas de Oleaje de Chile (Beyá et al., 2016) la define como un **“evento de oleaje extremo que está asociado al cese de las actividades marítimas y en ocasiones a naufragios y daños en el borde costero”**.
- El Servicio Meteorológico de la Armada (SERVIMET), hace uso de términos como “marejadilla”, “marejada” y “gruesa”.

En el 2016, el Servicio Meteorológico de la Armada dio a conocer los criterios que utilizar para emitir avisos de marejadas y marejadas anormales.

Tabla 1: Criterios nacionales utilizados por SERVIMET para la emisión de avisos de marejadas y marejadas anormales.

| CRITERIOS PARA LA EMISIÓN DE AVISOS DE MAREJADAS | | | | |
|--|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------|---|
| ORIGEN DEL MAR DE FONDO | DIRECCIÓN DE LAS OLAS OCEÁNICAS | ALTURA DE LAS OLAS EN METROS | PERIODO DE LAS OLAS EN SEGUNDOS | OBSERVACIÓN |
| OCÉANO PACÍFICO SUR O CAMPO LEJANO | SURWESTE/WESTE | $\geq 3,0$ Ó $4,0$ | NO CONSIDERADO | SE PROYECTAN EN FORMA DE ABANICO, BUSCANDO LA PERPENDICULARIDAD DE LA COSTA |
| CAMPO LEJANO | NORWESTE | $> 1,8$ E $< 2,5$ | < 18 | OLAS INGRESAN DIRECTAMENTE AL INTERIOR DE BAHÍAS |
| CRITERIOS PARA LA EMISIÓN DE AVISOS DE MAREJADAS ANORMALES | | | | |
| ORIGEN DEL MAR DE FONDO | DIRECCIÓN DE LAS OLAS OCEÁNICAS | ALTURA DE LAS OLAS EN METROS | PERIODO DE LAS OLAS EN SEGUNDOS | OBSERVACIÓN |
| OCÉANO PACÍFICO SUR O CAMPO LEJANO | SURWESTE/WESTE | $\geq 4,0$ Ó $6,0$ | NO CONSIDERADO | SE PROYECTAN EN FORMA DE ABANICO, BUSCANDO LA PERPENDICULARIDAD DE LA COSTA, GENERANDO POTENCIALES DAÑOS A LA INFRAESTRUCTURA COSTERA. |
| CAMPO LEJANO | NORWESTE | $\geq 2,5$ | > 14 y < 18 | OLAS INGRESAN DIRECTAMENTE AL INTERIOR DE BAHÍAS, GENERANDO POTENCIALES DAÑOS A LA INFRAESTRUCTURA COSTERA. SOPREPASAN LA LÍNEA DE COSTA. GENERAN INUNDACIONES. |
| CAMPO LEJANO | NORWESTE | $\geq 2,0$ | ≥ 18 | OLAS INGRESAN DIRECTAMENTE AL INTERIOR DE BAHÍAS, GENERANDO POTENCIALES DAÑOS A LA INFRAESTRUCTURA COSTERA. SOBREPASAN LA LÍNEA DE COSTA. GENERAN INUNDACIONES. |

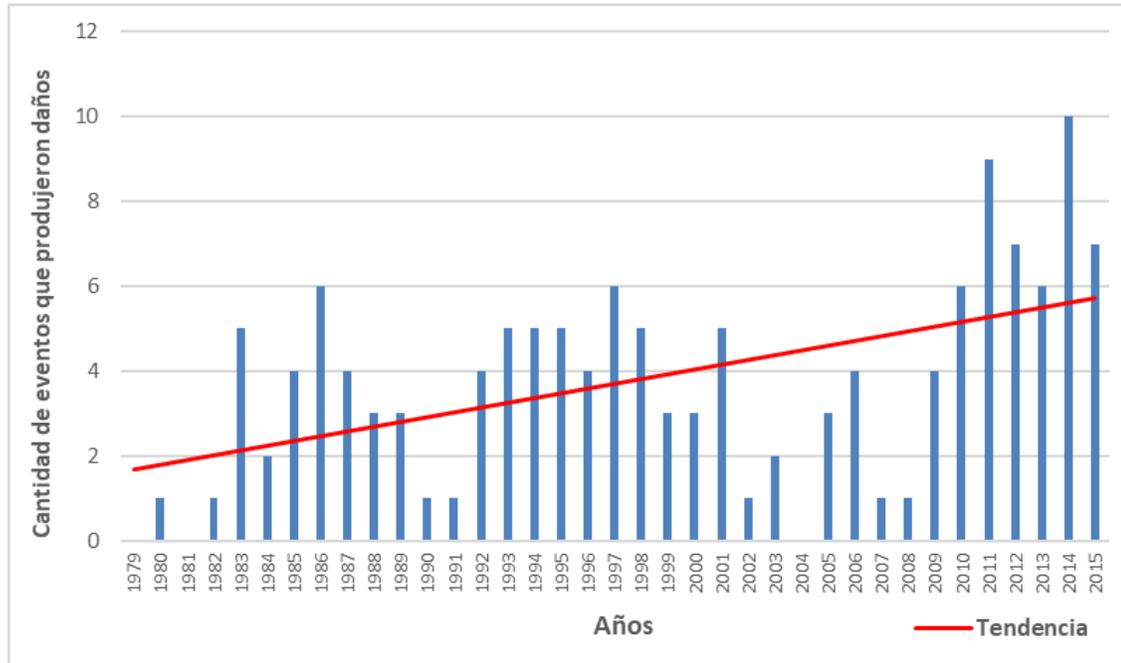
Fuente: Servicio Meteorológico de la Armada de Chile.

Hay que mencionar que su definición se realiza de acuerdo con sus efectos en la costa (SERVIMET, 2016b), según lo siguiente:

- 1. Evento de Marejadas:** Generan rompiente en el borde costero, que no sobrepasan la línea de la costa.
- 2. Evento de Marejadas Anormales:** Generan fuerte rompiente en el borde costero, potenciales daños a la infraestructura e inundaciones costeras.

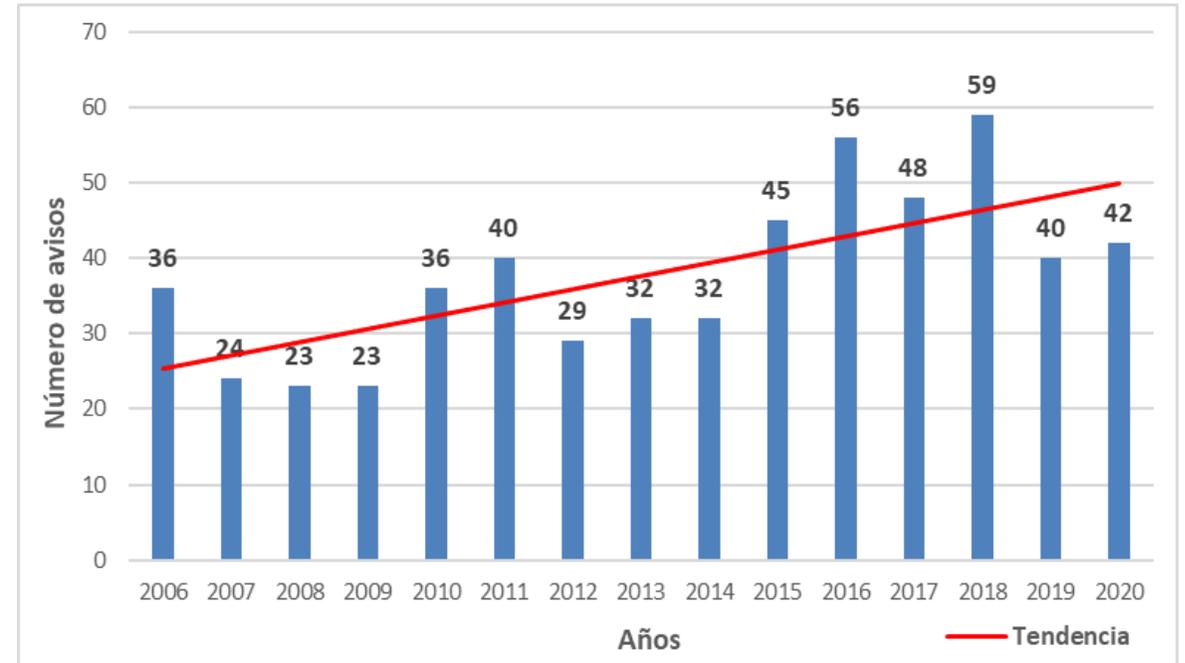
3.2 TENDENCIA AL AUMENTO DE LAS MAREJADAS

Figura 2: Distribución anual de eventos de marejadas con daños y/o impactos en las costas de Chile, 1979- 2015.



Fuente: Elaboración Propia a partir de (Campos, 2016).

Figura 3: Cantidad de avisos de marejadas entre los años 2006 y el 2020.



Fuente: Adaptación de SERVIMET, citado en (CAMPORT, 2021)

3.3 CIERRE DE PUERTOS EN CHILE

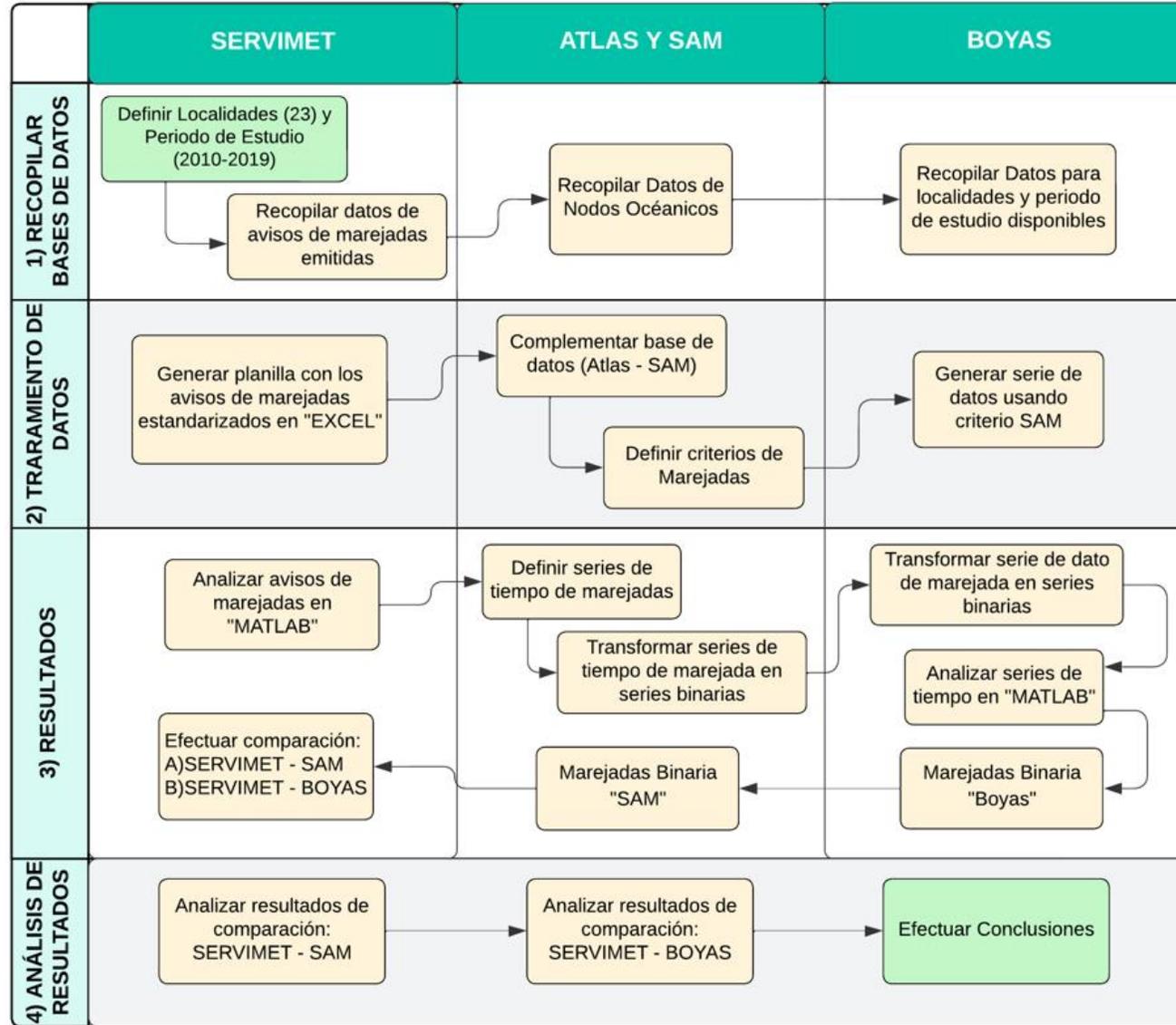
Tabla 2: Costos históricos por paralización operativa producto de marejadas en 7 puertos de Chile.

