



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



UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

*“Cálculo del Régimen extremal de Cota de
Inundación de la Playa de San Lorenzo de la
Ciudad de Salinas-Ecuador”*

Trabajo realizado por:

Marcelo Acosta Arteaga

Dirigido:

Mauricio González Rodríguez

Omar Quetzalcóatl Gutiérrez

Titulación:

**Máster Universitario
en Costas y Puertos**

Santander, octubre de 2019

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

Cálculo del Régimen Extremal de Cota de Inundación de la Playa San Lorenzo Salinas Ecuador

Autor: Marcelo ACOSTA Arteaga; Trabajo Final de Máster Universitario en Costas y Puertos; Convocatoria de octubre de 2019.

Dirigido por: Mauricio GONZALEZ RODRIGUEZ.

Omar QUETZALCÓATL GUTIÉRREZ

Resumen Planteamiento del problema y objetivo. -

El ámbito de interés de este estudio se centra en el cálculo de la cota de inundación para la Playa de San Lorenzo, Ecuador. Ubicado geográficamente en el Cantón Salinas en la Provincia de Santa Elena, la playa de San Lorenzo es uno de los principales balnearios de la costa ecuatoriana, y que durante los últimos años ha sufrido varios eventos de inundación por oleaje.

El fenómeno de la inundación es representado por una cota de inundación (CI), dependiente del nivel del mar (NM), marea astronómica (MA), marea meteorológica (MM) y del run-up ($R_{u2\%}$), conforme:

$$CI = MSL + MA + MM + R_{u2\%}$$

En este trabajo se pretende realizar el cálculo de la CI usando información de reanálisis de datos para Oleaje (GOW), Marea Astronómica (GOT) y Marea Meteorológica (GOS).

METODOLOGÍA

La metodología para este estudio se compone de 4 partes principales que serán detalladas en cada capítulo:

- Segmentación de la Zona de Estudio.
- Transferencia de Dinámicas hasta el perfil.
- Cálculo de Régimen Medio de cota de inundación (Formulación Empírica)
- Cálculo de Régimen extremal de Cota de Inundación mediante simulación Numérica.

1.- SEGMENTACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.

Para la segmentación de la Zona de Estudio se tomó en cuenta los siguientes criterios:

- Tamaño del Sedimento
- Ocurrencia de Inundación
- Ubicación de los 7 perfiles de inundación

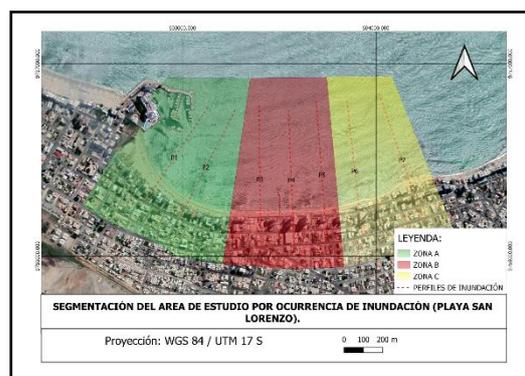


Figura 1.- Clasificación por Segmentos de la Zona de Estudio.

En la Figura 1 se muestran la ubicación

final de cada perfil de acuerdo con la zona clasificada.

El color de cada zona muestra la ocurrencia de inundación, 3 de los 4 eventos registrados han sido reportados en la zona B y 1 en la zona C.

2.- TRANSFERENCIA DE DINÁMICAS HASTA EL PERFIL.

La estrategia establecida para determinar las condiciones de oleaje a pie de Playa es utilizar la metodología de downscaling, propuesta por Camus et al., 2009.

Esta metodología se basa en la transferencia de una serie hindcast de datos de aguas profundas hasta aguas someras.

La metodología puede ser adaptada con el siguiente procedimiento expuesto por Camus (2011):

- Caracterización de clima de olas en aguas profundas de bases de GOW para el área de estudio.
- Selección de un número limitado (subconjunto) de casos que son las más representativas de ola y viento horarios en aguas profundas.
- Propagación de los casos seleccionados de los estados más representativos del mar utilizando un modelo de propagación de onda.
- Reconstrucción de las series temporales utilizando un esquema de interpolación.
- Validación de los datos de onda costera con datos instrumentales. (No existen datos instrumentales en el área).
- Caracterización del clima marítimo por medio del algoritmo de máxima verosimilitud.

A fin de cumplir esta metodología se propuso en este estudio llevar la propagación del Oleaje, ubicando un

PC1 (Figura 2) en aguas intermedias, donde se pueda superar las limitaciones del Programa Oluca y propagar hacia la costa toda la serie.

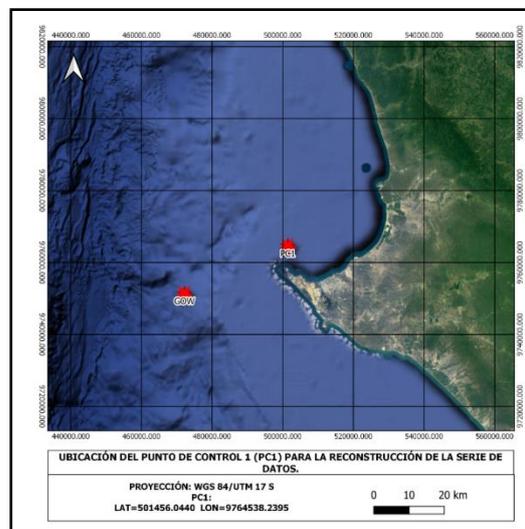


Figura 2.- Ubicación Geográfica PC1.

La ubicación de este punto se encuentra frente a Punta Chocolatea a 35 metros de profundidad. Desde este punto se pretende llevar el oleaje con su componente de mayor ocurrencia Oeste hasta los 7 perfiles de inundación. (Figura 3)

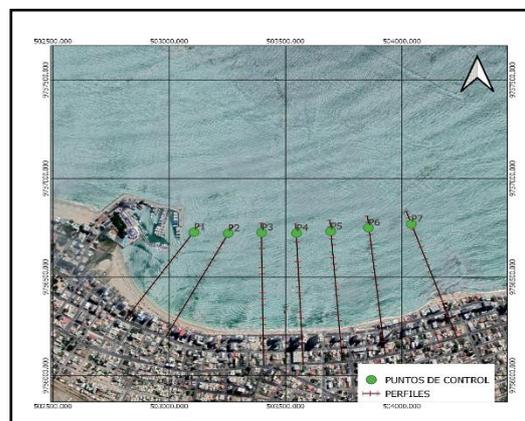


Figura 3.- Ubicación de los 7 perfiles de inundación (Zona de Estudio)

3.-CÁLCULO DE RÉGIMEN MEDIO DE

COTA DE INUNDACIÓN (FORMULACIÓN EMPÍRICA)

La cota de inundación se la obtendrá de la suma del Nivel del Mar (NM) y el Run Up empírico calculado con la formulación de Nielsen / Stockdon.

El Nivel del mar será obtenido de la suma de la Marea Astronómica (MA) y la Marea Meteorológica (MM), ambas obtenidas de las series GOT y GOS respectivamente.

Luego se realizará una comparativa (ver Figura 4) entre los resultados con las distintas formulaciones.

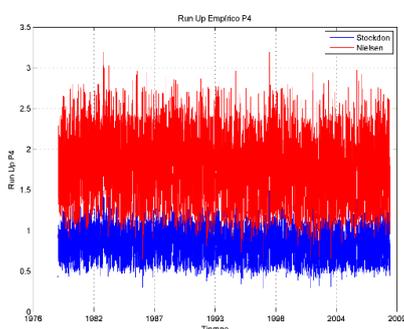


Figura 4.- Run Up Empírico Zona B

CÁLCULO DE RÉGIMEN EXTREMAL DE COTA DE INUNDACIÓN MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA.

Cota de inundación Numérica:

Para cada perfil se obtuvo previamente una serie CI con la formulación de run-up de Stockdon, luego se realizó una selección 5% superior de las mayores cotas de inundación.

Cada uno de estos casos seleccionados están compuestos por varios inputs hasta el cálculo final de la cota de inundación; estos parámetros son oleaje (Hs, Tp y Dir) y una marea astronómica y meteorológica que componen el nivel del mar.

El 5% de las CI mayores representan alrededor de 13500 casos, al tener un alto costo computacional la modelación en SWASH (ver Figura 5) para cada caso y por 7 perfiles, se realizó una selección MDA de 100 casos que representan el 5% de las cotas de inundación mayores por perfil.

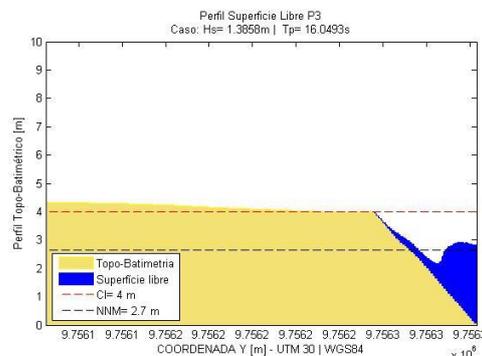


Figura 5.-Evento de Inundación Modelado en SWASH.

Régimen Extremal de Cota de Inundación:

Finalmente, con la serie del 5% de las mayores CI obtenida a partir de SWASH e interpolada para toda la serie mediante RBF se obtiene la cota de inundación numérica.

El cálculo final de Régimen Extremal se lo realiza con la Función G.E.V con el 95% inferior de la CI empírica de Stockdon y el 5% de la CI numérica.

Finalmente se elaboran los gráficos (Figura 6) con las inundaciones correspondientes a los siguientes periodos de retorno (5,20,50 y 100 años).

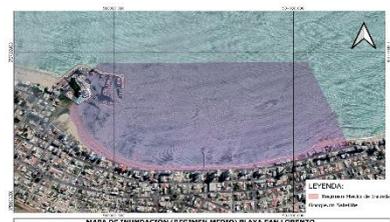


Figura 6.- Ejemplo Mapa de Inundación.

Calculation of the Extreme Flood Rate Regime of San Lorenzo Salinas Beach Ecuador

Author: Marcelo ACOSTA Arteaga; Final Master's Project in Coasts and Ports; Call for October 2019.

Directed by: Mauricio GONZALEZ RODRIGUEZ.

Summary Problem statement and objective. -

The scope of interest of this study focuses on the calculation of the flood level for San Lorenzo Beach, Ecuador. Thanks to its geographical location, the Salinas Canton in the Province of Santa Elena is one of the main seaside resorts on the Ecuadorian coast, and in recent years it has suffered several events of this nature that could not be prevented or quantified.

The flood phenomenon is represented by a flood level (CI), dependent on sea level (NM), astronomical tide (MA), meteorological tide (MM) and run-up (Ru2%), according to:

$$CI = MSL + MA + MM + R_{u2\%}$$

In this work, the calculation of the IC is used using data reinflation information for waves (GOW), Astronomical Tide (GOT) and Meteorological Tide (GOS).

METHODOLOGY

The methodology for this study is composed of 4 main parts that will be detailed in each chapter:

- Segmentation of the Study Area.
- Dynamic transfer to the profile.

- Calculation of Average Regime of flood level (Empirical Formulation)
- Calculation of the extreme Flood Rate regime through numerical simulation.

SEGMENTATION OF THE STUDY AREA.

For the segmentation of the Study Area, the following criteria were taken into account:

- Sediment Size
- Flood Occurrence
- Location of the 7 flood profiles

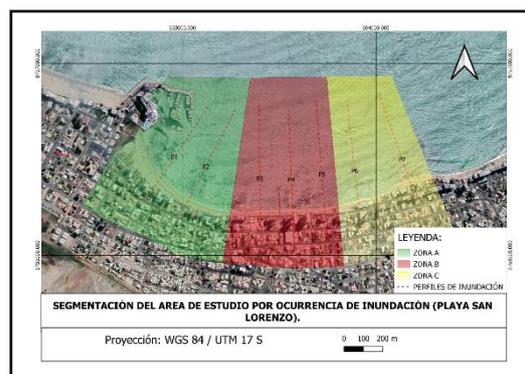


Figura 7.- Classification by Segments of the Study Area

Under this premise, profiles 1 and 2 were located in zone A, profile 3, 4 and 5 in zone B and profiles 6 and 7 in zone C.

The color of each zone shows the occurrence of flooding, 3 of the 4 recorded events have been reported in zone B and 1 in zone C.

2 TRANSFER OF DYNAMICS TO THE PROFILE.

The strategy established to determine the conditions of waves on the beach is to use the downscaling methodology, proposed by Camus et al., 2009. This methodology is based on the transfer of a hindcast series of data from deep waters to shallow waters.