| Port | Operator | Type of fee | Annual costs | Average costs per fee | Total average costs |
|-----------------------------|---------------------------------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------|---------------------|
| | | | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2012–2018 | 2012–2018 |
| | | | US\$ | US\$/yr | US\$/yr |
| Arica | Terminal Puerto Arica (TPA) | Use of dock | 303,526 | 842,545 | 962,909 | 1,287,367 | 3,134,687 | - | 6,954,923 | 1,926,565 | 2,029,978 |
| | | Cargo movement | 25,602 | 36,215 | 45,046 | 80,891 | 172,546 | - | 363,588 | 103,413 | |
| Iquique | Empresa Portuaria Iquique (EPI) | Use of dock | 225,958 | - | 370,074 | 512,410 | 275,776 | 78,285 | 284,672 | 249,596 | 283,433 |
| | | Cargo movement | 36,496 | - | 48,162 | 60,708 | 39,722 | 10,699 | 41,069 | 33,837 | |
| Antofagasta | Empresa Portuaria Antofagasta (EPA) | Use of dock | 1,683,769 | 2,640,099 | 4,900,802 | 5,411,890 | 6,446,609 | 7,092,524 | 4,806,737 | 4,711,776 | 9,315,473 |
| | | Cargo movement | 1,930,605 | 2,748,940 | 5,286,754 | 3,318,549 | 5,498,553 | 8,254,386 | 5,188,097 | 4,603,698 | |
| Coquimbo | Terminal Puerto Coquimbo | Use of dock | - | - | - | 88,620 | 3,545 | - | - | 13,166 | 16,129 |
| | | Cargo movement | - | - | - | 19,851 | 888 | - | - | 2,963 | |
| Valparaiso | Puerto Valparaiso | Use of dock | 11,068 | - | - | 51,913 | 27,167 | - | - | 12,878 | 206,946 |
| | | Cargo movement | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | Terminal Cerros de Valparaíso (TCVAL) | Use of dock | 81,176 | - | - | 332,822 | 202,940 | - | - | 88,134 | |
| | | Cargo movement | 36,091 | - | - | 169,282 | 88,588 | - | - | 41,994 | |
| Terminal Pacífico sur (TPS) | Use of dock | 39,810 | - | - | 163,219 | 99,524 | - | - | 43,222 | | |
| | Cargo movement | 17,805 | - | - | 83,513 | 43,703 | - | - | 20,717 | | |
| San Antonio | Panul | Use of dock | - | 49,151 | 49,151 | - | 68,811 | - | - | 23,873 | 59,938 |
| | | Cargo movement | - | 12,727 | 13,887 | - | 22,368 | - | - | 6,997 | |
| | Puerto Central | Use of dock | - | 17,483 | 17,483 | - | 24,476 | - | - | 8,492 | |
| | | Cargo movement | - | 11,049 | 12,056 | - | 19,418 | - | - | 6,075 | |
| STI | Use of dock | - | 17,982 | 17,982 | - | 25,175 | - | - | 8,734 | | |
| | Cargo movement | - | 10,489 | 11,445 | - | 18,435 | - | - | 5,767 | | |
| San Vicente | San Vicente STVI | Use of dock | 55,742 | - | - | 87,595 | - | - | - | 20,477 | 60,041 |
| | | Cargo movement | 79,773 | - | - | 197,175 | - | - | - | 39,564 | |
| Total costs per year (US\$) | | | 4.527.421 | 6.386.680 | 11,735,751 | 11,865,805 | 16,212,931 | 15,435,894 | 17,639,086 | | |

Fuente: (Winckler et al., 2022).

4. METODOLOGÍA

Figura 4 : Diagrama resumen de metodología empleada.



Fuente: Elaboración Propia.

4.1 DOMINIO DE INVESTIGACIÓN

Tabla 3 : Listado de localidades a analizar.

| | | | | |
|---------------|---------------|-----------------|------------------|----------------------|
| 1 Arica | 6 Caldera | 11 Pichilemu | 16 Corral | 21 Golgo de Penas |
| 2 Iquique | 7 Huasco | 12 Constitución | 17 Bahía Mansa | 22 A. Juan Fernández |
| 3 Tocopilla | 8 Coquimbo | 13 Talcahuano | 18 Canal Chacao | 23 Isla de Pascua |
| 4 Antofagasta | 9 Los Vilos | 14 Lebu | 19 Isla Guafo | |
| 5 Taltal | 10 Valparaíso | 15 Isla Mocha | 20 Isla Guamblin | |

Fuente: Elaboración Propia.

4.2 BASE DE DATOS

4.2.1 AVISOS DE MAREJADAS DE SERVIMET

Tabla 4 : Avisos de marejadas efectuados por SERVIMET EN 2018.

| AVISO | | DIRECCION | TRAMOS | INICIO | TERMINO |
|-------|-----------|-----------|--------------------------|-----------------------|--------------------|
| 1 | | NW | ARICA COQUIMBO | LUNES 15 ENERO PM | MIÉRCOLES 17 ENERO |
| | | | COQUIMBO GOLFO DE ARAUCO | MARTES 16 ENERO AM | MIÉRCOLES 17 ENERO |
| | | | A. JUAN FERNANDEZ | MARTES 16 ENERO AM | MIÉRCOLES 17 ENERO |
| 2 | ANORMALES | NW | ISLA DE PASCUA | JUEVES 18 ENERO AM | DOMINGO 21 ENERO |
| | | | ARICA COQUIMBO | JUEVES 18 ENERO AM | MARTES 23 ENERO |
| | | | A. JUAN FERNANDEZ | VIERNES 19 ENERO AM | MARTES 23 ENERO |
| | | | COQUIMBO LEBU | SÁBADO 20 ENERO AM | MARTES 23 ENERO |
| 3 | | SW | GOLFO DE PENAS CORRAL | MARTES 30 ENERO AM | JUEVES 1 FEBRERO |
| | | | CORRAL COQUIMBO | MARTES 30 ENERO PM | VIERNES 2 FEBRERO |
| | | | A. JUAN FERNANDEZ | MIÉRCOLES 31 ENERO AM | VIERNES 2 FEBRERO |
| | | | COQUIMBO CHAÑARAL | MIÉRCOLES 31 ENERO AM | VIERNES 2 FEBRERO |

Fuente: SERVIMET

CRITERIO

- AM: 06:00 [hrs]
- PM: 18:00 [hrs]
- TERMINO: 00:00 [hrs] día siguiente

4.2.2 AVISO DE MAREJADAS DEL ATLAS DE OLAJE Y EL SISTEMA DE ALERTA DE MAREJADAS

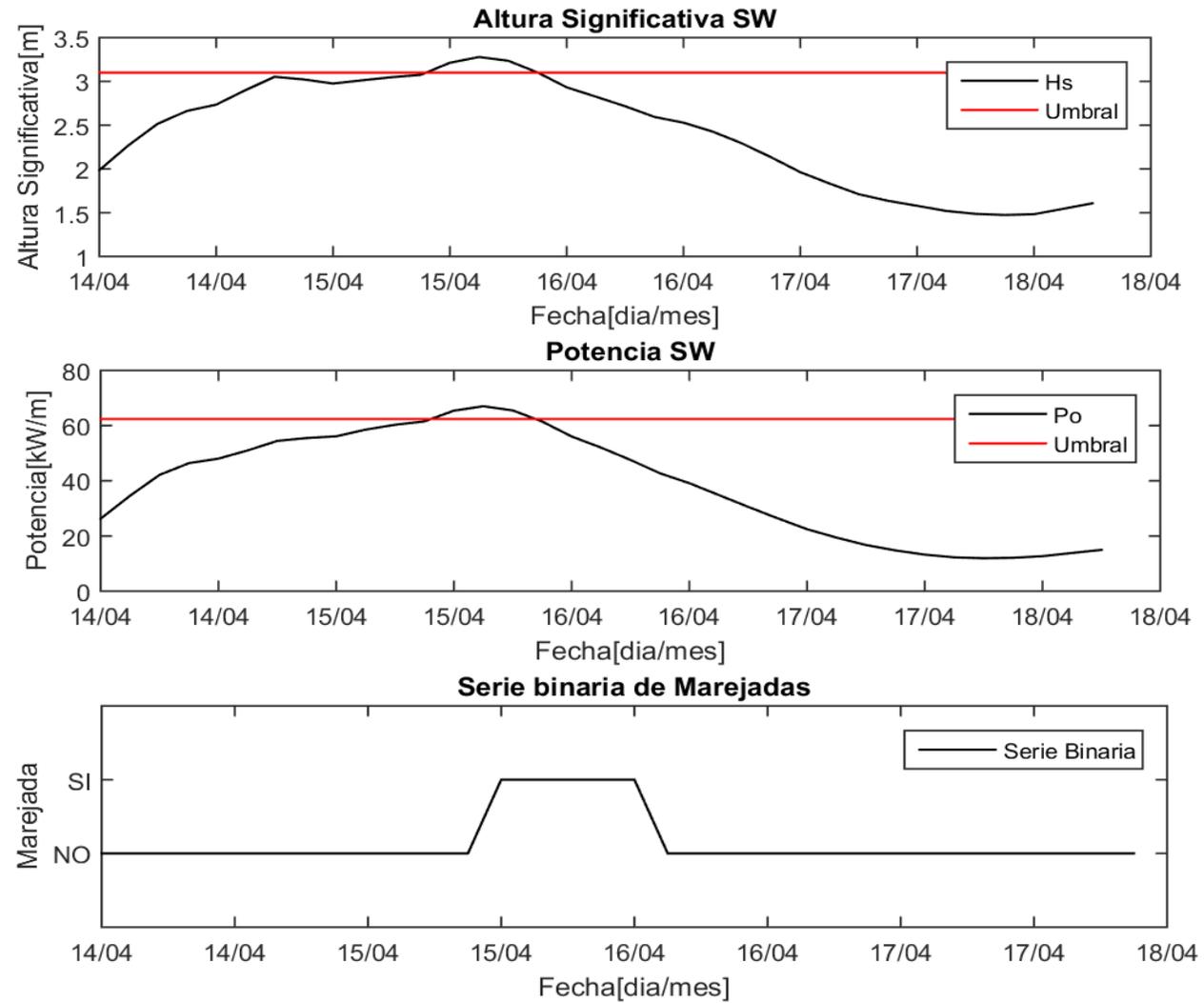
- Atlas de Oleaje (Hindcast): Se utilizan datos de viento de reanálisis con los que se fuerza el modelo de olas. El uso de esta base de datos va cubre entre 2010 y 2016.
- Sistema de Alerta de Marejadas (Pronóstico): Se utilizan pronósticos de viento con los que se fuerza el modelo de oleaje. La data cubre entre 2017 y 2019.

Tabla 5 : Criterio SAM para definir marejadas

| | PERCENTIL | | | | PERIODO DE RETORNO [AÑOS] | | |
|------------------|---------------|----------------|-----------|-----------|---------------------------|-----------|-----------|
| Desde | 0 | 75 | 95 | 99 | 2 | 5 | >15 |
| Hasta | 75 | 95 | 99 | 2 | 5 | 15 | ∞ |
| Valor | -1 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Categoría | Normal | Normal+ | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 |

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 5: Ejemplos donde se supera el umbral de Altura y Potencia, provocando la marejada binaria



Fuente: SAM mediante software MATLAB.

4.2.3 BOYAS

Tabla 6 : Base de datos disponible en boyas para localidades y periodo de estudio

| LOCALIDAD | LATITUD | LONGITUD | FECHA INICIO | FECHA TÉRMINO |
|------------|------------|------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Iquique | 20°14.9'S | 70°14.8'O | 13 / 09 / 2018 | 28 / 08 / 2019 |
| Valparaíso | 32°59.7'S | 71°49.5'O | 01 / 11 / 2015 08 / 08 / 2018 | 12 / 01 / 2016 31 / 08 / 2019 |
| Talcahuano | 36°34'S | 73°20.3'O | 24 / 10 / 2017 | 13 / 01 / 2019 |
| Lebu | 37°35.18'S | 73°39.46'O | 31 / 08 / 2011 08 / 03 / 2012 | 05 / 11 / 2011 25 / 05 / 2012 |

Fuente: Elaboración Propia.

Los datos utilizados son los de altura significativa y periodo.

Para el procesamiento de datos, se verifica si cumple las condiciones de marejadas según el criterio SAM.

4.3 METODOLOGÍA DE COMPARACIÓN

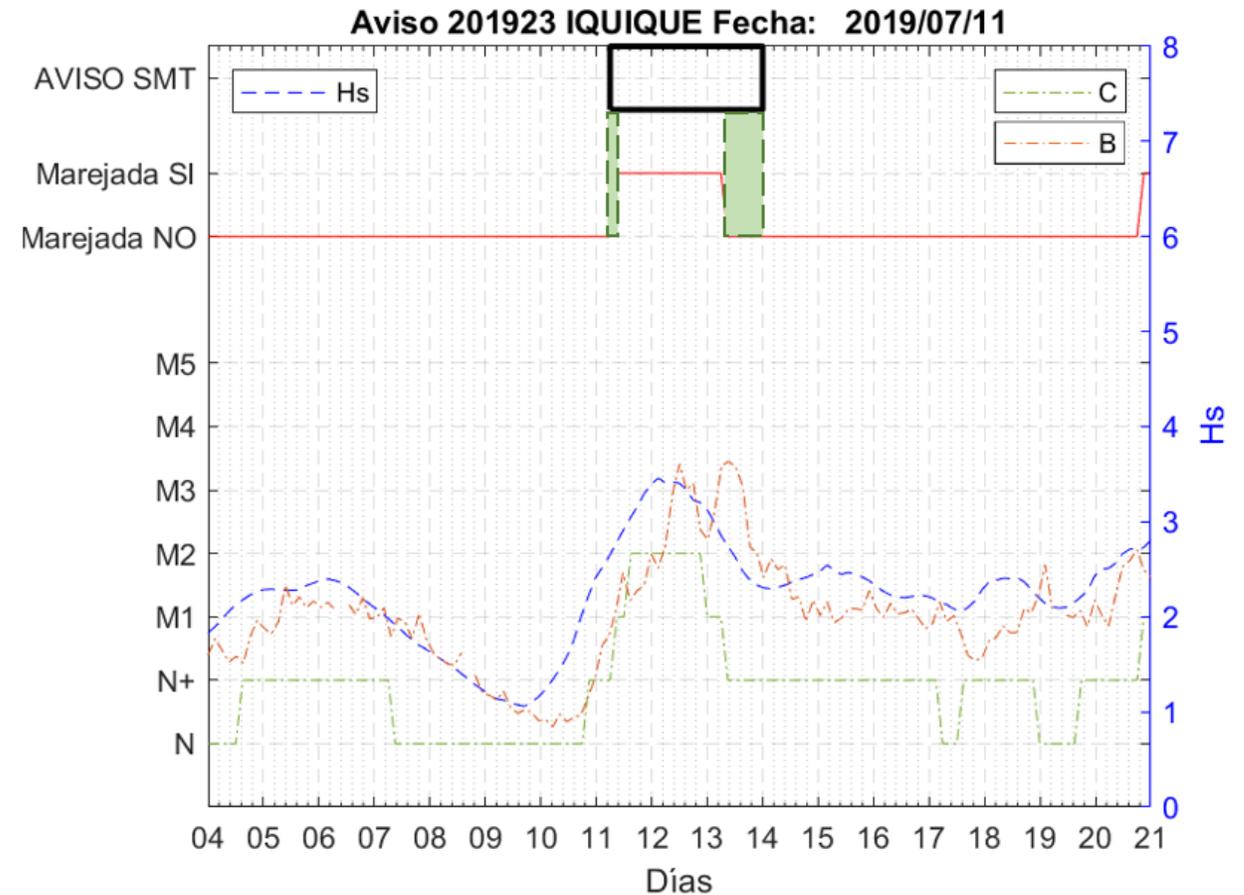
Las diferencias (en días) se analizan para los siguientes pares:

- SERVIMET – SAM
- SERVIMET – BOYAS

La simbología viene dada por:

- Hs: Altura significativa
- C: Categoría de marejada dispuesta por SAM
- B: Medición efectuada mediante boya

Figura 6: Esquema para determinar los desfases en los tiempos de arribo y término de los avisos de marejadas.

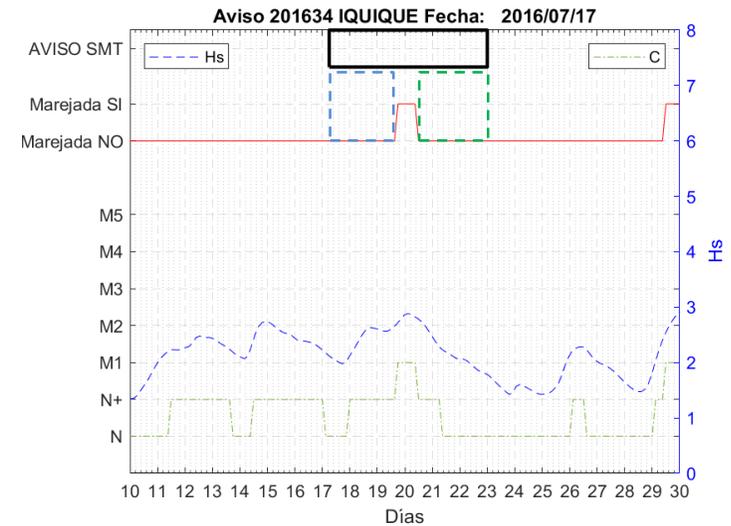
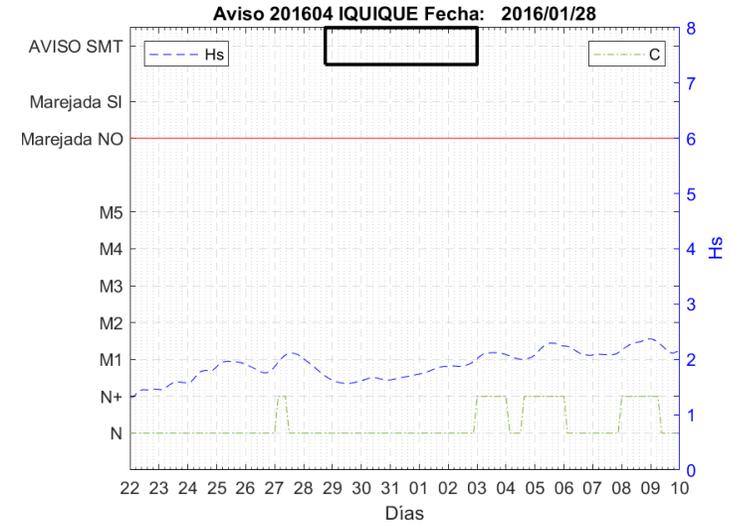
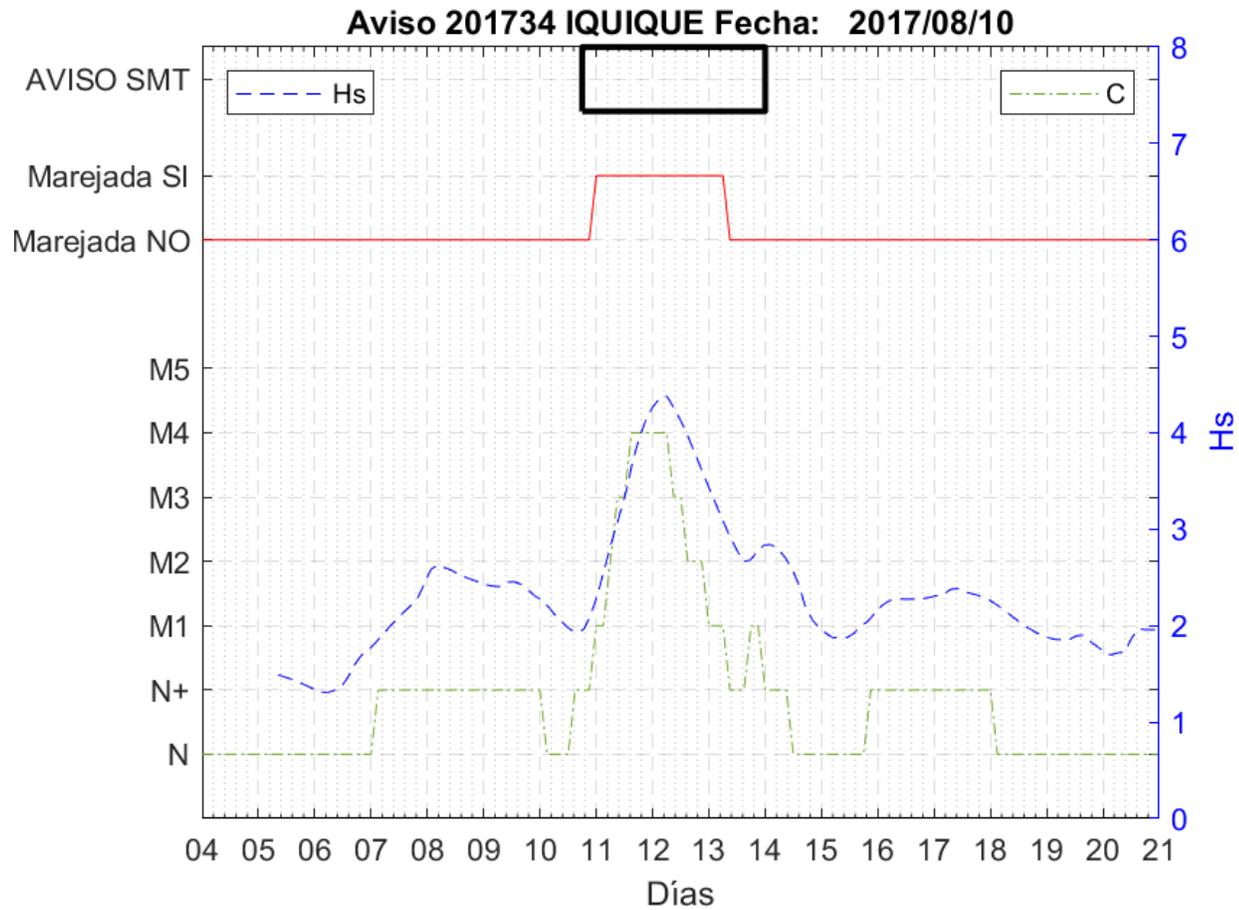


Fuente: Elaboración propia mediante MATLAB.

5. RESULTADOS

5.1 SERVIMET - SAM

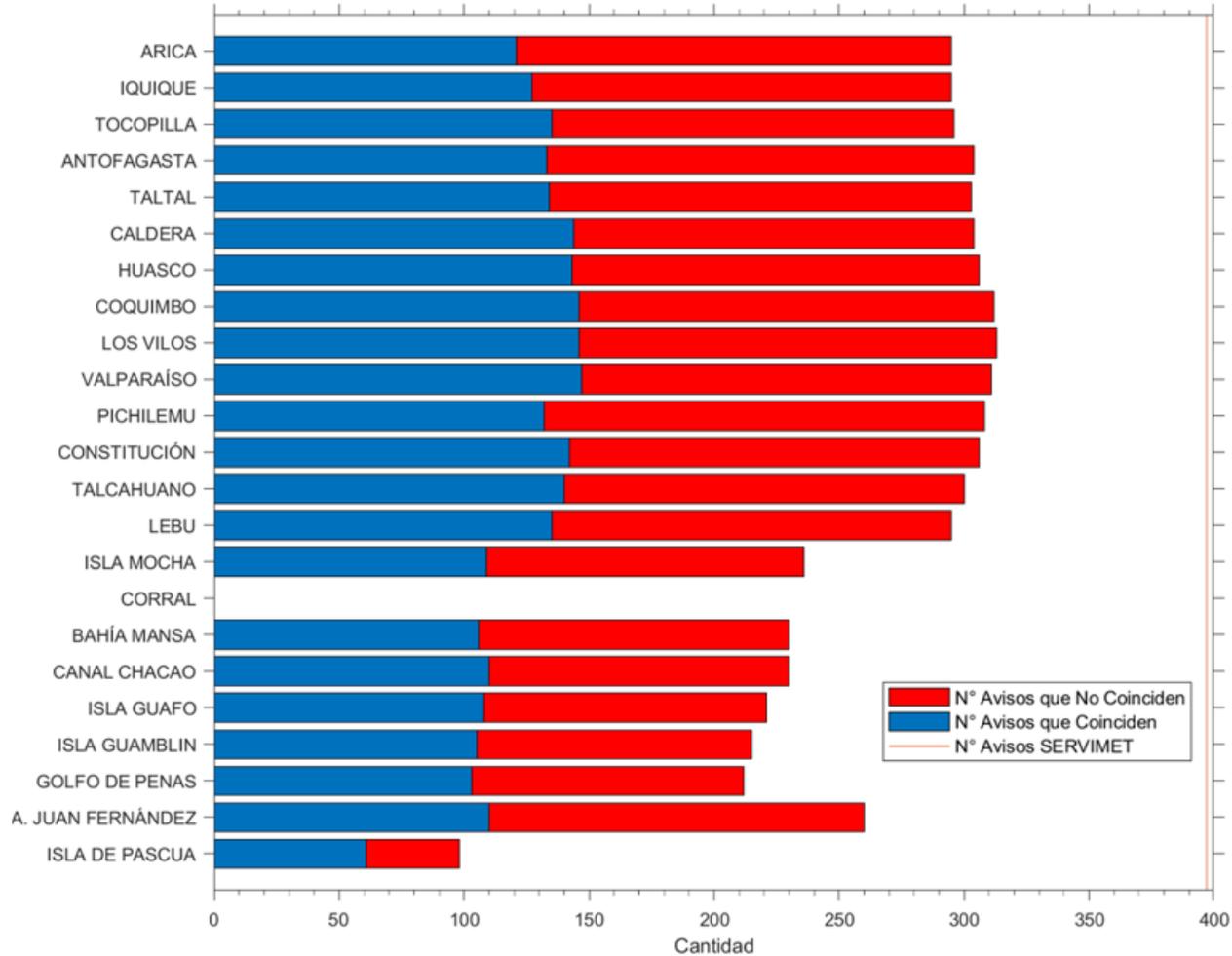
Figura 7: Comparación de avisos de marejadas en Iquique



Fuente: Elaboración propia mediante MATLAB.

5.1 SERVIMET - SAM

Figura 8: Cantidad de avisos que coinciden (y no), entre los emitidos por SERVIMET vs SAM



Fuente: Elaboración propia mediante MATLAB.