The methodology can be adapted with the following procedure described by Camus (2011):

- a) Deepwater wave characterization of GOW bases for the study area.
- b) Selection of a limited number (subset) of cases that are the most representative of wave and wind schedules in deep waters.
- c) Propagation of the selected cases of the most representative states of the sea using a wave propagation model.
- d) Reconstruction of the time series using an interpolation scheme.
- e) Validation of coastal wave data with instrumental data. (There are no instrumental data in the area).
- f) Characterization of the maritime climate through the maximum likelihood algorithm.

With the purpose of complying with this methodology, it was proposed in this study to carry the propagation of the waves, locating a PC1 in intermediate waters, where the limitations of the Oluca Program can be overcome and the entire series propagated to the coast

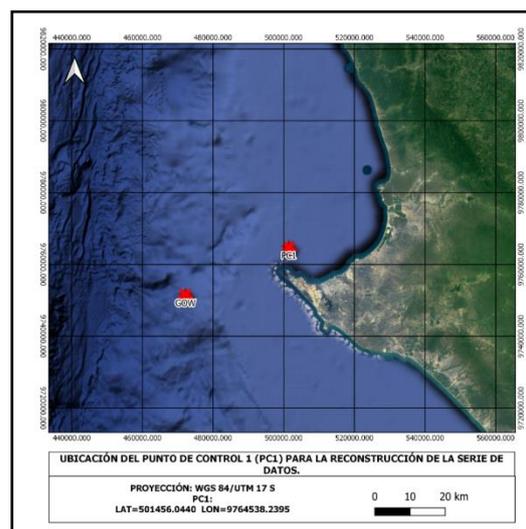


Figure 2.- Geographic location PC1.

The location of this point is in front of Punta Chocollera at a depth of 35 meters. From this point it is intended to take the swell with its reigning West component to the 7 flood profiles.

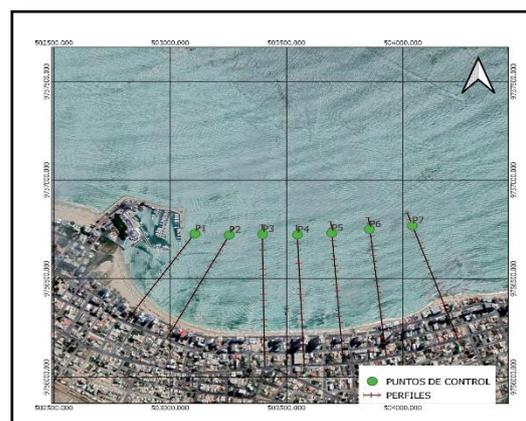


Figure 3.- Flood Profiles

3.-CALCULATION OF AVERAGE FLOOD REGIME (EMPIRICAL FORMULATION)

The flood level will be obtained from the sum of the Sea Level (NM) and the empirical Run Up calculated with the formulation of Nielsen and Stockdon.

The sea level will be obtained from the sum of the Astronomical Tide (MA) and

the Meteorological Tide (MM), both obtained from the GOT and GOS series respectively.

And a comparison will be made between the results and the different formulations.

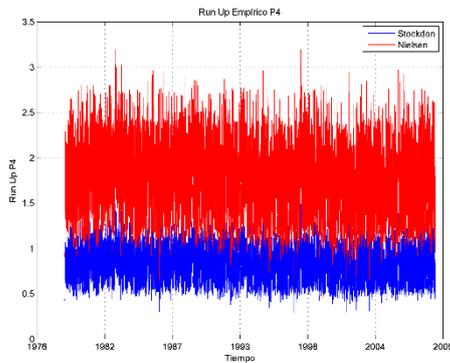


Figure 4.- Empirical Run Up Zone B

CALCULATION OF EXTREME FLOODING SCHEME BY NUMERICAL SIMULATION.

Numerical flood level:

For each profile, a series of flood level was previously obtained with the Stockdon run-up formulation, then a 5% higher selection of the highest flood levels was made.

Each of these selected cases are composed of several inputs until the final calculation of the flood level; These parameters are waves (Hs, Tp and Dir) and an astronomical and meteorological tide that make up the sea level.

5% of the highest flood levels represent around 13500 cases, since swash modeling has a high computational cost for each case and for 7 profiles, an MDA selection was made of 100 cases

representing 5% of the levels of older flood by profile.

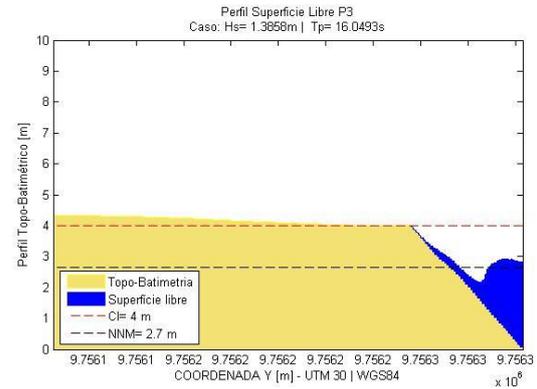


Figure 5.- Flood event modeled in SWASH.

Extreme Flood Dimension Regime:

Finally, with the 5% series of the largest CIs obtained from SWASH and interpolated for the entire series using RBF, the numerical flood level is obtained.

For the calculation of Extreme Regime it is done with the G.E.V Function with the lower 95% of the empirical IC of Stockdon and 5% of the numerical IC.

Finally, the graphs are prepared with the floods corresponding to the following return periods (5,20,50 and 100 years)

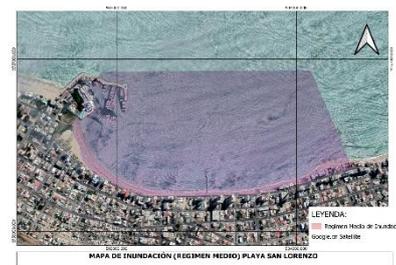


Figure 8.- Example Flood Map

1. INDICE

1. INTRODUCCIÓN	12
1.1. INTRODUCCIÓN	12
1.2. OBJETIVOS	13
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	13
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.3. INUNDACIÓN COSTERA	13
1.4. ESTRUCTURA DEL INFORME	14
1.5. INFORMACIÓN DISPONIBLE.....	15
2. ZONA DE ESTUDIO	19
2.1. INTRODUCCIÓN	19
2.2. SITUACIÓN GEOGRÁFICA.....	19
2.2.1. UNIDAD FISIOGRÁFICA	19
2.2.2. ZONA DE ESTUDIO	20
2.3. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA.....	23
2.3.1. BATIMETRÍA DE LA UNIDAD FISIOGRÁFICA	23
2.3.2. BATIMETRÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO	24
2.3.3. TOPOGRAFÍA	25
2.3.4. TAMAÑO DE SEDIMENTOS	26
2.4. EVENTOS DE INUNDACIÓN OBSERVADOS	28
2.4.1. EVENTO A:	28
2.4.2. EVENTO B:	29
2.4.3. EVENTO C:	29
2.4.4. EVENTO D:	30
3. METODOLOGÍA.....	32
3.1. INTRODUCCIÓN	32
3.2. METODOLOGÍA.....	32
3.2.1. SEGMENTACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	33
3.2.2. TRANSFERENCIA DE DINÁMICAS HASTA EL PERFIL	33
3.2.3. CÁLCULO DE COTA DE INUNDACIÓN	37
3.2.4. CÁLCULO NUMÉRICO.....	38
3.2.5. RÉGIMEN EXTREMAL DE COTA DE INUNDACIÓN	39
4. SEGMENTACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	42
4.1. INTRODUCCIÓN	42
4.2. CRITERIOS DE SEGMENTACIÓN	42
4.3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....	42

4.3.1. EVENTOS DE INUNDACIÓN OBSERVADOS	43
4.3.2. FORMA DEL PERFIL Y TAMAÑO DEL SEDIMENTO	44
4.3.3. RESULTADOS	47
5. DINÁMICA MARINA.....	50
5.1. INTRODUCCIÓN	50
5.2. OLEAJE.....	51
5.2.1. OLEAJE EN PROFUNDIDAD INDEFINIDA.....	51
5.2.2. OLEAJE A PIE DE PLAYA.....	58
5.2.3. CONCLUSIONES DEL OLEAJE	74
5.3. MAREA ASTRONÓMICA	74
5.3.1. INTRODUCCIÓN	74
5.3.2. ANÁLISIS DE LA MAREA	74
5.4. MAREA METEOROLÓGICA	75
5.4.1. INTRODUCCIÓN	75
5.4.2. ANALISIS DE LA MAREA METEOROLÓGICA	76
6. COTA DE INUNDACIÓN EMPÍRICA	78
6.1. INTRODUCCIÓN	78
6.2. METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE COTA DE INUNDACIÓN EMPÍRICA	78
6.2.1. FORMULACIÓN DE RUN UP DE NIELSEN.....	78
6.2.2. FORMULACIÓN DE RUN UP DE STOCKDON	79
6.3. RESULTADOS	79
6.3.1. RUN UP EMPÍRICO	79
6.3.2. CONCLUSIONES (RUN UP)	81
6.4. NIVEL DEL MAR.....	81
6.5. COTA DE INUNDACIÓN EMPÍRICA	83
6.6. CONCLUSIONES (COTA DE INUNDACIÓN)	86
7. COTA DE INUNDACIÓN NUMÉRICA	88
7.1. INTRODUCCIÓN	88
7.2. METODOLOGÍA DE CÁLCULO.....	88
7.2.1. SELECCIÓN DEL 5% MAYOR DE LA COTA DE INUNDACIÓN EMPÍRICA	88
7.2.2. SELECCIÓN DE CASOS EXTREMOS.....	88
7.2.3. SIMULACIÓN DE CASOS SELECCIONADOS	89
7.3. RESULTADOS DE LA COTA DE INUNDACIÓN NUMÉRICA	89
7.4. CONCLUSIONES	96
8. RÉGIMEN EXTREMAL DE COTA DE INUNDACIÓN	98
8.1. INTRODUCCIÓN	98
8.2. METODOLOGÍA.....	98

8.2.1. RESULTADOS	98
8.3. CONCLUSIONES	102
9. MAPAS DE INUNDACIÓN	104
9.1. INTRODUCCIÓN	104
9.2. METODOLOGÍA.....	104
9.2.1. MAPAS DE INUNDACIÓN REGIMEN EXTREMAL.....	105
9.3. CONCLUSIONES	110
10. CONCLUSIONES	111

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Clasificación por Segmentos de la Zona de Estudio.....	i
Figura 2.- Ubicación Geográfica PC1.	ii
Figura 3.- Ubicación de los 7 perfiles de inundación (Zona de Estudio)	ii
Figura 4.- Run Up Empírico Zona B.....	iii
Figura 5.-Evento de Inundación Modelado en SWASH.....	iii
Figura 6.- Ejemplo Mapa de Inundación.....	iii
Figura 9.- Principales componentes de un estudio de Inundación Costera Fuente: Lawless et al (2016).....	14
Figura 10.- Ubicación Geográfica del Caso de estudio Fuente: Autor	19
Figura 11.- Unidad Fisiográfica Salinas Santa Elena Ecuador	20
Figura 12.- Zona de Estudio Playa San Lorenzo Ecuador	21
Figura 13.- Puerto Deportivo Yatch Club Salinas	22
Figura 14.- Paseo Marítimo Salinas Ecuador	23
Figura 15.- Batimetría Interpolada de la Unidad Fisiográfica Fuente: INOCAR 2015	24
Figura 16.- Batimetría Interpolada de la zona de estudio. Fuente: INOCAR 2015	25
Figura 17.- Modelo Digital del Terreno Puntilla de Santa Elena	26
Figura 18.- Localización de las Tomas de Muestra de Sedimento.	27
Figura 19.- Localización de eventos de inundación observados.....	28
Figura 20.- Inundación Registrada Temporal A	29
Figura 21.- Inundación Registrada por Temporal B.	29
Figura 22.- Registro de Inundación causada por Temporal C.	30
Figura 23.- Siniestro Causado en la Punta Este de la Playa de San Lorenzo causado por temporal D.....	30
Figura 24 Componentes Principales de la Metodología de Trabajo.	32