5.1 SERVIMET - SAM (IQUIQUE)

Figura 9: Desfases en los tiempos de arribo y término para los avisos de SAM respecto a los de SERVIMET en Iquique.

| | INICIO [Hr] | TERMINO [Hr] |
|------------|-------------|--------------|
| PROM. | 6.9 | -22.2 |
| DESV. EST. | 27.1 | 27.7 |

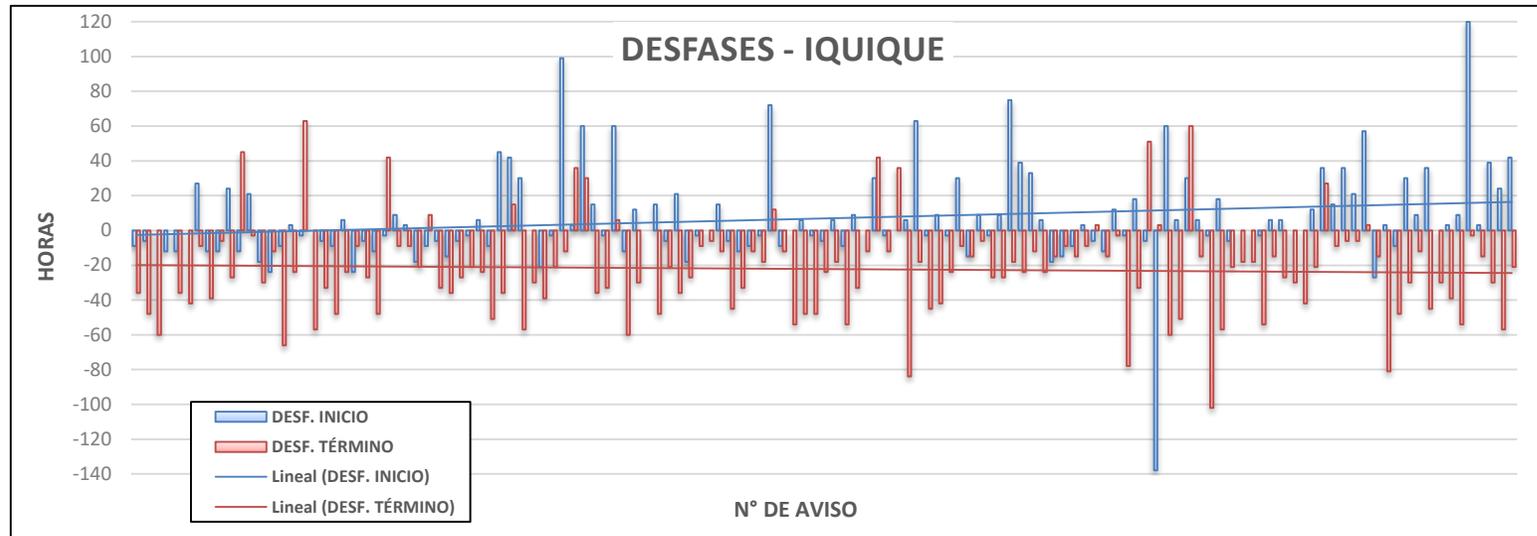
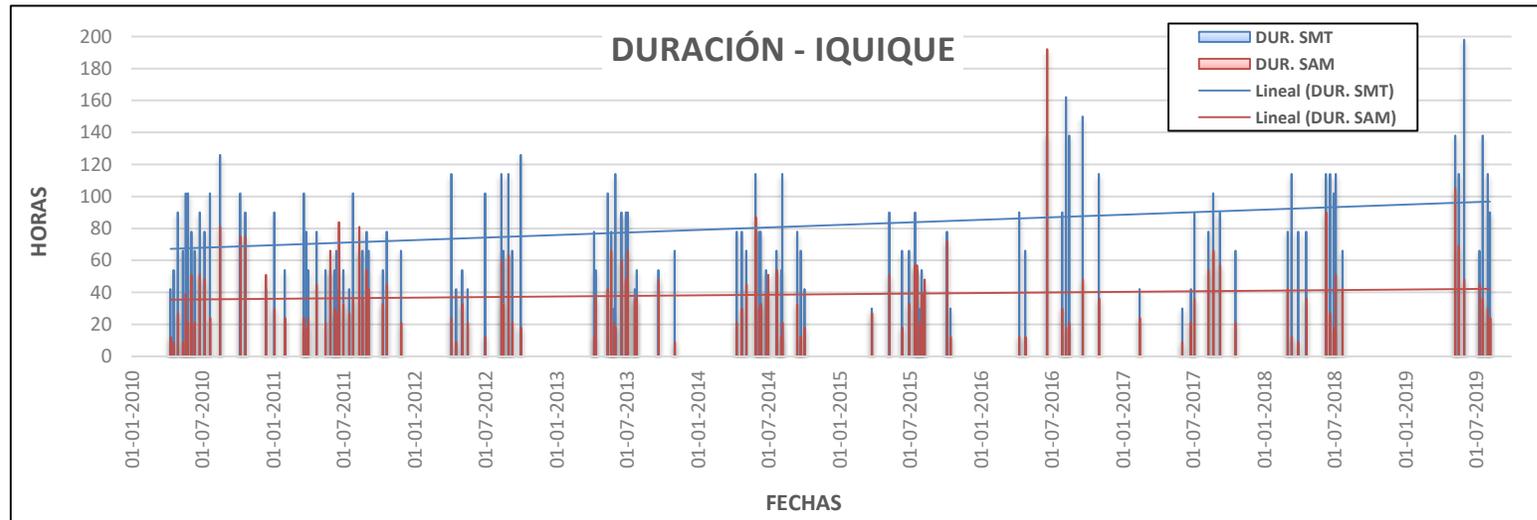


Figura 10: Duración de los avisos de SAM respecto a los de SERVIMET en Iquique.

| | SMT [Hr] | SAM [Hr] |
|------------|----------|----------|
| PROM. | 79.8 | 38.4 |
| DESV. EST. | 30.8 | 25.1 |

| DIF. DURACIÓN PROM | 41.4 | [Hr] |
|--------------------|------|------|
|--------------------|------|------|



Fuente:
Elaboración
propia mediante
MATLAB.

5.1 SERVIMET - SAM (VALPARAÍSO)

Figura 11: Desfases en los tiempos de arribo y término para los avisos de SAM respecto a los de SERVIMET en Valparaíso.

| | INICIO [Hr] | TERMINO [Hr] |
|------------|-------------|--------------|
| PROM. | 7.3 | -33.2 |
| DESV. EST. | 23.5 | 34.3 |

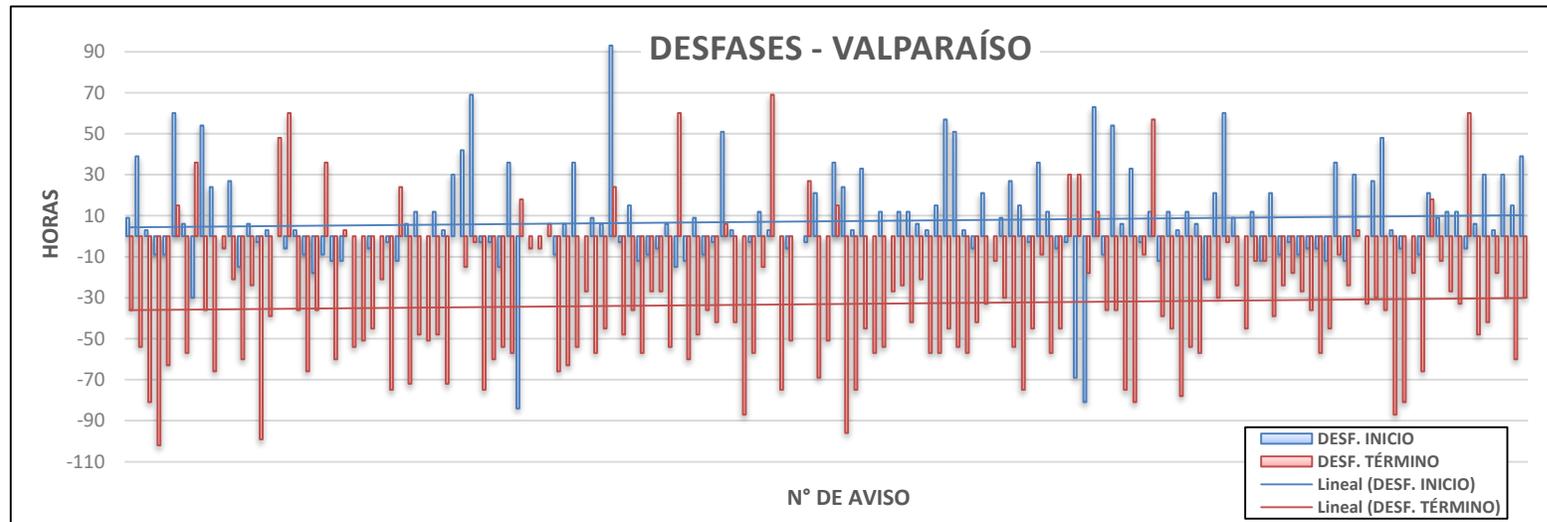
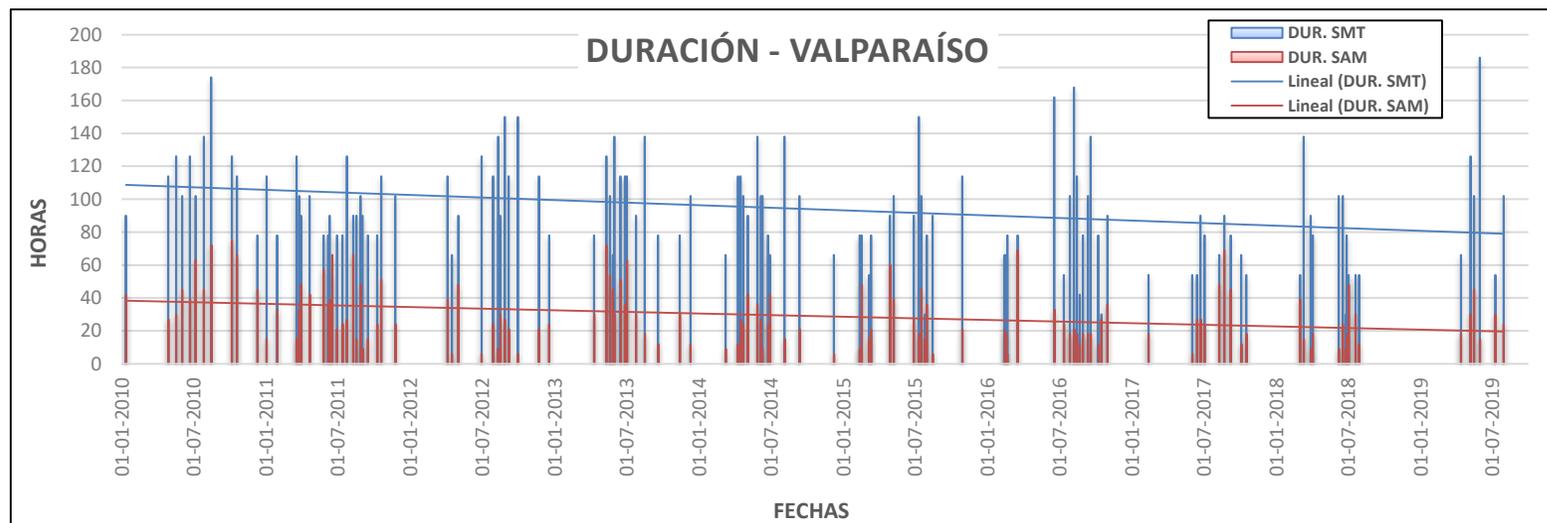


Figura 12: Duración de los avisos de SAM respecto a los de SERVIMET en Valparaíso.

| | SMT [Hr] | SAM [Hr] |
|------------|----------|----------|
| PROM. | 94.6 | 29.5 |
| DESV. EST. | 30.2 | 17.3 |

| DIF. DURACIÓN PROM | 65.2 | [Hr] |
|--------------------|------|------|
|--------------------|------|------|



Fuente:
Elaboración
propia mediante
MATLAB.

5.1 SERVIMET - SAM (TALCAHUANO)

Figura 13: Desfases en los tiempos de arribo y término para los avisos de SAM respecto a los de SERVIMET en Talcahuano.

| | INICIO [Hr] | TERMINO [Hr] |
|------------|-------------|--------------|
| PROM. | 8.8 | -42.9 |
| DESV. EST. | 26.2 | 35.7 |

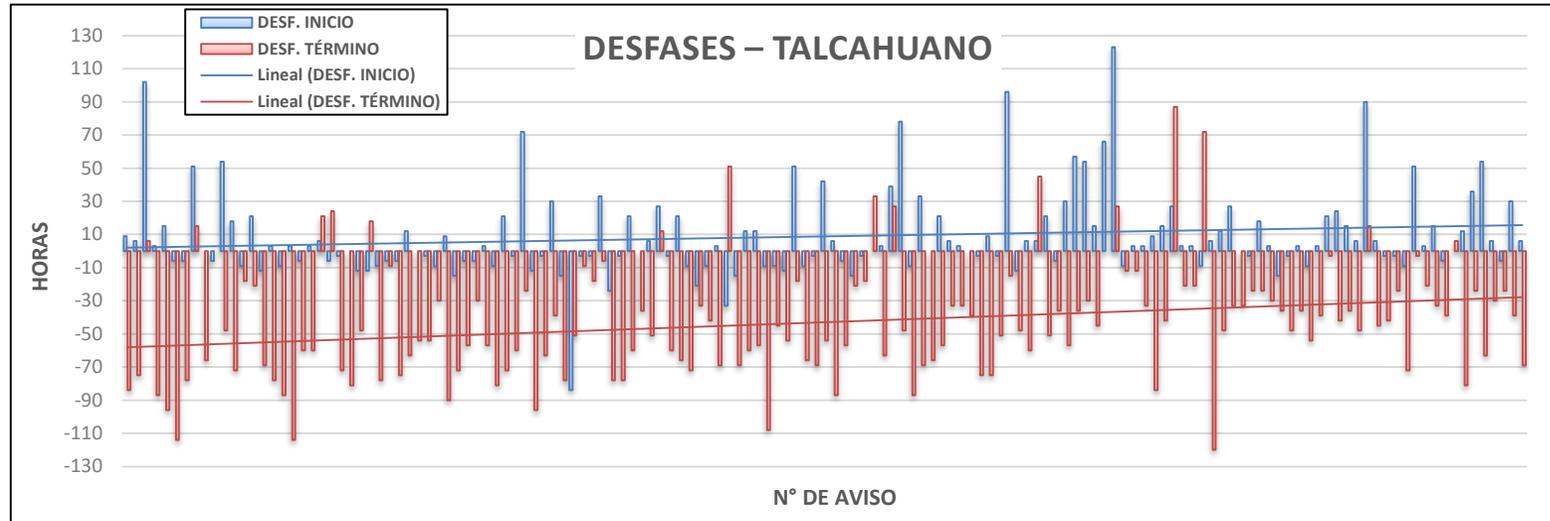
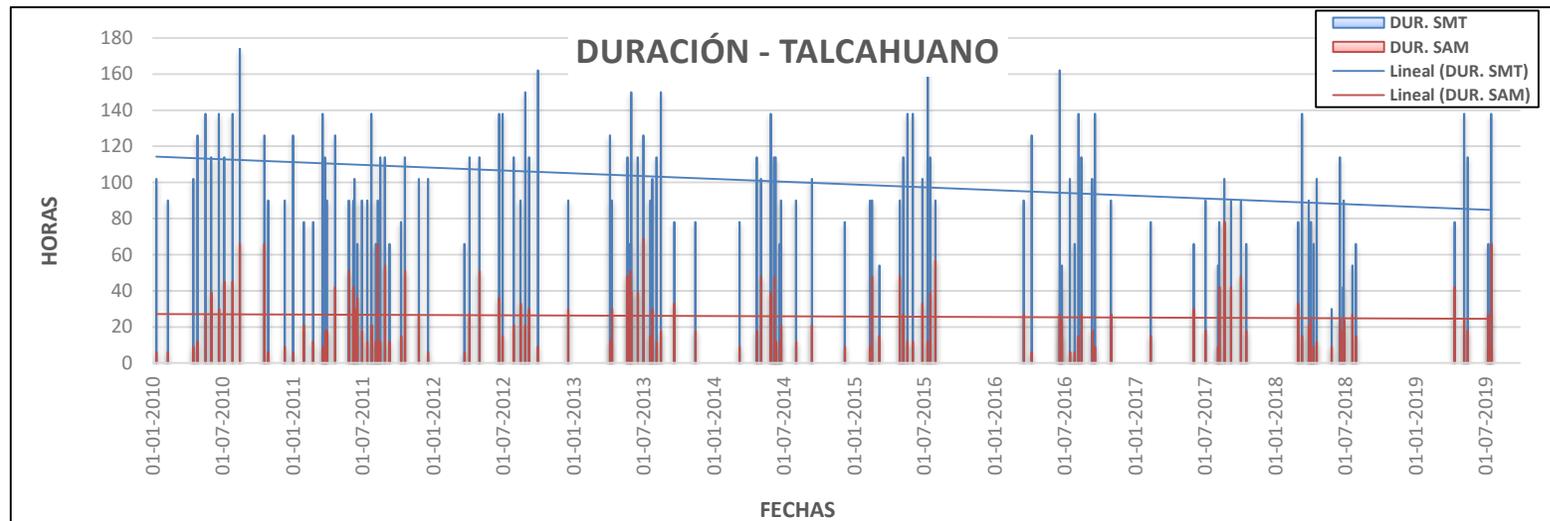


Figura 14: Duración de los avisos de SAM respecto a los de SERVIMET en Talcahuano.

| | SMT [Hr] | SAM [Hr] |
|------------|----------|----------|
| PROM. | 100.9 | 25.9 |
| DESV. EST. | 29.2 | 16.7 |

| DIF. DURACIÓN PROM | 75.0 | [Hr] |
|--------------------|------|------|
|--------------------|------|------|



Fuente:
Elaboración
propia mediante
MATLAB.

5.1 SERVIMET - SAM (LEBU)

Figura 15: Desfases en los tiempos de arribo y término para los avisos de SAM respecto a los de SERVIMET en Lebu.

| | INICIO [Hr] | TERMINO [Hr] |
|------------|-------------|--------------|
| PROM. | 5.3 | -42.9 |
| DESV. EST. | 25.4 | 38.5 |

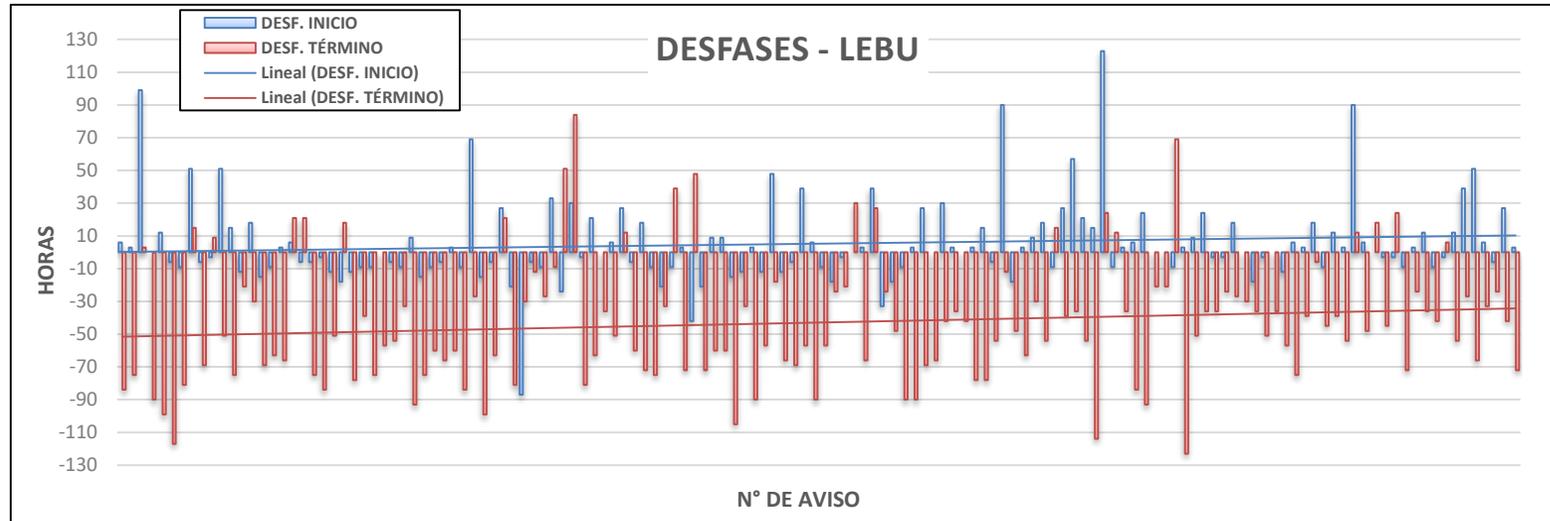
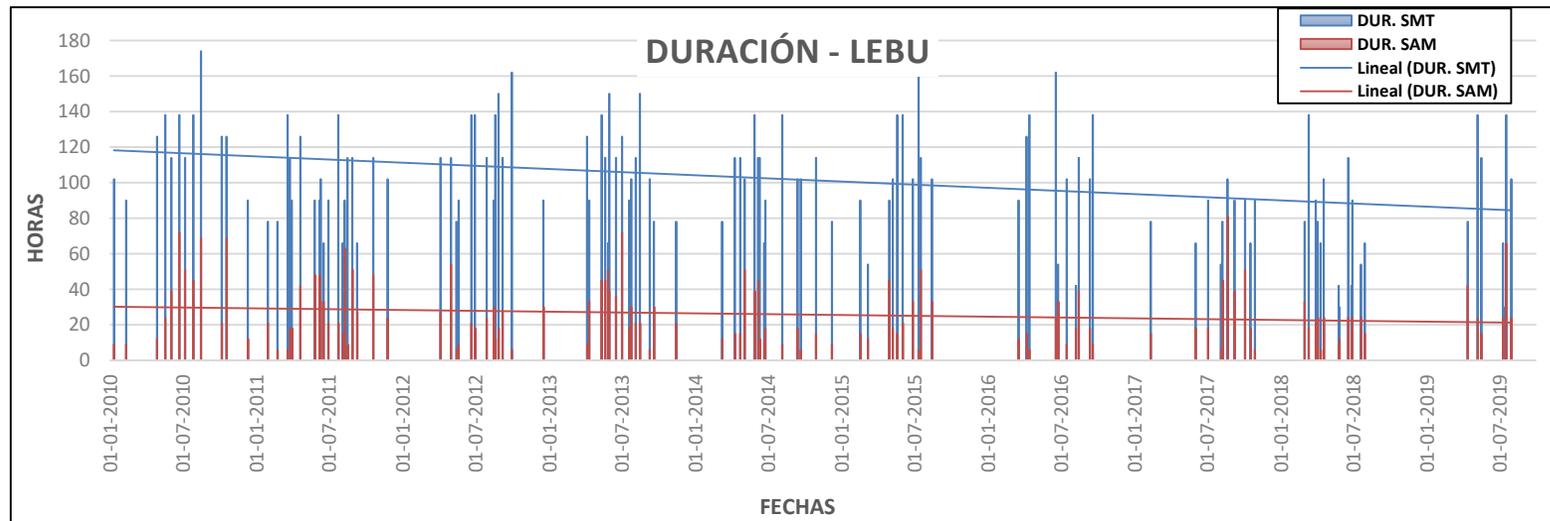


Figura 16: Duración de los avisos de SAM respecto a los de SERVIMET en Lebu.