Figura 25.- Ejemplo de Interpolación RBF.	37
Figura 26.- Metodología para el Cálculo de la Cota de Inundación R. Medio.	38
Figura 27.- Metodología para el Cálculo de la Cota de Inundación R. Medio.	39
Figura 28.- Metodología para el Cálculo de la Cota de Inundación R. Medio.	40
Figura 29.- Ubicación de los 7 perfiles de Inundación	43
Figura 30.-Evento de inundación Zona Central de la Zona de Estudio.	44
Figura 31 Daños por evento de inundación (Zona Este)	44
Figura 32.- Perfil de Inundación 1	45
Figura 33.- Perfil de Inundación 2	45
Figura 34.- Perfil de Inundación 3	45
Figura 35.- Perfil de Inundación 4	46
Figura 36.- Perfil de Inundación 5	46
Figura 37 Perfil de Inundación 6.....	46
Figura 38.- Perfil de Inundación 7	47
Figura 39.- Clasificación por Segmentos de la Zona de Estudio.....	48
Figura 40.- Ubicación Geográfica de los puntos de reanálisis GOW1 y GOW 2	52
Figura 41.- Rosas de Oleaje del Punto GOW 1 y GOW 2.....	53
Figura 42.- Series de Hs, Tp y Dir del punto GOW	54
Figura 43.- Serie Horaria de Altura de Ola Significante.	55
Figura 44.- Rosa de Oleaje de Altura de Ola Significante del GOW (Hs)	56
Figura 45.- Altura de Ola Significante GOW mensual.	57
Figura 46.- Distribución del Régimen Extremal Escalar.	58
Figura 47.- Localización PC1.	59
Figura 48.- Selección de Casos Representativos del GOW usando Max-Diss.	60
Figura 49.- Selección de Datos Representativos del Universo datos GOW.....	61
Figura 50.- Mallas de Propagación desde GOW hasta PC1.....	62
Figura 51.- Propagación Régimen Medio y Extremal de Oleajes provenientes del SSW y SW....	64
Figura 52.-Análisis descriptivo del régimen medio y extremal de los datos de Oleaje (PC1).....	66
Figura 53.- Selección de Casos representativos mediante Max-Diss.....	67
Figura 54.- Malla de Propagación para el PC1.	68
Figura 55.- Propagación de Oleaje PC1 provenientes del Oeste y WSW.	69
Figura 56.- Marea Astronómica Serie GOS	75
Figura 57.- Serie Horaria Marea Meteorológica (GOS).....	76
Figura 58.-Run Up Empírico Zona A.....	80

Figura 59.- Run Up Empírico Zona B	80
Figura 60.-Run Up Empírico Zona C	81
Figura 61.- Serie Horaria del Nivel del Mar.	82
Figura 62.- Función de Distribución del Régimen Extremal Escalar del Nivel del Mar.	82
Figura 63.-Cota de Inundación Empírico Zona A	83
Figura 64.- Cota de Inundación Empírico Zona B.....	84
Figura 65.- Cota de Inundación Empírico Zona C.....	85
Figura 66.- Comparación Run Up Empírico y Run Up Numérico P1	89
Figura 67.- Caso de Inundación Máximo en Swash (P1)	90
Figura 68.- Comparación Run Up Empírico y Run Up Numérico P2	90
Figura 69.- Caso de Inundación Máximo en Swash (P2)	91
Figura 70.- Comparación Run Up Empírico y Run Up Numérico P3	91
Figura 71.- Caso de Inundación Máximo en Swash (P3)	92
Figura 72.-Comparación Run Up Empírico y Run Up Numérico P4.....	92
Figura 73.- Caso de Inundación Máximo en Swash (P4)	93
Figura 74.- Comparación Run Up Empírico y Run Up Numérico P5	93
Figura 75.- Caso de Inundación Máximo en Swash (P5)	94
Figura 76 Comparación Run Up Empírico y Run Up Numérico P6	94
Figura 77.- Caso de Inundación Máximo en Swash (P6)	95
Figura 78.-Comparación Run Up Empírico y Run Up Numérico P7	95
Figura 79.- Caso de Inundación Máximo en Swash (P7)	96
Figura 80.- Régimen Extremal de Cota de Inundación P1.....	98
Figura 81.- Régimen Extremal de Cota de Inundación P2.....	99
Figura 82.- Régimen Extremal de Cota de Inundación P3.....	99
Figura 83.- Régimen Extremal de Cota de Inundación P4.....	100
Figura 84.- Régimen Extremal de Cota de Inundación P5.....	100
Figura 85.- Régimen Extremal de Cota de Inundación P6.....	101
Figura 86.- Régimen Extremal de Cota de Inundación P7.....	101
Figura 87.- Segmentación de la Playa para simulación numérica de inundación.	104
Figura 88.- Mapa de Inundación Tr=5 años.	106
Figura 89.-Mapa de Inundación Tr=20 años.....	107
Figura 90.-Mapa de Inundación Tr=50 años.....	108
Figura 91.- Mapa de Inundación Tr=100 años	109

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Tamaño de Sedimento de la Zona de Estudio. Fuente INOCAR.....	27
Tabla 2.- Eventos de Inundación caracterizados en profundidades indefinidas.....	28
Tabla 3.- Parámetros de pendiente y tamaño de grano asociados a cada perfil.....	47
Tabla 4.- Tabla de Máximos y Mínimos de la serie de Hs, Tp y Dir del Punto GOW.....	54
Tabla 5.- Datos estadísticos del Oleaje GOW	57
Tabla 6.- Tabla de datos estadísticos de oleaje reinante y dominante del GOW.	63
Tabla 7.- Datos estadísticos de Oleaje PC1.....	68
Tabla 8.- Información estadística de oleaje reconstruido en los 7 PC	73
Tabla 9.- Cota de Inundación para los Periodos de Retorno (5, 20 ,50 y 100 años)	102

LISTA DE SÍMBOLOS

ETOPO	Earth Topography Digital Dataset. A global relief model of Earth's surface that integrates land topography and ocean bathymetry.
GEV	Función generalizada de extremos (Generalized extreme Valué)
GOS	Base de datos de marea meteorológica (Global Ocean Surges)
GOT	Base de datos de marea astronómica (Global Ocean Tides)
GOW	Reanálisis de oleaje global de IH Cantabria (Global Ocean Waves)
IH Cantabria	Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria
MaxDiss	Método de selección por máxima disimilitud
MDA	Máximum Dissimilarity Algorith
MDT	Modelo Digital del Terreno.
Dir	Dirección (del oleaje)
Hs	Altura de ola significativa
pdf	Función de densidad (probability density function)
Prob	Probabilidad
Dir	Dirección (del oleaje)
Tm	Periodo medio del oleaje
Tp	Periodo de pico del oleaje
Tr	Periodo de retorno
Tm	Periodo medio del oleaje
km	Kilómetros
m	Metros
mm	Milímetros
m/s	Metros / segundo
OLUCA-SP	Modelo de Propagación de Oleaje Espectral

CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

Las zonas terrestres adyacentes a la costa tradicionalmente se encuentran densamente pobladas; alrededor del mundo grandes ciudades se han visto privilegiadas por su ubicación geográfica desarrollándose estrepitosamente, promoviendo diversas actividades económicas como: la pesca, turismo y comercio.

A pesar de que cada nación posee sus propias tasas de crecimiento resulta innegable encontrar una relación entre el incremento de la tasa de población y el crecimiento de la economía, lo que demanda una gran cantidad de personas viviendo en zonas expuestas a diversos fenómenos naturales como: Tsunamis o inundaciones y es por ello que; cada vez resulta más importante cuantificar y determinar estas amenazas para poder realizar los planes de contingencia adecuados y responder satisfactoriamente ante cualquier evento de esta naturaleza.

Este trabajo expone la problemática actual de la Playa de San Lorenzo en Salinas (Ecuador) que donde durante los últimos años sufrió varias inundaciones; estos eventos han causado daños en bienes públicos y privados; e incluso fue necesario tomar medidas preventivas como el cierre de varias vías de circulación peatonal y vehicular para evitar inconvenientes posteriores.

En la actualidad, el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias, es el ente técnico del país que tiene por misión ***“Garantizar la protección de personas y colectividades de los efectos negativos de desastres de origen natural o antrópico”***. Sin embargo, este ente técnico no ha catalogado los eventos de esta naturaleza como una posible amenaza para la ciudadanía, la única amenaza que tienen identificada en el ámbito marítimo es la amenaza de origen tsunamigénico para la cual han elaborado el correspondiente producto temático de inundación por tsunamis para la ciudad de Salinas con el asesoramiento técnico del Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR).

Este estudio aplicará una metodología validada de cálculo de cota de inundación en la Playa de San Lorenzo Salinas Ecuador, basado en el cálculo de inundación por perfiles, donde el cálculo de la cota de inundación está compuesto la suma del Nivel del Mar y el

cálculo del Run Up. El Run Up será calculado con la formulación empírica de Nielsen 1991 y Stockdon 2006; para posteriormente corregir el 5% superior de la cota de inundación numéricamente con el Software de Modelamiento SWASH.

Finalmente se obtendrán los mapas de inundación asociados a los distintos periodos de retorno calculados con la Función generalizada de extremos (Generalized extreme Valué)

1.2. OBJETIVOS

1.2.1.OBJETIVO GENERAL

Calcular el régimen medio de inundación de la Playa de San Lorenzo en la Ciudad de Salinas Ecuador.

1.2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar las condiciones dinámicas a pie de la zona de estudio.
- Establecer y clasificar la zona inundable por origen marino en el área de estudio.
- Identificar las causas de influencia directa de incremento de la amenaza de inundación en la Playa San Lorenzo.
- Establecer mapas de inundación para distintos periodos de retorno ($T_r=10, 20, 50$ y 100 años).

1.3. INUNDACIÓN COSTERA

La formulación (Formula 1) para obtener la cota de inundación (CI), dependiente del nivel del mar (NM), marea astronómica (MA), marea meteorológica (MM) y del run-up ($R_{u2\%}$), como se muestra en la siguiente formula:

$$CI = MSL + MA + MM + R_{u2\%}$$

Formula 1.- Formula de Cota de Inundación.

Cuando la cota de inundación (CI) se iguala o traspasa la cota donde están ubicadas una zona urbana costera (en este caso el paseo marítimo), el fenómeno de inundación

ocurre. Cabe mencionar que luego de la interacción ola-estructura costera se produce un evento que es muy importante ya que nos indica la magnitud de este fenómeno y las posibles consecuencias.

Según Lawless et al (2016), para realizar un estudio de inundación costera se necesita de 5 componentes principales que se detallan en la Figura 9:

- Marea Astronómica y Marea Meteorológica, para obtener un nivel del mar.
- Procesos de transformación de oleaje
- Run-up y rebase producido por onda (Wave Overtopping).
- Modelación de la inundación

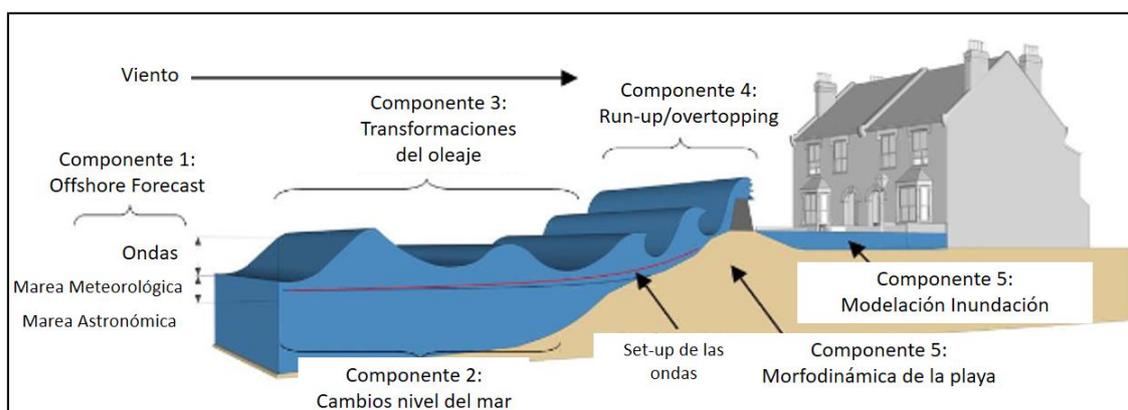


Figura 9.- Principales componentes de un estudio de Inundación Costera Fuente: Lawless et al (2016)

1.4. ESTRUCTURA DEL INFORME

El presente documento se organiza de la siguiente forma:

Capítulo 2. Caracterización de la Zona de Estudio, se describe de forma general la Unidad Fisiográfica y a detalle los diferentes los elementos morfológicos más relevantes que condicionan directamente la de la zona de estudio.

Capítulo 3. Metodología, se describe breve y técnicamente la metodología de cálculo de la CI y el proceso de selección de los casos representativos a modelar en SWASH.

Capítulo 4. Segmentación de la Costa, posteriormente a la caracterización de la zona de estudio se define por sectores las áreas de inundación, en esta caracterización se tendrá

en cuenta la pendiente del fondo marino, tamaño de grano, y al registro de eventos de inundación la zona de estudio.

Capítulo 5. Dinámica Marina, se describe la metodología de propagación del oleaje hasta obtener las series temporales de Altura de Ola significativa, periodo y dirección de los estados de mar incidentes sobre la zona de estudio.

Capítulo 6. Cota de Inundación Empírica, se calcula la cota de inundación con la formulación empírica de Stockdon 2006 y Nielsen 1991.