| | SMT [Hr] | SAM [Hr] |
|------------|----------|----------|
| PROM. | 102.4 | 26.0 |
| DESV. EST. | 29.6 | 17.1 |

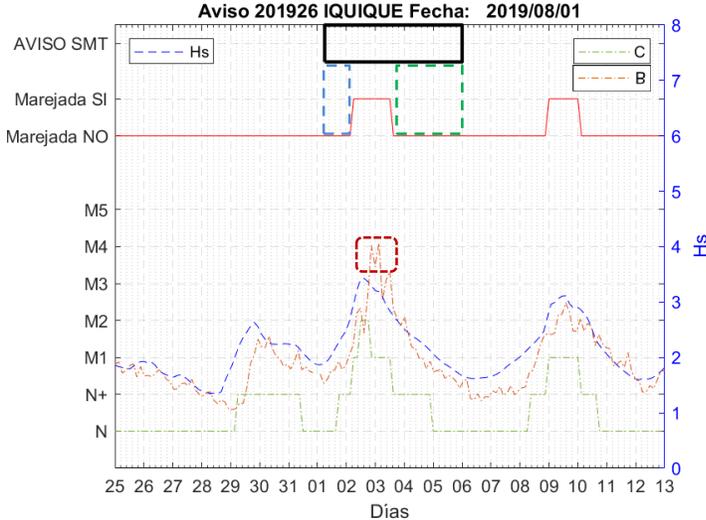
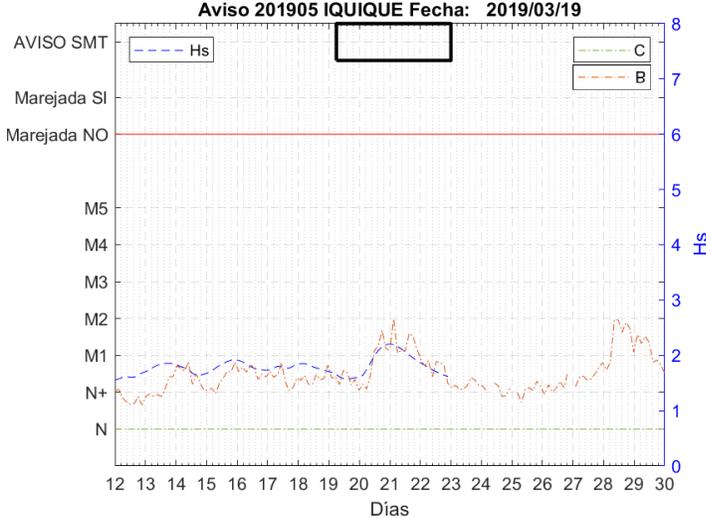
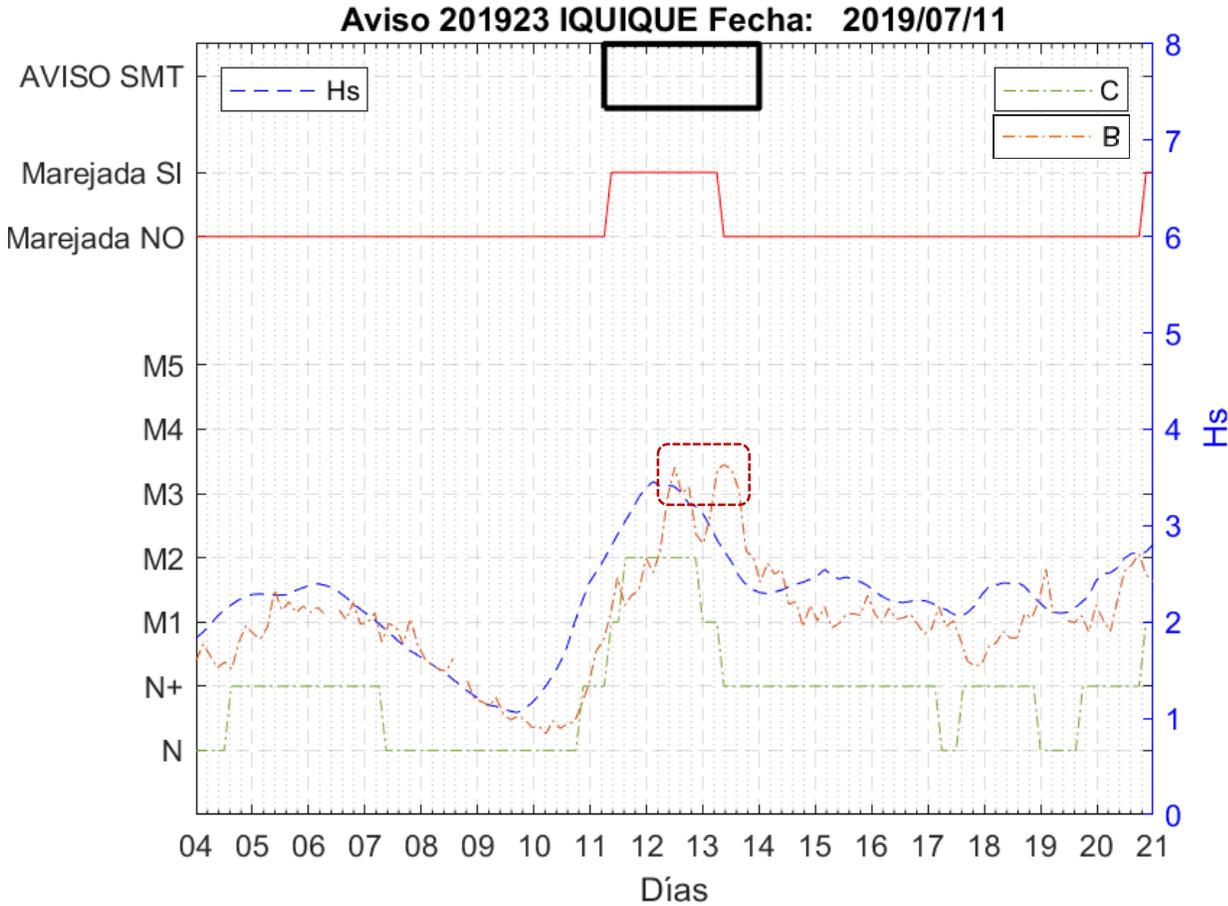
| DIF. DURACIÓN PROM | 76.4 | [Hr] |
|--------------------|------|------|
|--------------------|------|------|



Fuente:
Elaboración
propia mediante
MATLAB.

5.1 SERVIMET - BOYAS

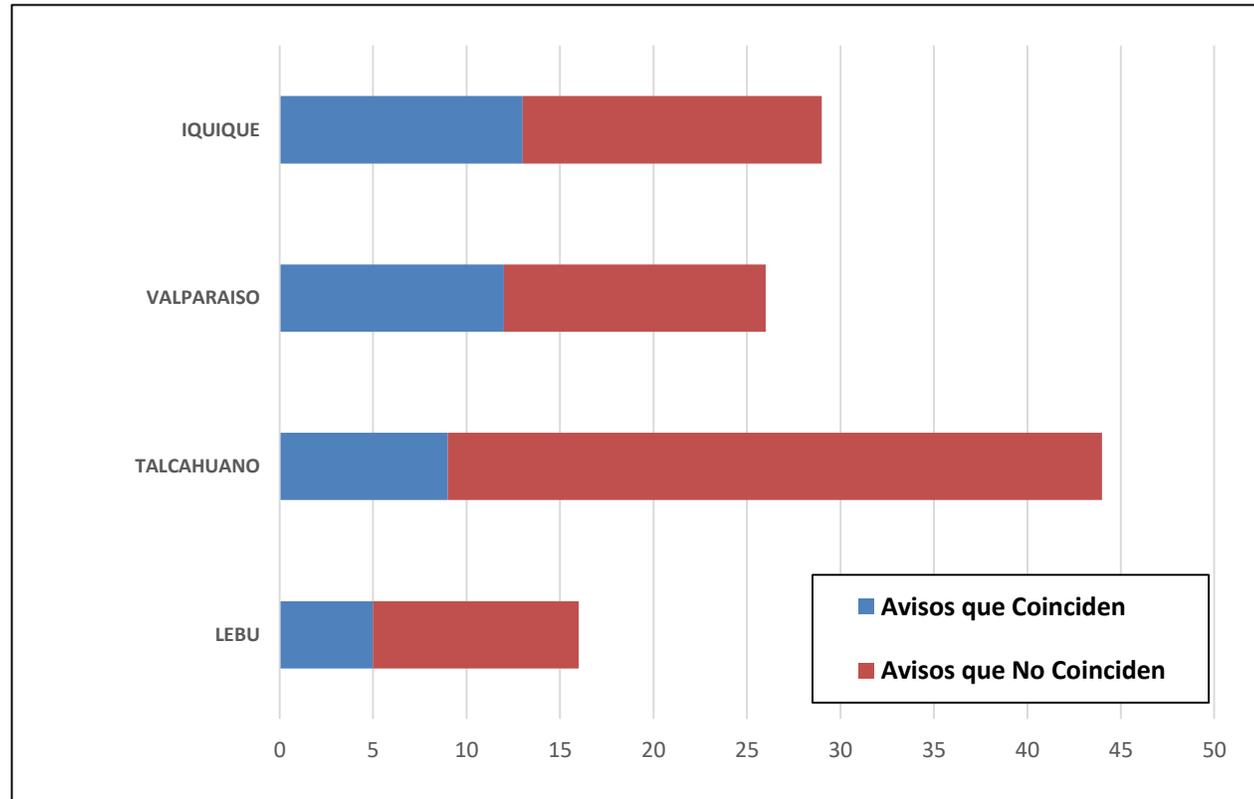
Figura 17: Comparación de avisos de marejadas en Iquique



Fuente: Elaboración propia mediante MATLAB.

5.1 SERVIMET - BOYAS

Figura 18: Cantidad de avisos que coinciden (y no), entre los emitidos por SERVIMET vs BOYAS



Fuente: Elaboración propia mediante EXCEL.

5.1 SERVIMET - BOYA (IQUIQUE)

Figura 19: Desfases en los tiempos de arribo y término, entre las mediciones de boyas y SERVIMET en Iquique.

| | INICIO [Hr] | TERMINO [Hr] |
|-----------|-------------|--------------|
| PROM. | 38.2 | -29.4 |
| DES. EST. | 50.2 | 50.7 |

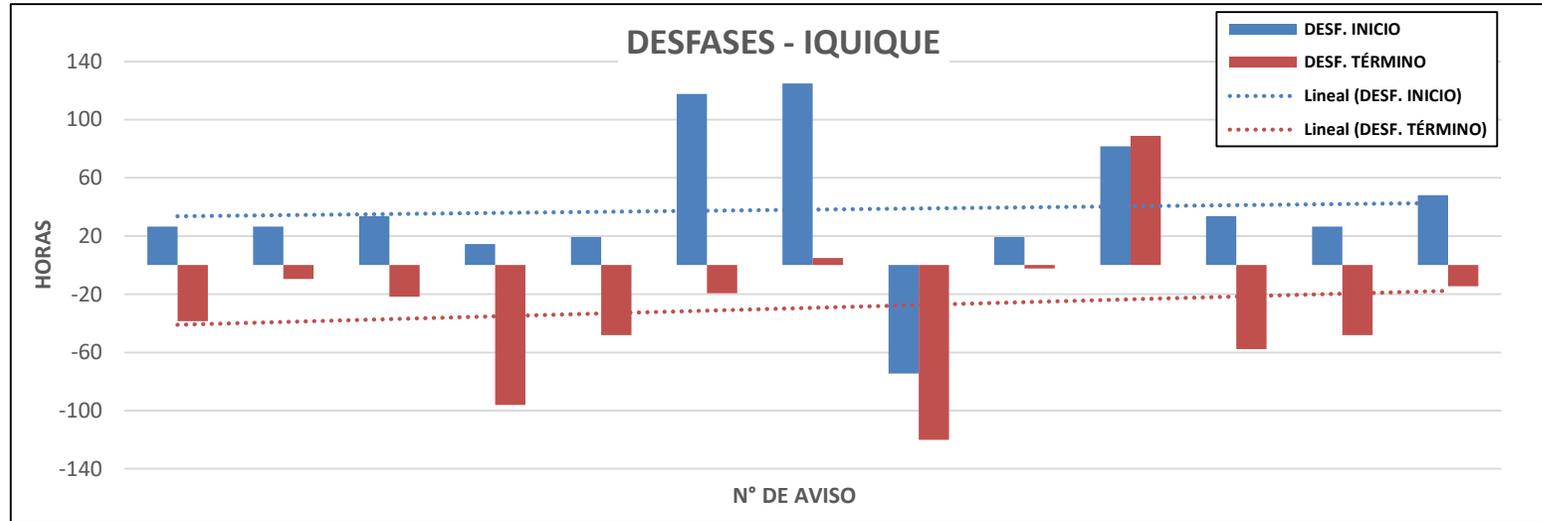
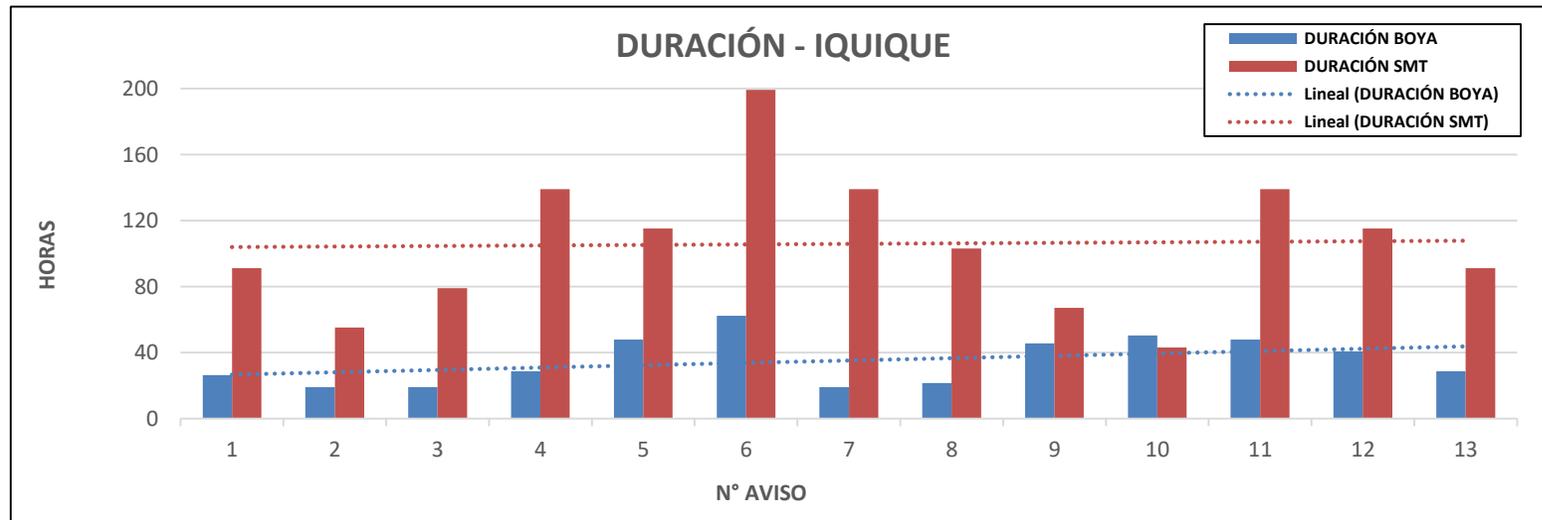


Figura 20: Duración de las mediciones de boyas respecto a los avisos de SERVIMET en Iquique

| | BOYA [Hr] | SMT [Hr] |
|-----------|-----------|----------|
| PROM. | 35.3 | 106.0 |
| DES. EST. | 14.6 | 42.2 |

| DIF. DURACIÓN PROM | 70.7 | [Hr] |
|--------------------|------|------|
|--------------------|------|------|



Fuente:
Elaboración
propia mediante
MATLAB.

5.1 SERVIMET - BOYA (VALPARAÍSO)

Figura 21: Desfases en los tiempos de arribo y término, entre las mediciones de boyas y SERVIMET en Valparaíso.

| | INICIO [Hr] | TERMINO [Hr] |
|------------|-------------|--------------|
| PROM. | 15.4 | -17.8 |
| DESV. EST. | 29.5 | 32.7 |

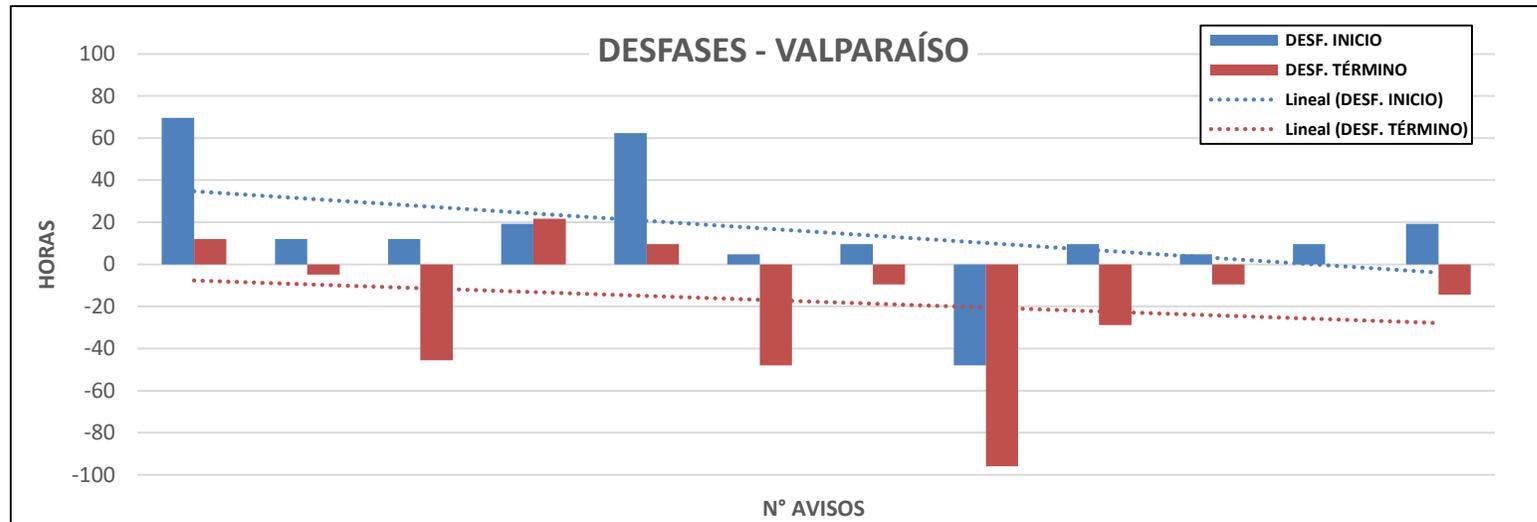
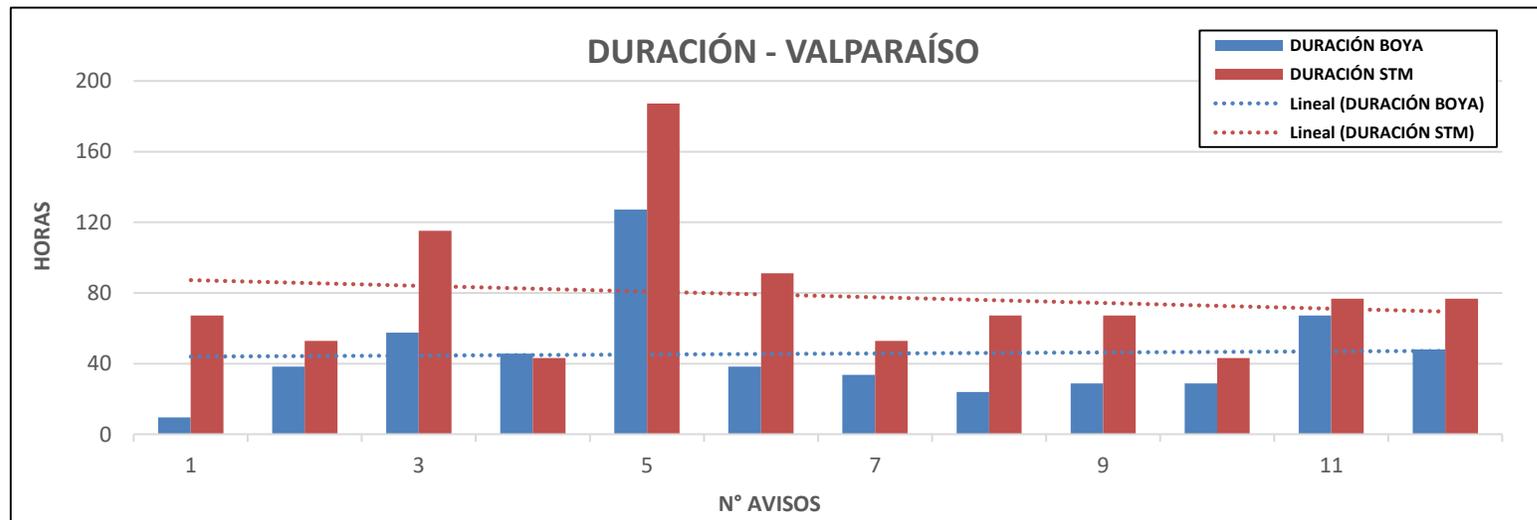


Figura 22: Duración de las mediciones de boyas respecto a los avisos de SERVIMET en Valparaíso.

| | BOYA [Hr] | SMT [Hr] |
|------------|-----------|----------|
| PROM. | 45.6 | 78.4 |
| DESV. EST. | 29.9 | 39.9 |

| DIF. DURACIÓN PROM | 32.8 | [Hr] |
|--------------------|------|------|
|--------------------|------|------|



Fuente:
Elaboración
propia mediante
MATLAB.

5.1 SERVIMET - BOYA (TALCAHUANO)

Figura 23: Desfases en los tiempos de arribo y término, entre las mediciones de boyas y SERVIMET en Talcahuano.

| | INICIO [Hr] | TERMINO [Hr] |
|-----------|-------------|--------------|
| PROM. | 19.5 | -20.3 |
| DES. EST. | 21.8 | 29.9 |

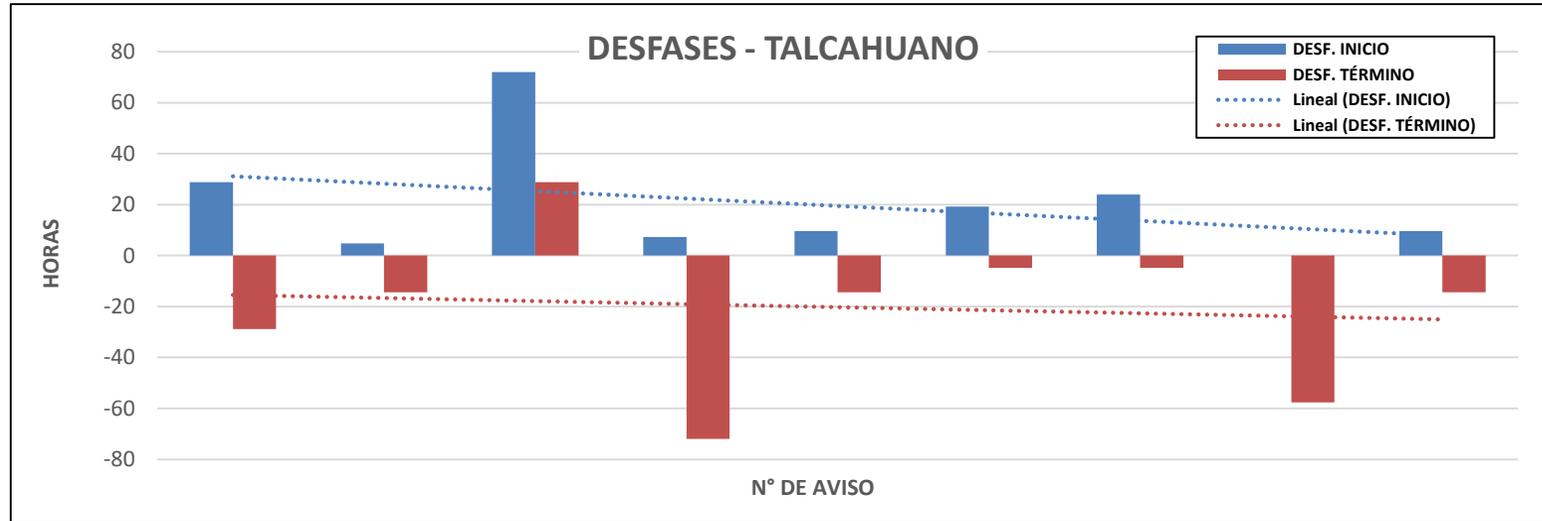
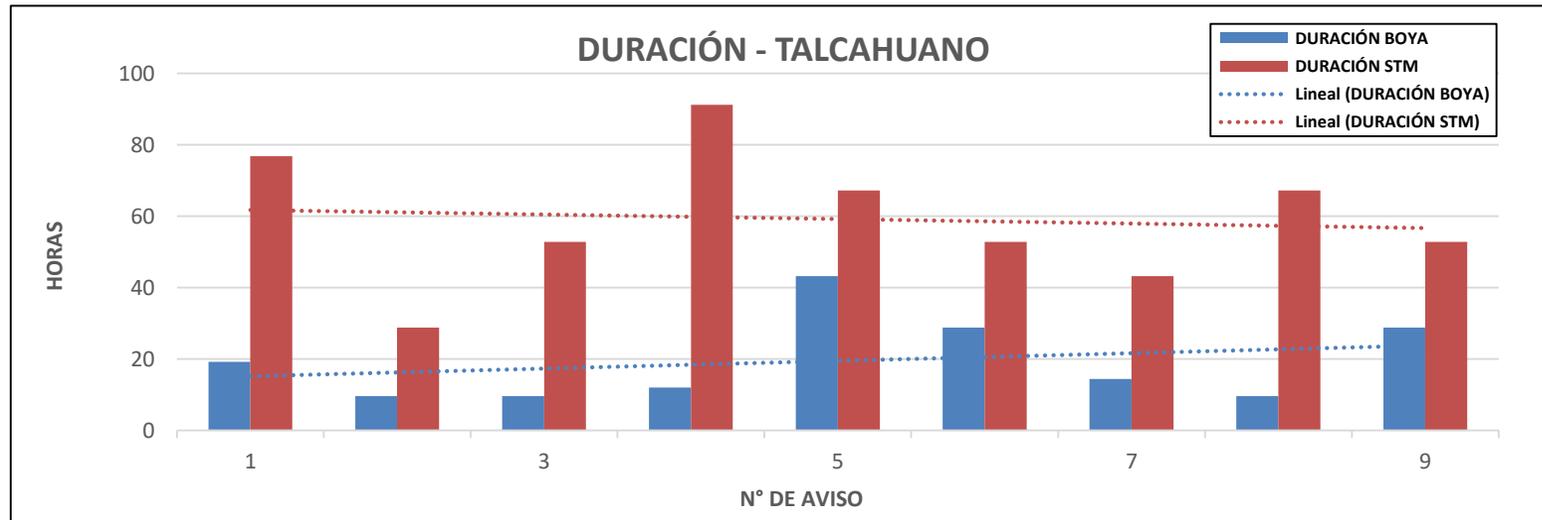


Figura 24: Duración de las mediciones de boyas respecto a los avisos de SERVIMET en Talcahuano.

| | BOYA [Hr] | SMT [Hr] |
|-----------|-----------|----------|
| PROM. | 19.5 | 59.2 |
| DES. EST. | 11.8 | 18.6 |

| DIF. DURACIÓN PROM | | [Hr] |
|--------------------|------|------|
| | 39.7 | |



Fuente:
Elaboración
propia mediante
MATLAB.