Capítulo 7. Cota de Inundación Numérica, se selecciona el 5% superior de las CI empírica, y se realiza una selección MDA de 100 casos para modelar en el Software SWASH y modelar numéricamente las cotas de inundación extremas.

Capítulo 8. Régimen Extremal de Cota de Inundación, se calcula el régimen extremal de la cota de inundación total corregida numéricamente para obtener las cotas de inundación para los distintos periodos de retorno.

Capítulo 9. Mapas de Inundación, se representan mediante cartografía temática los resultados de cota de inundación obtenidas para los distintos periodos de retorno.

Capítulo 10. Conclusiones, se muestran las conclusiones generales del estudio uniendo los resultados parciales de cada capítulo.

1.5. INFORMACIÓN DISPONIBLE

Para la realización del presente documento se ha tomado la siguiente información:

BATIMETRÍA:

- Batimetría general Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO) con coordenadas Lat: -82. 5163^a S Lon: -0.1341 W Lat: -80.3345 S Lon: -3.3518 W.
- Batimetría pre-sortada para la Carta Náutica IOA 105 “Bahía de Santa Elena- Puerto Cayo” Segunda Edición 2012 (Escala 1:100.000); Instituto Oceanográfico de la Armada.
- Batimetría pre-sortada para la Carta Náutica IOA 106 “Bahía de Santa Elena - Chanduy - Golfo de Guayaquil” Segunda Edición 2012 (Escala 1:100.000); Instituto Oceanográfico de la Armada.

- Batimetría pre-sorteadada para la Carta Náutica IOA 1052 “Aproximación a Salinas y La Libertad” Segunda Edición 2008 (Escala 1:25.000); Instituto Oceanográfico de la Armada.
- Batimetría pre-sorteadada para la Carta Náutica IOA 10521 “Rada de Salinas” Segunda Edición 2008 (Escala 1:7.500); Instituto Oceanográfico de la Armada.

TOPOGRAFÍA:

- Bati-topografía de actualización de la Carta IOA10521 obtenida en abril 2016 por el Instituto Oceanográfico de la Armada.
- Modelo Digital del Terreno para obtener las curvas de nivel a usarse en la Carta Náutica IOA 10521 “Rada de Salinas” Fuente: IGM. Datum Vertical Nivel Medio del Mar.

LÍNEA DE COSTA:

- Línea de costa digitalizada sobre ortofotos del año 2010 (Escala 1:500, GSD 40 cm, bandas 4, WGS-84) elaborada por el Instituto Oceanográfico de la Armada.
- Taquimetría de la Línea de Costa para actualización de la IOA10521 obtenida en abril 2016 por el Instituto Oceanográfico de la Armada.

SERIES DE REANÁLISIS:

Oleaje:

- Series de datos del oleaje Global Ocean Wave (GOW) proporcionado por el IH Cantabria, calibrados por reanálisis desde 1948 hasta el 2009, de dos puntos en aguas indefinidas ubicados en las siguientes posiciones:

Gow 1; Latitud = 2° 0.000'S; Longitud= 81° 15.000'W; serie temporal= 01 /01/1979 hasta 31/03/2019.

Gow2; Latitud = 2° 0.000'S; Longitud= 81° 0.000'W; serie temporal= 01 /01/1979 hasta 31/03/2019.

Marea Astronómica:

- Series de datos Global Ocean Tide (GOT) proporcionados por el IH Cantabria, de la misma espacialidad y temporalidad de los GOW serie temporal= 01 /02/1979 hasta 31/12/2008 (262248 registros).

Marea Meteorológica:

- Series de datos Global Ocean Surge (GOS) proporcionados por el IH Cantabria, de la misma espacialidad y temporalidad de los GOW; serie temporal= 01 /02/1979 hasta 31/12/2008 (262248 registros).

IMAGENES SATELITALES:

- Ortofotos del Programa SIGTIERRAS (Ecuador) con las siguientes especificaciones técnicas:

Escala 1:5000

GSD: 40cm

Bandas: 4

Proyección: UTM – 17 S

Datum: WGS-84

Precisión planimétrica: 1 m.

CAPITULO 2

ZONA DE ESTUDIO

2. ZONA DE ESTUDIO

2.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describirá la morfología de la Unidad Fisiográfica y Zona de Estudio para posteriormente realizar un análisis a detalle de los elementos que inciden sobre los procesos de transformación del oleaje hasta obtenerlo a pie de playa.

2.2. SITUACIÓN GEOGRÁFICA

En la Figura 10 se puede apreciar que la Playa de San Lorenzo se encuentra ubicada en América del Sur, provincia de Santa Elena, cantón Salinas. En el cantón Salinas existe una gran particularidad con respecto a sus playas; existen playas muy calmadas como la de Chipipe y San Lorenzo y otras muy peligrosas como Punta Carnero y Mar Bravo, la peligrosidad de esta playa radica en el hecho de su orientación Sur. Al estar orientada al Sur recibe de forma directa los oleajes fuertes provenientes del Pacífico Sur.

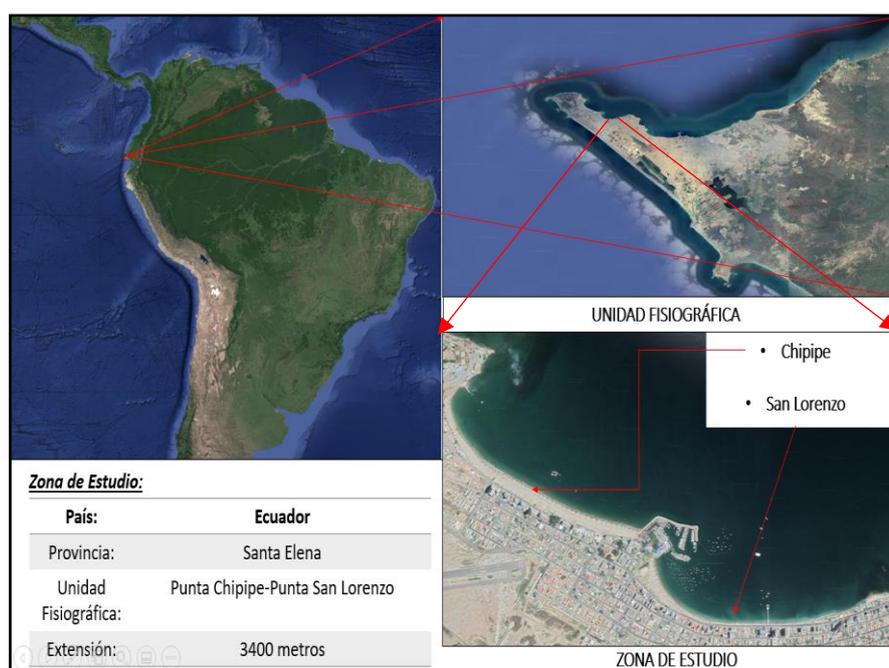


Figura 10.- Ubicación Geográfica del Caso de estudio Fuente: Autor

2.2.1. UNIDAD FISIAGRÁFICA

En este apartado se define la Unidad Fisiográfica ya que en ella se representan los diferentes elementos que en los procesos transformación del oleaje que llega a la zona

de estudio.

En la Figura 11, se observa la unidad Fisiográfica por completo que se encuentra comprendida entre la punta más saliente del continente, conocida como Punta Chocolatera (Figura 11 Punto 1) hasta la Punta San Lorenzo (Figura 11 Punto 6) que se ubica en el extremo final de la playa del mismo nombre.

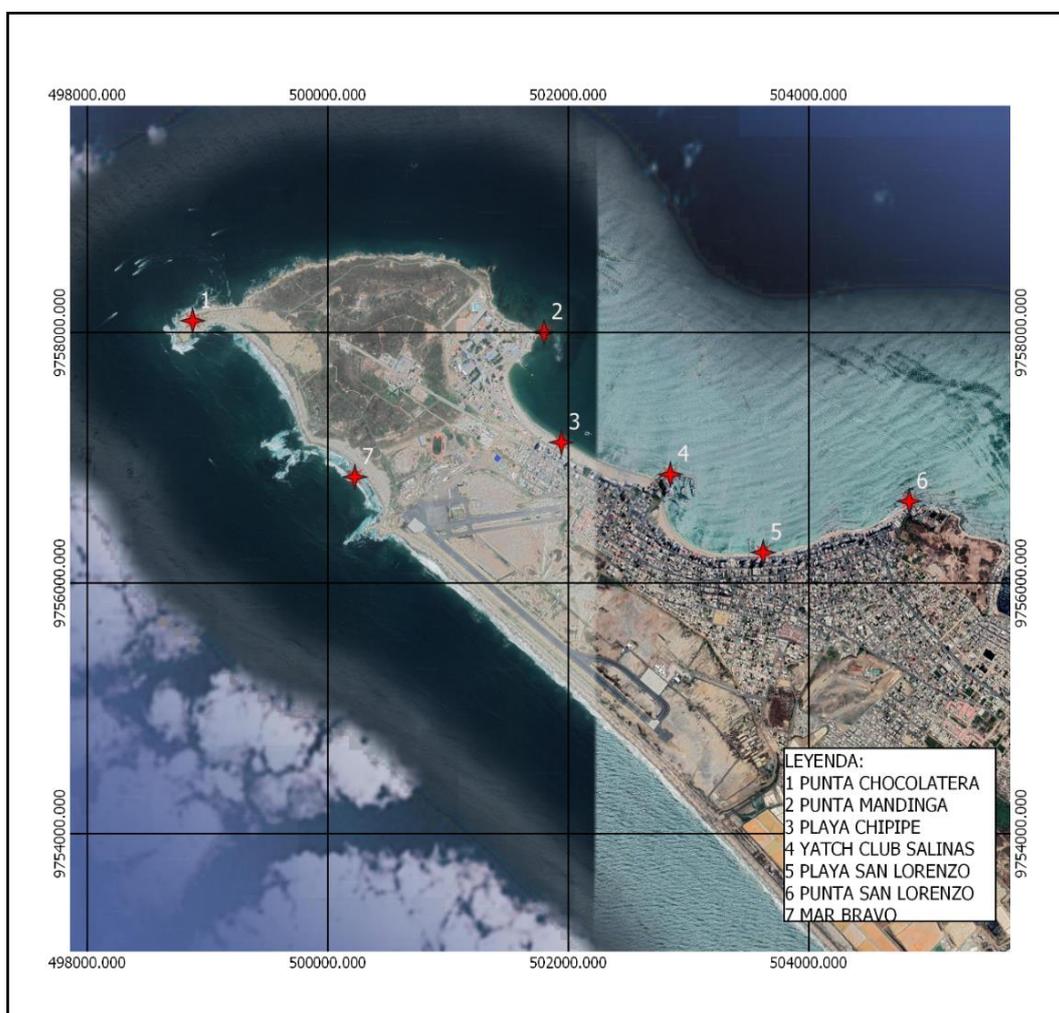


Figura 11.- Unidad Fisiográfica Salinas Santa Elena Ecuador

2.2.2.ZONA DE ESTUDIO

La Zona de estudio (Figura 12) se encuentra delimitada al Oeste por el Salinas Yatch Club (Figura 12 Punto 1) y al Este por la Punta San Lorenzo (Figura 12 Punto 5). El sector de playa oeste conocido como Las Palmeras (Figura 12 Punto 2), es un sector de forma aconchada que posee una gran extensión de playa seca no existe evidencia de

inundación en esa área. Recientemente se ha instalado un muelle de la Capitanía Marítima de Salinas (Figura 12 Punto 3) que aparentemente no ha influido en la morfología actual.