5.1 SERVIMET - BOYA (LEBU)

Figura 25: Desfases en los tiempos de arribo y término, entre las mediciones de boyas y SERVIMET en Lebu.

| | INICIO [Hr] | TERMINO [Hr] |
|-----------|-------------|--------------|
| PROM. | 13.0 | -58.6 |
| DES. EST. | 17.8 | 20.2 |

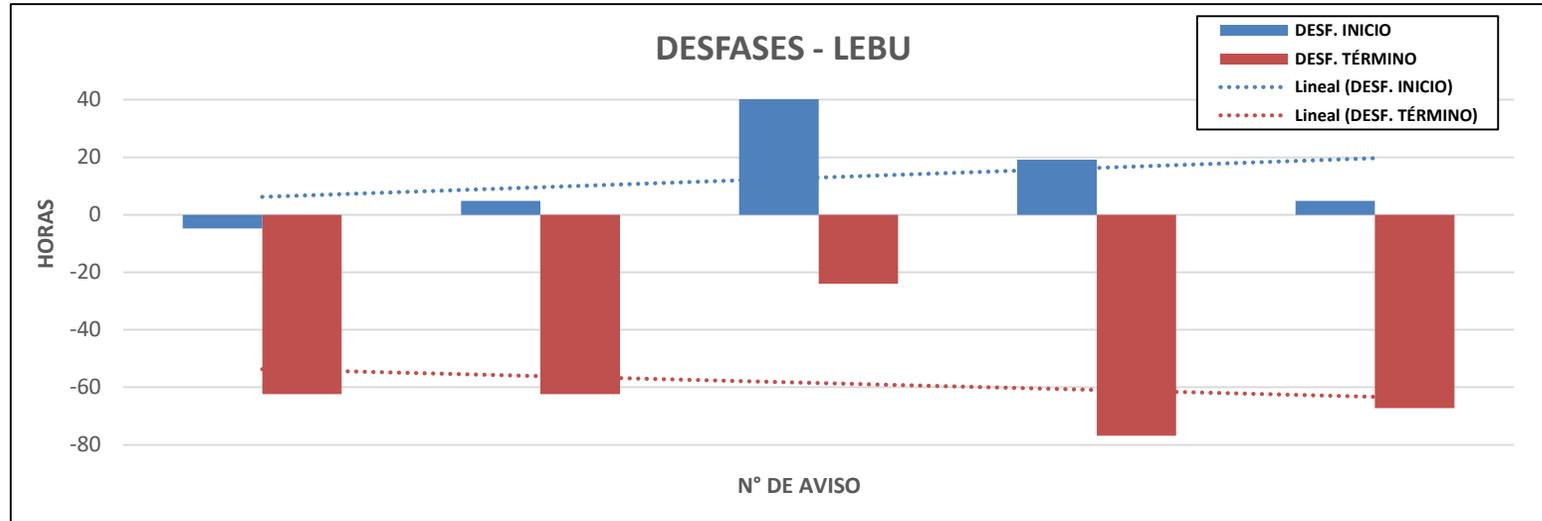
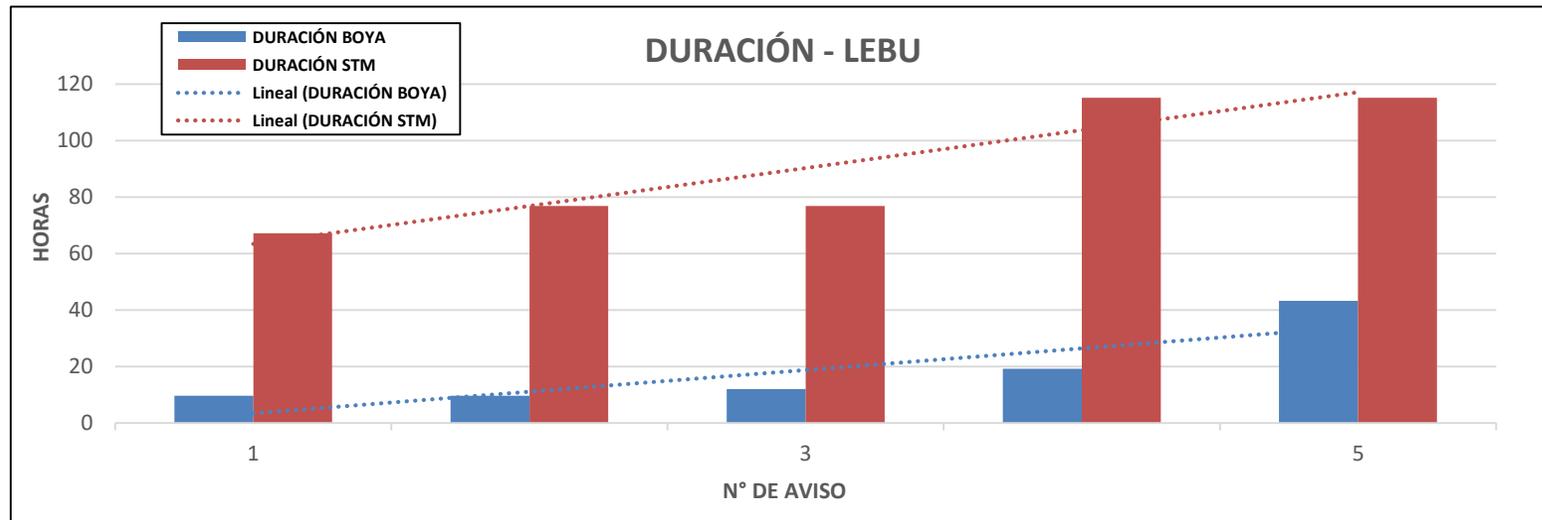


Figura 26: Duración de las mediciones de boyas respecto a los avisos de SERVIMET en Lebu.

| | BOYA [Hr] | SMT [Hr] |
|-----------|-----------|----------|
| PROM. | 18.7 | 90.2 |
| DES. EST. | 14.2 | 23.1 |

| DIF. DURACIÓN PROM | 71.5 | [Hr] |
|--------------------|------|------|
|--------------------|------|------|



Fuente:
Elaboración propia mediante MATLAB.

6. DISCUSIÓN

6. DISCUSIÓN

Respecto a la comparación realizada entre la base de datos de SERVIMET y la de las boyas, cabe mencionar que es posible que las diferencias no logren ser muy representativas, debido a la escasa cantidad de datos con los que se cuenta en relación a las boyas para el periodo de estudio.

Es importante destacar que SERVIMET realiza pronósticos para sus avisos de marejadas con criterios aplicados a aguas profundas, mientras que las boyas están ubicadas en la zona costera, en aguas intermedias o someras, por lo que sus mediciones pueden no ser lo suficientemente congruentes para realizar un análisis óptimo.

Se efectúan los análisis para los 2 casos comparativos que se realizaron en este proyecto.

1. SERVIMET – SAM
2. SERVIMET – BOYAS

6.1 SERVIMET - SAM

- Existe una clara diferencia entre los avisos que entregan ambas entidades, ya que como se puede apreciar en la Figura 8, más de la mitad de los avisos de marejadas no coinciden entre ellos.
- Respecto a los desfases entre los tiempos de arribo de las marejadas, predominan los valores positivos, lo que indica que los avisos entregados por SAM llegan más tarde que los de SERVIMET.
- En relación a los tiempos de término de los avisos, se aprecia una dispersión de datos cargada más hacia lo negativo.
- Respecto a la duración de los avisos, existe una clara diferencia entre los de SERVIMET y SAM. SERVIMET define tiempos muy extensos a sus avisos, lo que corrobora la hipótesis respecto a que existen ventanas de tiempo que pueden ser acotadas.

6.1 SERVIMET - BOYAS

- Existe una clara diferencia entre los avisos que entregan SERVIMET y los datos obtenidos de las mediciones de boyas. Como se puede apreciar en la Figura 18, más de la mitad de los avisos de marejadas no coinciden con las mediciones de las boyas.
- Respecto a los desfases existentes entre los tiempos de arribo de los avisos de marejadas y las mediciones de las boyas, predominan los valores positivos.
- En relación a los tiempos de término de los avisos, se aprecia una dispersión de datos cargada hacia lo negativo.
- Respecto a la duración de los eventos y avisos de marejadas, existe una considerable diferencia entre las medidas a través de boyas, respecto a las de SERVIMET. Esta diferencia es apreciada en los resultados obtenidos, en donde los promedios de los avisos de SERVIMET son claramente más extensos que la medición del fenómeno in situ.

6 DISCUSIÓN

- Es posible concluir que SERVIMET suele sobrestimar el fenómeno de las marejadas, por lo que sus avisos generalmente poseen ventanas muy extensas en comparación a la duración real del fenómeno.
- En ocasiones existe más de una marejada detectada por las boyas o pronosticada por SAM en un mismo mes o aviso, mientras que en dicho mes SERVIMET realiza solo un aviso el cual es muy extenso y donde están insertas estas marejadas.
- Es ahí donde se aprecian las potenciales ventanas de tiempo que pueden ser acotadas para considerar el no paralizar las actividades en la zona costera por periodos de tiempos muy largos.
- Lo anteriormente mencionado puede deberse a varios factores. El principal factor a considerar se debe a que SERVIMET efectúa avisos de marejadas por tramos (varias localidades) de forma simultánea, por lo que no considera el tiempo que demora el evento en llegar a la localidad más distante de él. Esto hace que sectores alejados a la zona de generación de la marejada tengan que paralizar sus actividades durante días.
- Otro factor preponderante, es que SERVIMET no establece horarios de inicio o termino para sus avisos. Solo establecen AM y PM, por lo que las ventanas de tiempo son aún menos exactas y precisas.

7. CONCLUSIONES

- Este trabajo ha logrado dar respuesta a los objetivos planteados al inicio de proyecto, el cual consiste en analizar las distintas bases de datos (SERVIMET, SAM y boyas) para verificar la existencia de potenciales ventanas de tiempo que pudiesen ser acotadas para disminuir el tiempo en que los puertos y la zona costera en general debe hacer cese de sus operaciones para resguardar la seguridad de las personas.
- A través de las comparaciones realizadas, se concluye que el Servicio Meteorológico de la Armada de Chile posee un modelo de pronóstico de oleaje capaz de detectar posibles marejadas, pero que no resulta ser óptimo si se desea aplicar en zonas cercanas a la costa, ya que en varias ocasiones genera avisos de marejadas que no se concretan, así como también avisos cuyo periodo de tiempo es muy extenso para lo que realmente dura el fenómeno.
- Esto se debe a que SERVIMET realiza avisos de marejadas por tramos, en donde abarcan varias localidades de forma simultánea. Además, sus parámetros son aplicados a aguas profundas, por lo que pierde aún más exactitud y precisión.
- Como recomendación, se espera que, con los avances tecnológicos y la cantidad de datos disponibles para los nodos de nuestro país, que los avisos de marejadas sean más precisos, que se puedan realizar avisos para localidades de forma individual y aplicando criterios para aguas intermedias o someras.

REFERENCIAS

- Beyá, J., Álvarez, M., Gallardo, A., Hidalgo, H., Aguirre, C., Valdivia, J., . . . Molina, M. (2016). Atlas de Oleaje de Chile. Primera Edición. Escuela de Ingeniería Civil Oceánica - Universidad de Valparaíso, Valparaíso, Chile.
- CAMPORT. (2021). Reporte N°12, "Las marejadas llegaron para quedarse ¿Qué estamos haciendo?". Cámara Marítima y Portuaria de Chile A.G.
- Campos, R. (2016). ANÁLISIS DE MAREJADAS HISTÓRICAS Y RECIENTES EN LAS COSTAS DE CHILE. Valparaíso, Chile.
- DIRECTEMAR. (28 de Octubre de 2020). DIRECTEMAR. Obtenido de <https://www.directemar.cl/directemar/noticias-y-comunicaciones/noticias/2020/las-marejadas-llegaron-para-quequedarse>
- Lobeto, H., Menéndez, M., & Losada, I. J. (2021). Las proyecciones de espectros direccionales ayudan a desentrañar el comportamiento futuro de las ondas de viento. Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, Santander, España.
- Losada, M. A., & Jiménez-Curto, L. A. (1978). Análisis estadístico y espectral de regímenes. Curso de Puertos, Universidad de Santander, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Santander, España.
- Marítimo Portuario. (2017). Análisis de la Capacidad Operativa Portuaria Nacional y Requerimientos para Maniobras de Atraque y Desatraque.
- Ministerio de Medio Ambiente. (2019). "Determinación del riesgo de los impactos del Cambio Climático en las costas de Chile.
- Molina, M., Correa, S., Vargas, D., Villalobos, D., Tapia, C., Quijada, F., . . . González, A. (2018). Desarrollo de un Sistema de Alerta de Marejadas en la Bahía de Valparaíso. Universidad de Valparaíso.
- Parra, C., & Beyá, J. (2017). Pronóstico operacional de oleaje para las costas y puertos de Chile, Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica, XXIII Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica. Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica.
- SERVIMET. (2016b). Análisis de eventos de marejadas en Chile. Servicio Meteorológico de la Armada, Valparaíso, Chile.
- SHOA. (1992). Pub. SHOA 3013. "Glosario de Marea y Corrientes".
- SHOA. (2001). Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile. Obtenido de https://www.directemar.cl/directemar/site/docs/20170314/20170314120825/tabla_de_beaufort.pdf
- Silva, R. (2005). Análisis y descripción estadística del oleaje.
- Winckler, P., Aguirre, C., Farías, L., Contreras, M., & Masotti, Í. (2020). Evidence of climate-driven changes on atmospheric, hydrological, and oceanographic variables along the Chilean coastal zone.
- Winckler, P., Contreras, M., Campos, R., Beyá, J., & Molina, M. (Septiembre de 2017). El temporal del 8 de agosto de 2015 en las regiones de Valparaíso y Coquimbo, Chile Central. Chile.
- Winckler, P., Esparza, C., Mora, J., Melo, O., Bambach, N., Contreras-López, M., & Sactic, M. (2022). Impacts in ports on a tectonically active coast for climate-driven projections under the RCP 8.5 scenario: 7 Chilean ports under scrutiny. Coastal Engineering Journal.