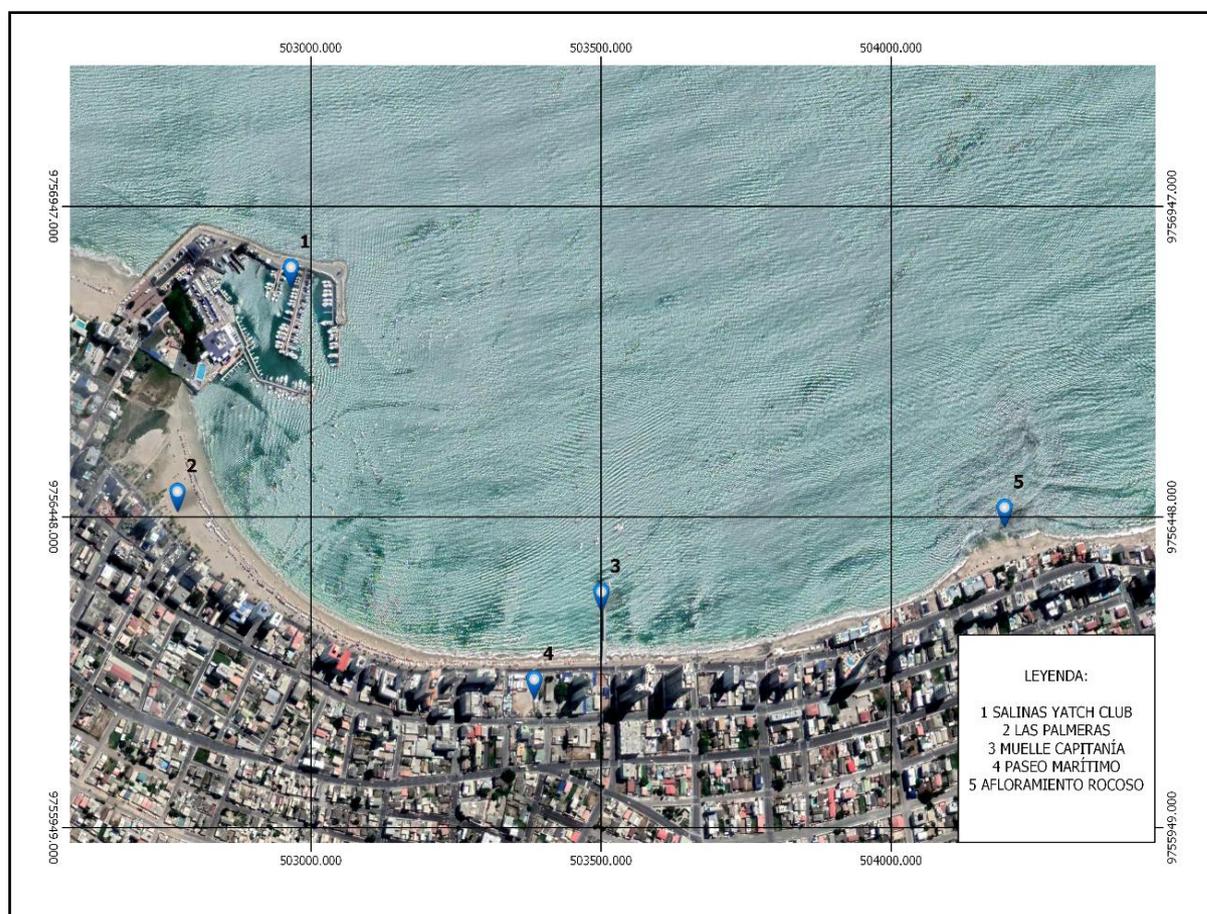


Figura 12.- Zona de Estudio Playa San Lorenzo Ecuador

2.2.2.1.ELEMENTOS QUE CONDICIONAN LA FORMA DE LA ZONA DE ESTUDIO.

Entre los elementos que a simple vista pueden condicionar la forma de la playa se encuentran dos: el Salinas Yatch Club y el paseo marítimo (ambos de origen antropogénico)

- **SALINAS YATCH CLUB**

Las instalaciones del Salinas Yatch Club (Figura 13) se encuentran ubicadas en Punta Chipipe desde 1942, en principio fueron construidas como un faro para la ciudad de

Salinas y en 1980 se construyó un rompeolas de escolleras no uniformes, paralelo a la playa en forma de L, con un total de extensión de 600m.

Estas construcciones afectaron enormemente a la morfología actual de la playa. La construcción del Faro cerró el transporte natural de sedimentos desde la Playa de Chipipe hasta la Playa de San Lorenzo y la construcción del rompeolas cambió notablemente el punto de difracción de la playa de San Lorenzo.



Figura 13.- Puerto Deportivo Yatch Club Salinas

- **PASEO MARÍTIMO DE SALINAS**

El Paseo Marítimo de Salinas (Figura 14), es una construcción antrópica que separa la playa de San Lorenzo de su zona urbana, tiene más de 30 años de construcción, su última remodelación tuvo lugar el 2014.

Sobre esta edificación se han registrado varios eventos de inundación que serán caracterizados más adelante, la principal particularidad de este paseo marítimo es que se encuentra construido sobre la pleamar, ya que en pleamar la línea de costa queda sobre el muro de contención. La cota de construcción de este paseo marítimo es de -4 aproximadamente metros referidos a la bajamar de sicigia (MLWS).



Figura 14.- Paseo Marítimo Salinas Ecuador

2.3. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA

En este apartado se presente realizar un análisis de la batimetría de la unidad fisiográfica, la batimetría de la zona de estudio, modelo digital del terreno y tamaño de sedimento.

2.3.1. BATIMETRÍA DE LA UNIDAD FISIGRÁFICA

En la Figura 15, se observa la batimetría de la Unidad Fisiográfica en la zona oeste la profundidad que bordea los 2000 metros que corresponden al talud de la plataforma continental.

Cabe resaltar que frente al sector de la Punta de la Chokolatera que se encuentra el bajo de 10 metros llamado Coupé, este bajo tiende a concentrar el oleaje y generar grandes alturas de ola en el sector.

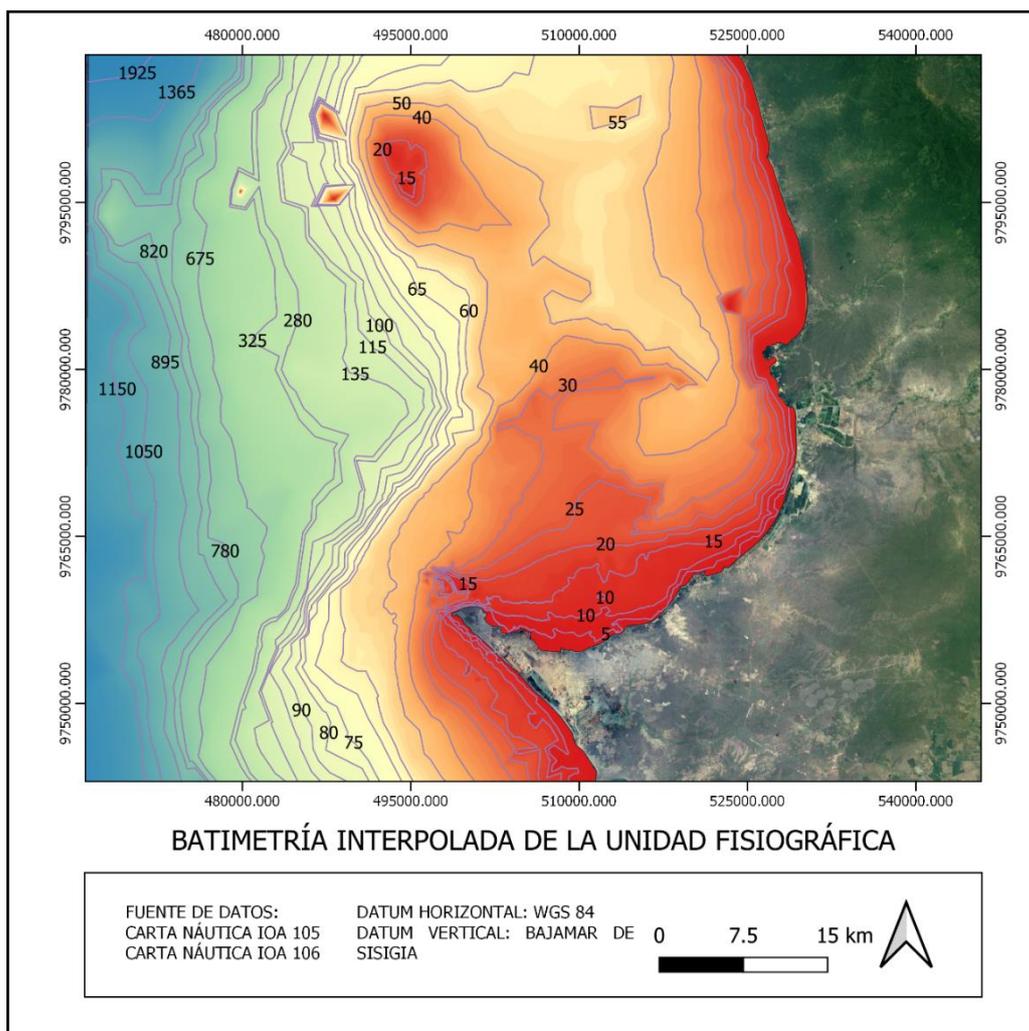


Figura 15.- Batimetría Interpolada de la Unidad Fisiográfica Fuente: INOCAR 2015

2.3.2. BATIMETRÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO

En la Figura 16 se observa la playa de San Lorenzo que presenta una batimetría irregular en casi toda su extensión, en el sector Oeste se encuentra del Yatch Club de Salinas donde se puede apreciar una acumulación de sedimentos en la playa de Chipipe; en el extremo Este de la playa donde existe una gran cantidad de rocas.

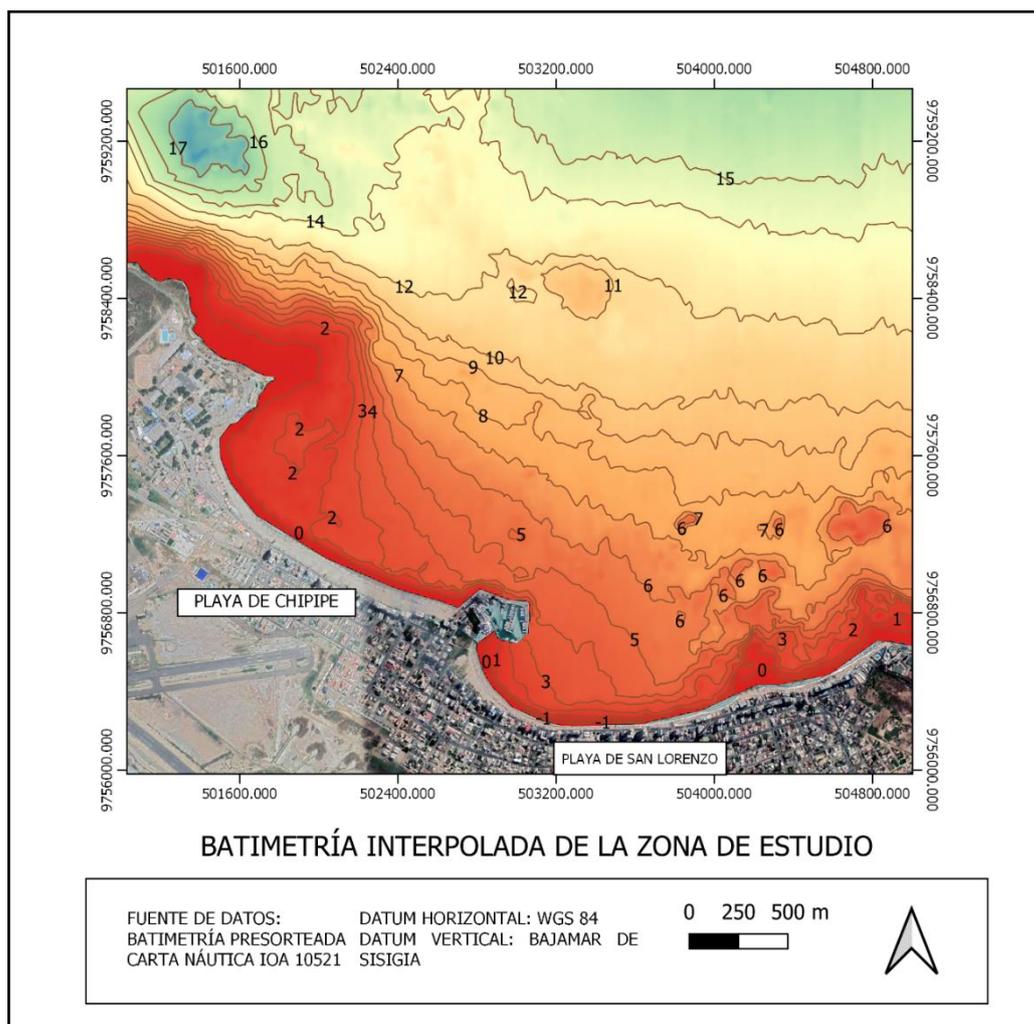


Figura 16.- Batimetría Interpolada de la zona de estudio. Fuente: INOCAR 2015

2.3.3. TOPOGRAFÍA

La topografía de la zona de estudio fue extraída del Modelo Digital del Terreno (MDT) del Cantón Salinas, proporcionado por el Instituto Geográfico Militar como insumo para la elaboración de la carta náutica del área. En la parte central de la Figura 17 se puede observar que el paseo marítimo se encuentra asentado aproximadamente sobre la cota de -4 metros referida al MLWS, este dato es de mucho interés ya que sobre ese valor se calcularán las cotas de inundación y aquella que supere dicho valor generará un evento de rebase que se entiende como una inundación sobre el paseo marítimo.

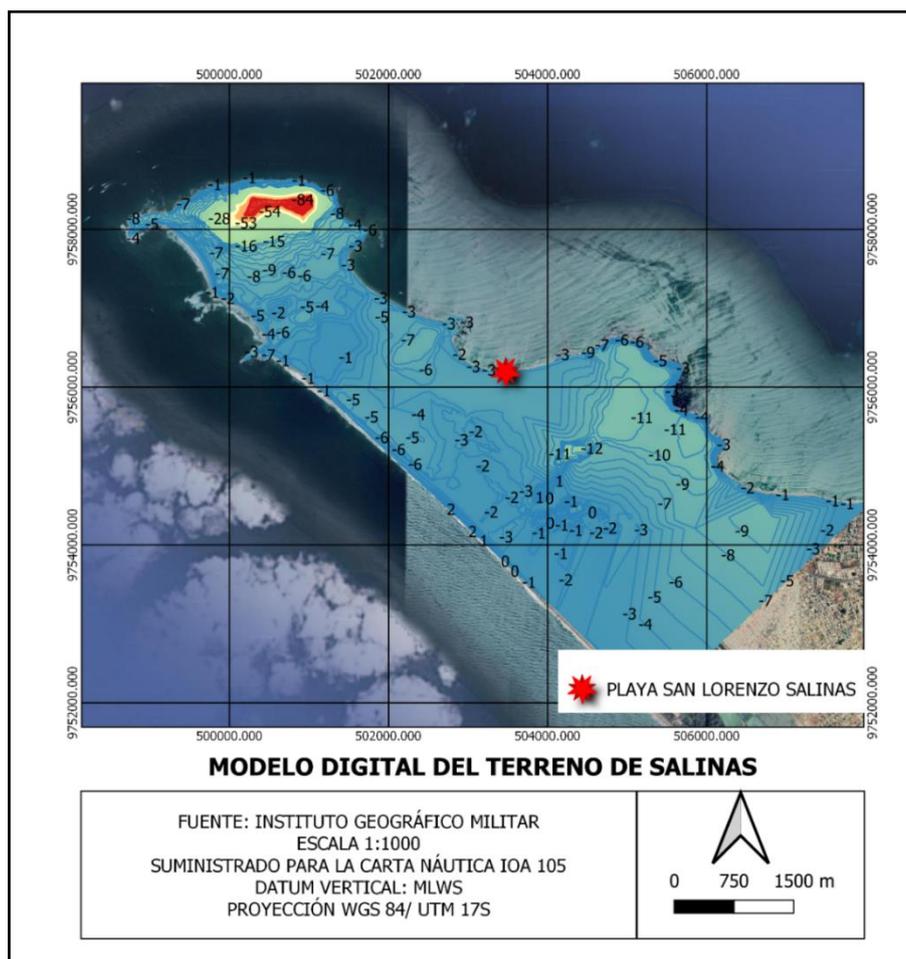


Figura 17.- Modelo Digital del Terreno Punta de Santa Elena

2.3.4. TAMAÑO DE SEDIMENTOS

Las mediciones de tamaño de sedimento fueron realizadas en nueve estaciones y tres perfiles; es decir, cada perfil tiene 3 mediciones (playa seca, intermareal y a 10 metros de profundidad)

Localización:

En la Figura 18, se puede observar la ubicación de las tomas de sedimentos.

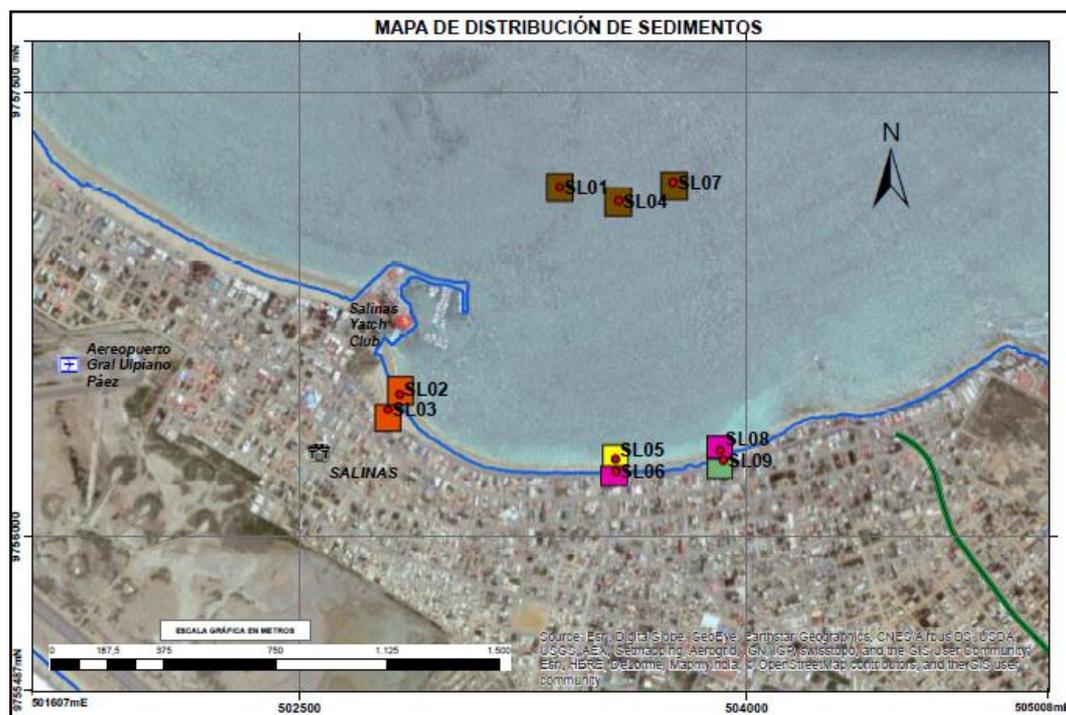


Figura 18.- Localización de las Tomas de Muestra de Sedimento.

Resultados:

A continuación, se presenta un cuadro resumen con el porcentaje de cada tipo de sedimento hallado y el tamaño (D50) del mismo.

ESTACIÓN	PROFUNDIDAD	COORDENADAS UTM		D50 (mm)	TEXTURA
		X	Y		
SL01	VERIL 7,5	503372	9757180	0.0708	ARENA LIMOSA
SL02	INTERMAREAL	502835	9756480	0.1497	ARENA FINA
SL03	PLAYA SECA	502796	9756427	0.1426	ARENA FINA
SL04	VERIL 7,8	503570	9757132	0.0764	ARENA LIMOSA
SL05	INTERMAREAL	503567	9756230	2.0705	GRAVA ARENOSA
SL06	PLAYA SECA	503563	9756220	0.2077	ARENA GRAVOSA
SL07	VERIL 8,5	503759	9757214	0.0728	ARENA LIMOSA
SL08	INTERMAREAL	503915	9756284	1.8025	ARENA GRAVOSA
SL09	PLAYA SECA	503923	9756257	0.1821	ARENA FINA A MUY FINA

Tabla 1.- Tamaño de Sedimento de la Zona de Estudio. Fuente INOCAR

2.4. EVENTOS DE INUNDACIÓN OBSERVADOS

Entre los eventos más recientes que causaron inundación sobre la playa de San Lorenzo se puede destacar los eventos resumidos en la siguiente tabla:

EVENTO	DÍA	MES	AÑO
A	27	Marzo	2015
B	2	Mayo	2015
C	9	Marzo	2016
D	23	Diciembre	2018

Tabla 2.- Eventos de Inundación caracterizados en profundidades indefinidas.

EVIDENCIA DE INUNDACIÓN:

La ubicación de los eventos que generaron inundación se la puede observar en la Figura 19.

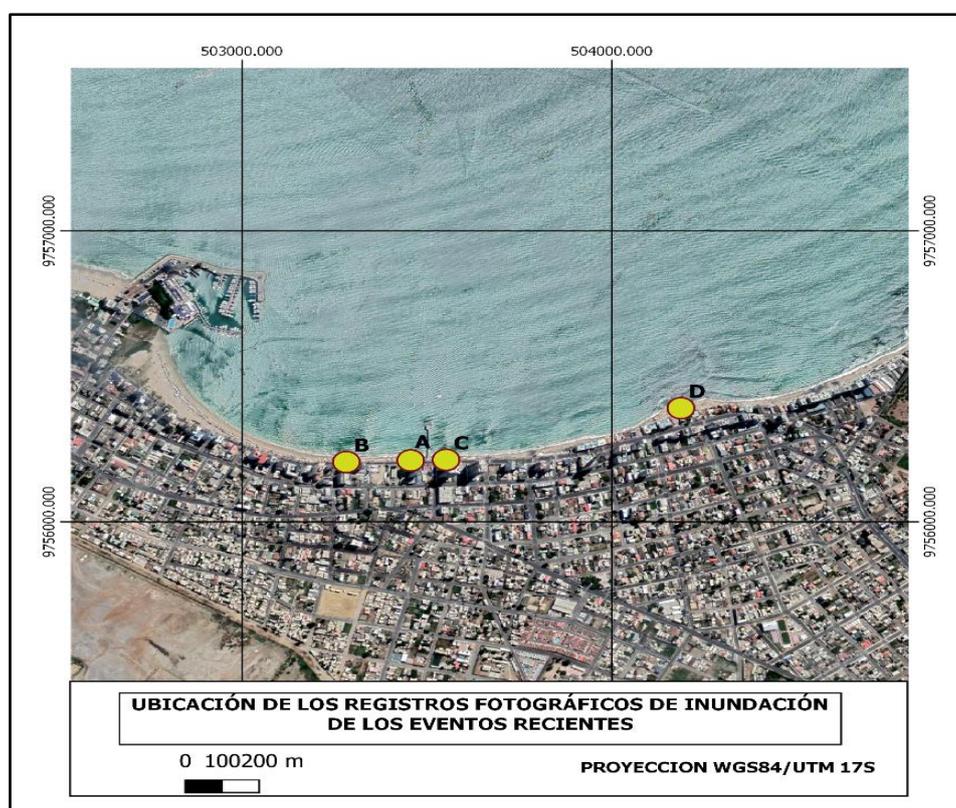


Figura 19.- Localización de eventos de inundación observados.

2.4.1. EVENTO A:

En la Figura 20 se puede observar el rebase de la ola y una inusual acumulación de sedimentos en el muro del paseo marítimo.



Figura 20.- Inundación Registrada Temporal A

2.4.2.EVENTO B:

Las consecuencias de este temporal fueron considerables, en este caso se registraron alturas de olas de hasta 4 metros en el sector de punta Carnero y Mar Bravo y en la Playa de San Lorenzo se cerró la Vía del Paseo Marítimo por varias horas. (Figura 21)



Figura 21.- Inundación Registrada por Temporal B.

2.4.3.EVENTO C:

El Malecón de Salinas fue cerrado al tránsito vehicular debido al fuerte aguaje y oleaje que llenó la calle principal de este cantón con arena y conchilla. Las olas anegaron al **menos tres cuadras a lo largo del malecón de Salinas** y el agua corrió hasta la **segunda avenida de la ciudad** (Figura 22).



Figura 22.- Registro de Inundación causada por Temporal C.

2.4.4.EVENTO D:

La amenaza por **fuerte oleaje en el litoral de Ecuador** ha provocado destrozos en varios puntos de la costa (Figura 23), daños causados en el sector este de la Playa San Lorenzo.



Figura 23.- Siniestro Causado en la Punta Este de la Playa de San Lorenzo causado por temporal D

CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA

3. METODOLOGÍA

3.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se explicará la metodología que se empleará para desarrollar el cálculo del régimen extremal de cota de inundación.

De forma general la metodología conlleva aplicar los siguientes pasos:

- Definición de los perfiles
- Propagación del Oleaje y dinámicas hasta los perfiles
- Calcular la CI empírica
- Seleccionar casos extremos para modelación numérica
- Régimen Extremal de Cota de Inundación
- Mapas de Inundación

3.2. METODOLOGÍA

La metodología de un estudio hace referencia al conjunto de procedimientos utilizados para alcanzar el objetivo que rige una investigación científica, este apartado tiene por objetivo explicar las componentes de la metodología a aplicarse (Figura 24).

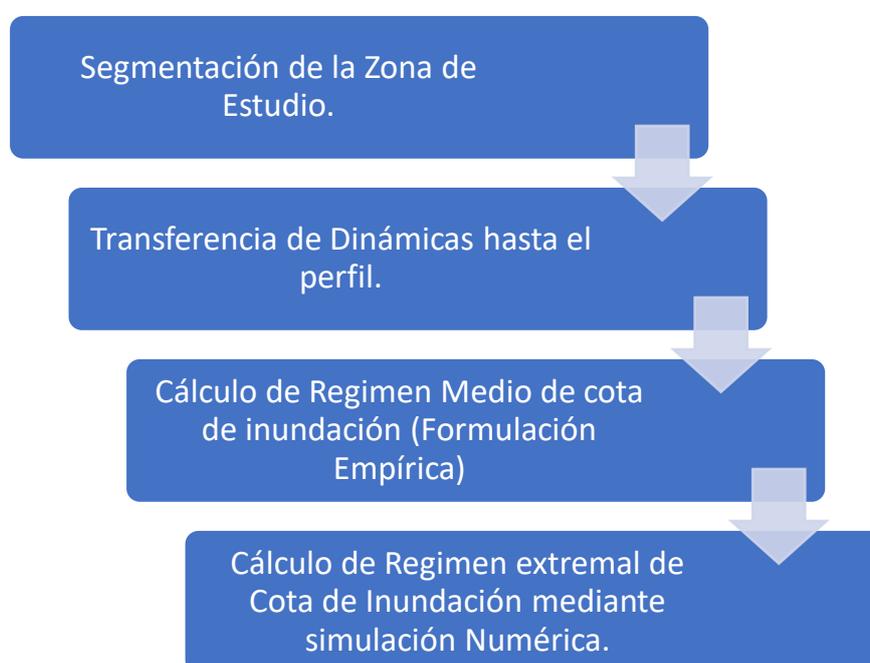


Figura 24 Componentes Principales de la Metodología de Trabajo.

En la actualidad existen modelos numéricos que simulan muy bien la inundación en zonas costeras sin embargo estos modelos generan un alto coste computacional que no puede ser costeadado por el usuario, y es por lo que esta metodología simulará los casos máximos de inundación obtenidos con formulaciones empíricas de Run Up, de esta forma garantizamos que los casos máximos se encuentren bien calculados y finalmente se obtengan los mapas de inundación para los distintos periodos de retorno (T_r).

3.2.1.SEGMENTACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.

En este apartado se mostrará la de los perfiles de inundación. Estos perfiles de inundación serán clasificados por zonas que presenten características similares.

Estos criterios de clasificación son:

- El tamaño del grano (D50)
- La pendiente del Perfil.
- Los eventos de inundación registrados en el área.

3.2.2.TRANSFERENCIA DE DINÁMICAS HASTA EL PERFIL

3.2.2.1.TEORÍA DE FORMACIÓN DE OLEAJE

El oleaje es generado por el viento de una tormenta/borrasca en mar abierto que, debido a la aleatoriedad de las velocidades y las fuerzas del viento, puede abarcar un amplio rango de frecuencias. Estas frecuencias inician su viaje hasta la costa, mientras se acercan a la plataforma continental algunas de las ondas se agrupan para formar una onda larga. De esta manera, las olas llegan a ser medidas por las boyas en su viaje (Liu & Losada, 2000).

El oleaje en profundidades indefinidas no se ven afectadas por la batimetría. Sin embargo, a partir de que el tren de ondas comienza a propagarse en aguas más someras, comienza a notarse el efecto de refracción debido a la influencia de la batimetría o de las corrientes; o se difracta por las abruptas variaciones del fondo, tales como cañones submarinos o bajos (Liu & Losada, 2000).

La propagación de las ondas, que continúa su trayecto acercándose a la costa, perdiendo parte de su energía por efecto de la fricción con el fondo. Finalmente, la amplitud de la

onda aumenta y la longitud de onda se va reduciendo, dando lugar al rompimiento de las ondas (Liu & Losada, 2000). En profundidades bajas, el frente de la onda se desplaza a una velocidad menor que la cresta de la onda, dando lugar a un volteo de la cresta. Este volteo abre espacio para el rompimiento de la onda y la disipación de la energía que lleva.

3.2.2.2. METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL OLEAJE A NIVEL COSTERO:

Para realizar una adecuada caracterización del clima marítimo en un lugar determinado, se debe consultar la mayor cantidad de bases de datos de oleaje disponibles, por ejemplo, las provenientes de boyas, satélites, datos de reanálisis (hindcast) y registros de observación visual. Para algunas de estas fuentes la cantidad de información es escasa o presentan diferencias entre extensión, resolución y temporalidad.

Los datos de reanálisis en aguas profundas permiten obtener una adecuada caracterización del oleaje, por medio del traslado de la información de su punto en aguas profundas a la costa (punto objetivo).

Para el traslado de información de oleaje este estudio aplicará la estrategia propuesta por el IH Cantabria. Esta metodología se fundamenta en el traslado de la serie de datos de aguas profundas hasta la zona de interés. Antes de realizar la propagación de los estados desde aguas profundas hasta la zona de interés, se debe realizar una selección de los datos de registro del reanálisis.

Debido a que los registros usualmente van de 1960 hasta la actualidad, la cantidad de datos es amplia (500.000 propagaciones). Realizar esta propagación en un computador tomaría demasiado tiempo y esfuerzo computacional, por lo cual se hace una selección de datos.

La metodología propuesta por el IH Cantabria es también conocida como **downscaling o regionalización**. Esta es una metodología que realiza los procesos de transformación de oleaje y aumento de la resolución espacial, es decir, trata de generar series de datos de onda costera horaria emulando las características de las bases de reanálisis mediante el downscaling (técnica de interpolación) y así reduce el tiempo computacional.

Existen 3 metodologías de downscaling que se presentan a continuación (Camus et al, 2012):

1. Downscaling dinámico: que se basa en acoplar los modelos numéricos de una resolución grande a una más de detalle, forzados por una misma serie de datos, el modelo general contiene al de detalle para formar las condiciones de contorno del modelo de detalle.

2. Downscaling estadístico: involucra acoplar mediante funciones de transferencia, es decir los datos generados a partir de simulaciones numéricas acoplados con datos de instrumentación localizados en zonas cercanas a la costa.

3. Downscaling híbrido: se trata de unir ambas metodologías, se selecciona unos casos que representen el clima marítimo de la serie de reanálisis, para trasladar mediante aproximaciones matemáticas de una escala general a una de detalle. ***Esta es la metodología propuesta por el IH Cantabria.***

El IH Cantabria desarrolló esta metodología con base en el uso de sus propias series de datos de reanálisis en aguas profundas, llamados puntos (GOW); los cuales, junto con los modelos de propagación y las técnicas de interpolación, permiten generar una nueva serie de datos en aguas someras. Estas técnicas de interpolación producen una serie de datos en aguas someras con la misma longitud de las de aguas profundas en el punto objetivo.

3.2.2.2.1. SELECCIÓN DE CASOS

Siguiendo la metodología de propagación de oleaje, a continuación, se explica el método que se utiliza para la selección de series de oleaje de indefinidas a reducidas. El método de selección es el algoritmo de máxima disimilitud (MaxDiss o MDA), mediante este algoritmo se identifica un subconjunto de datos que represente la mayor diversidad posible del total de la base de N datos. El algoritmo comienza seleccionando un dato que se destaque del origen de la base y luego pasa al siguiente subconjunto, donde se tiene los datos que representen la mayor disimilitud de los datos del inicio. Este mismo proceso se realiza iterativamente y, en cada secuencia, se toma el dato seleccionado que tiene la mayor disimilitud, hasta obtener un grupo de datos representativos de cada

subgrupo.

3.2.2.2. PROPAGACIÓN DE CASOS SELECCIONADOS

Resulta de vital importancia para los Ingenieros de Costas conocer en una zona costera la altura de ola estadísticamente representativa de un oleaje irregular aleatorio. El oleaje propagándose por zonas costeras de poca profundidad es modificado de forma importante por la batimetría del fondo, la refracción, asomeramiento, disipación de energía y difracción entre otras son manifestaciones de estas interacciones.

El entendimiento de estos procesos físicos llevado a cabo durante estos últimos años, han permitido incorporar dichos conocimientos en modelos numéricos de propagación de oleaje.

Existen dos familias de modelos numéricos de propagación de oleaje en zonas de aguas con poca profundidad: (1) aquellos que resuelven la fase (MRF) con base en las ecuaciones de balance de cantidad movimiento y flujo de masa, y (2) los modelos que promedian la fase (MPF), los cuales resuelven las ecuaciones de balance de energía espectral o acción de la onda.

El modelo Oluca-SP a usarse en este estudio; corresponde a un modelo de esta última categoría (***modelo espectral no dispersivo que resuelve la fase, MRF***). El modelo requiere como entrada en el contorno exterior (mar adentro), un estado de mar direccional, el cual está representado por un espectro bidimensional discretizado en componentes frecuenciales y direccionales, las cuales son propagadas de manera simultánea. Para la propagación de los componentes de energía, la aproximación parabólica incluye refracción-difracción con interacción oleaje-corriente.

El modelo predice las pérdidas de energía debido a la rotura del oleaje mediante la utilización de tres diferentes modelos estadísticos de disipación, dos de los cuales calculan la tasa media de disipación de energía asociada a un bore en movimiento y un tercero que asocia la tasa de disipación al gradiente entre el flujo de energía estable y local.

El modelo Oluca-SP ha sido seleccionado principalmente porque es un modelo que resuelve bastante bien la difracción, como fue explicado en el capítulo anterior el oleaje sufre mucha difracción para llegar desde aguas indefinidas hasta la zona de estudio.

3.2.2.2.3. RECONSTRUCCIÓN DE LAS SERIES EN UN PUNTO OBJETIVO

Luego de realizar las propagaciones y obtener los datos de oleaje en los puntos de control es necesario realizar la reconstrucción de toda la serie horaria; para ello se utiliza la técnica de interpolación RBF (Figura 25).

El funcionamiento de esta técnica de interpolación se resume en estas 3 capas:

1. La capa de entrada que sirve para los ejemplos o patrones de entrenamiento y prueba,
2. La capa oculta completamente interconectada entre todos sus nodos con la capa de entrada y activada a través de la función radial (gaussiana),
3. La capa de salida, también completamente interconectada a la capa oculta y activada a través de una función lineal continua.

De este modo, la salida z de una red RBF, en general, está influenciada por una transformación no lineal originada en la capa oculta a través de la función radial y una lineal en la capa de salida a través de la función lineal continua.

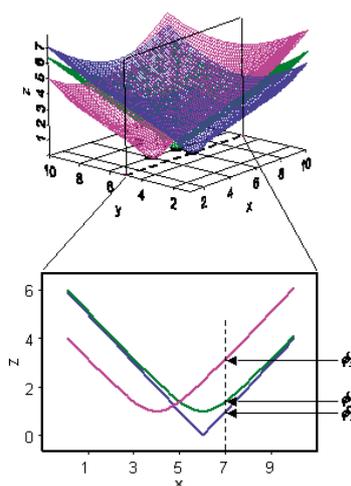


Figura 25.- Ejemplo de Interpolación RBF.

3.2.3. CÁLCULO DE COTA DE INUNDACIÓN

Como ya fue definido en el apartado 1.3 INUNDACIÓN COSTERA con la Formula 1, la CI para un punto determinado se la obtiene mediante la suma del nivel del mar (NM) y el Run Up.

3.2.3.1. CÁLCULO EMPÍRICO

En la Figura 26, se observa la metodología para el cálculo empírico de cota de inundación. La cota de inundación se la obtendrá de la suma del Nivel del Mar (NM) y el Run Up empírico calculado con la formulación de Nielsen (1991) y Stockdon (2008).

El Nivel del mar será obtenido de la suma de la Marea Astronómica (MA) y la Marea Meteorológica (MM), ambas obtenidas de las series GOT y GOS respectivamente.

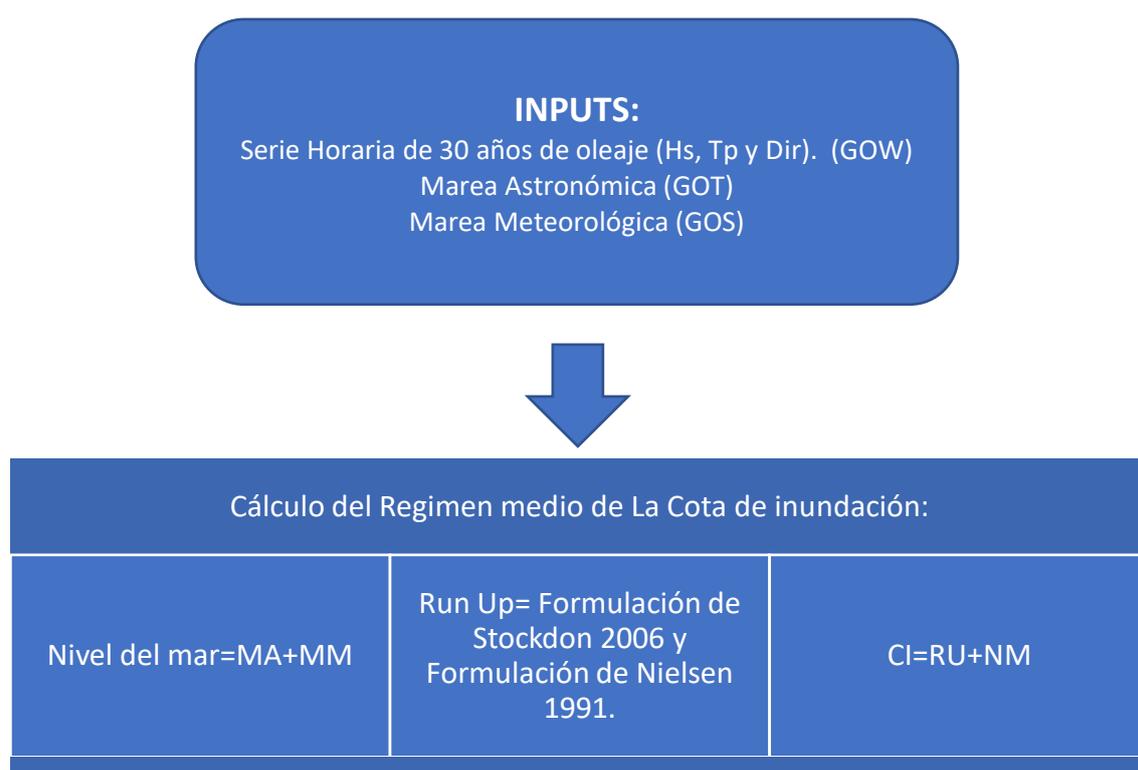


Figura 26.- Metodología para el Cálculo de la Cota de Inundación R. Medio.

3.2.4. CÁLCULO NUMÉRICO

El cálculo numérico será realizado por un software de modelamiento de inundación (SWASH). Debido al alto coste computacional de este cálculo se modelarán 100 casos representativos por perfil que representan al 5% superior de la CI calculada empíricamente.

La metodología que se llevará a cabo en este apartado está descrita en la Figura 27. Luego de obtener una CI empírica para cada perfil se realizó una selección 5% superior de las mayores cotas de inundación.

Cada uno de estos casos seleccionados se componen de diferentes parámetros de oleaje (Hs, Tp y Dir) y una marea astronómica y meteorológica que componen el nivel del mar.

El 5% de las cotas de inundación mayores representan alrededor de 13500 casos por perfil, al tener un alto costo computacional la modelación en swash para cada caso se realizó una selección MDA de 100 casos que representan el 5% de las cotas de inundación mayores

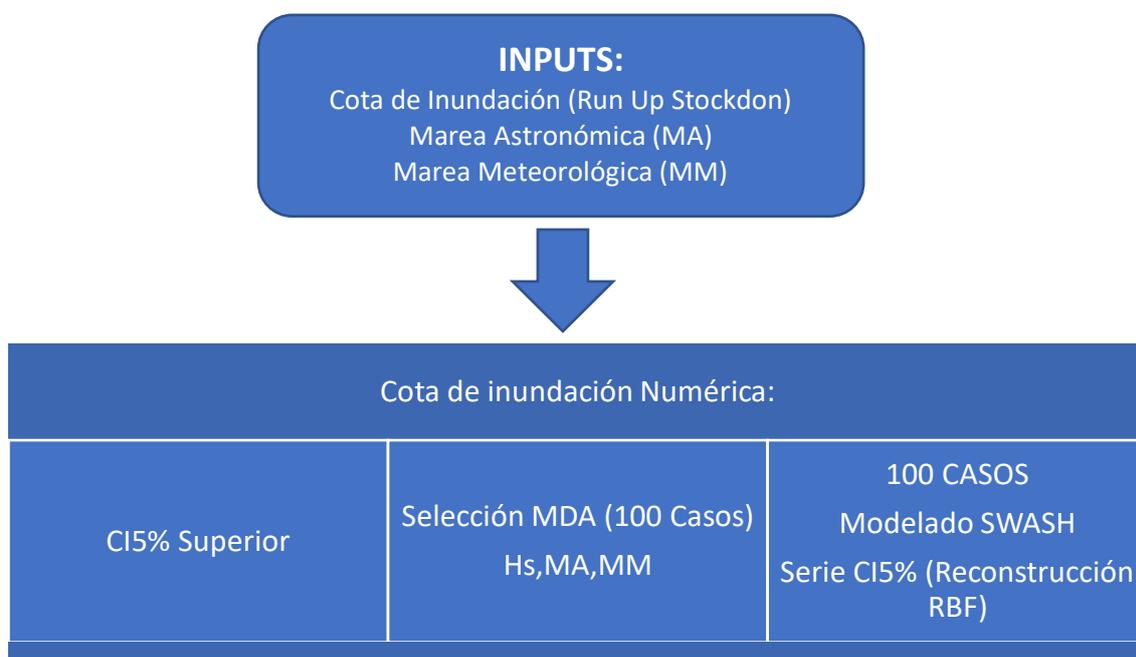


Figura 27.- Metodología para el Cálculo de la Cota de Inundación R. Medio.

3.2.5. RÉGIMEN EXTREMAL DE COTA DE INUNDACIÓN

La serie final con la que se calculará la cota de inundación (CIF) para los distintos periodos de Retorno (Tr) será compuesta por el 95% inferior de las CI calculadas con el run up empírico de Stockdon y el 5% superior interpolado con los resultados obtenidos en las simulaciones numéricas en SWASH.

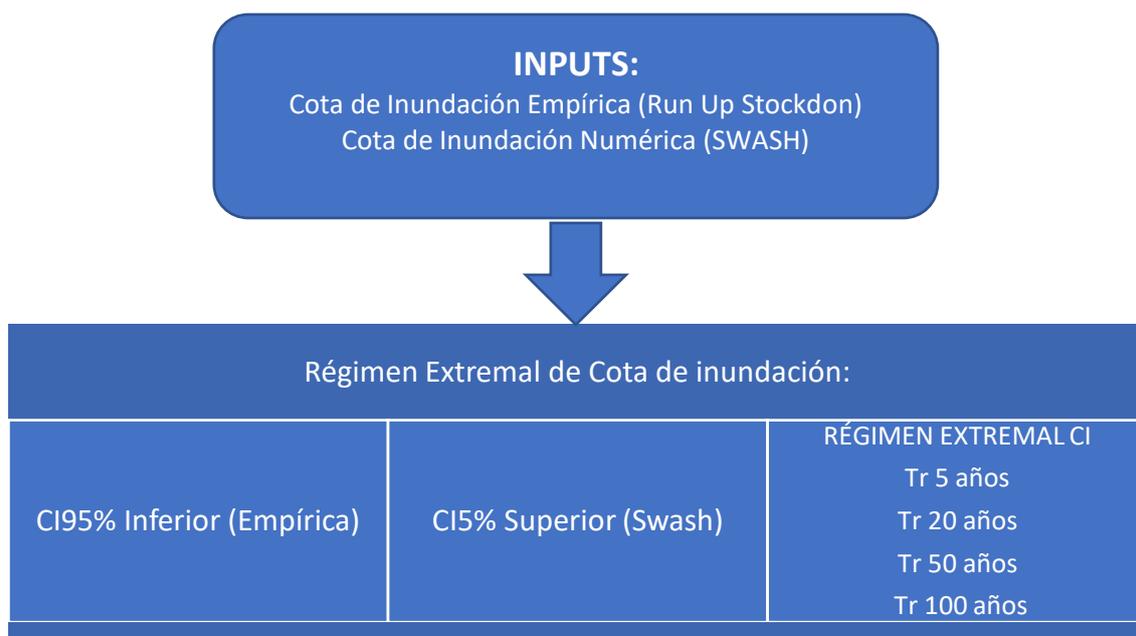


Figura 28.- Metodología para el Cálculo de la Cota de Inundación R. Medio.

REGIMEN EXTREMAL:

El Régimen extremal será calculado mediante la distribución de GEV que es una familia de distribuciones de probabilidad continua desarrollada dentro de la teoría del valor extremo. La teoría del valor extremo proporciona el marco estadístico para hacer inferencias sobre la probabilidad de eventos muy raros. Los valores extremos se ajustan a una de estas tres distribuciones, Gumbel, Fréchet y Weibull.

CAPÍTULO 4

SEGMENTACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

4. SEGMENTACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

4.1. INTRODUCCIÓN

La segmentación de la costa servirá para caracterizar por tramos la zona de estudio, es decir, se analizarán varios criterios técnicos y se agruparán los perfiles que posean características similares.

4.2. CRITERIOS DE SEGMENTACIÓN

Los criterios de segmentación a usarse serán los siguientes:

Eventos de Inundación: de acuerdo con los registros de fotográficos de las inundaciones suscitadas se dividirá el área de estudio en 3 zonas.

Forma del Perfil: se buscarán agrupar por zonas perfiles que posean características morfológicas similares.

Tamaño de sedimento: este criterio sirve para definir un tamaño de sedimento general para cada zona en la playa, al tener solo 3 perfiles con 3 muestras cada uno, se dividirá la zona de estudio en 3 áreas.

4.3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En la Figura 29 se observa la ubicación de los siete perfiles que servirán como punto de reconstrucción del oleaje, sobre estos perfiles posteriormente se realizará la modelación de los eventos máximos de inundación en SWASH.



Figura 29.- Ubicación de los 7 perfiles de Inundación

4.3.1. EVENTOS DE INUNDACIÓN OBSERVADOS

A partir de este momento se procederá a dividir la zona de estudio en 3 zonas y ubicar los eventos de inundación observados descritos en el apartado 2.4.

- **Zona Oeste** debido a su gran cantidad de playa seca y a la protección que ofrece el Yatch Club de Salinas, no registra eventos de inundación en esta parte de la playa.
- **Zona Central** al tener la línea de pleamar sobre el paseo marítimo esta es la zona donde ocurren la mayor cantidad de eventos de inundación, los eventos de inundación observados, en este sector por varias ocasiones se debió cerrar el tránsito e incluso realizaron obras de mantenimiento para quitar el sedimento depositado sobre la vía automovilística. (Ver Figura 30)



Figura 30.-Evento de inundación Zona Central de la Zona de Estudio.

- **Zona Este** en esta zona no se registran eventos de inundación leves sobre el paseo marítimo sin embargo las construcciones (Viviendas) que se encuentran frente al mismo han sufrido graves daños por el oleaje, algunas viviendas han optado por la construcción de obras de defensa costera para reducir la vulnerabilidad y los daños.



Figura 31 Daños por evento de inundación (Zona Este)

4.3.2.FORMA DEL PERFIL Y TAMAÑO DEL SEDIMENTO

En el siguiente apartado se muestra la forma de cada perfil, pendiente y tamaño de sedimento asociado al perfil.

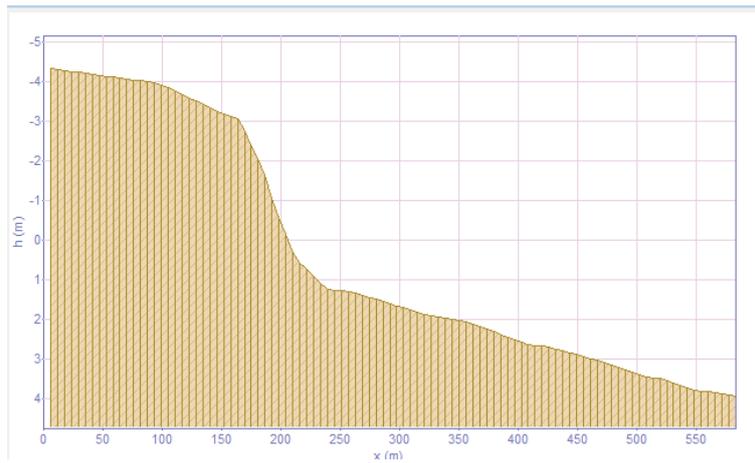


Figura 32.- Perfil de Inundación 1

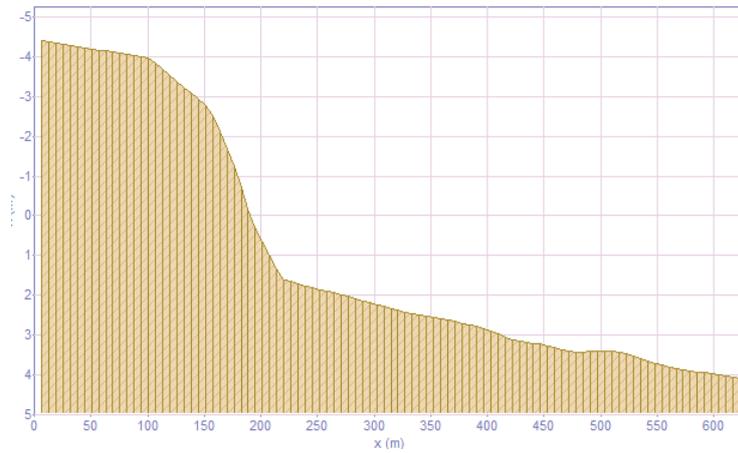


Figura 33.- Perfil de Inundación 2

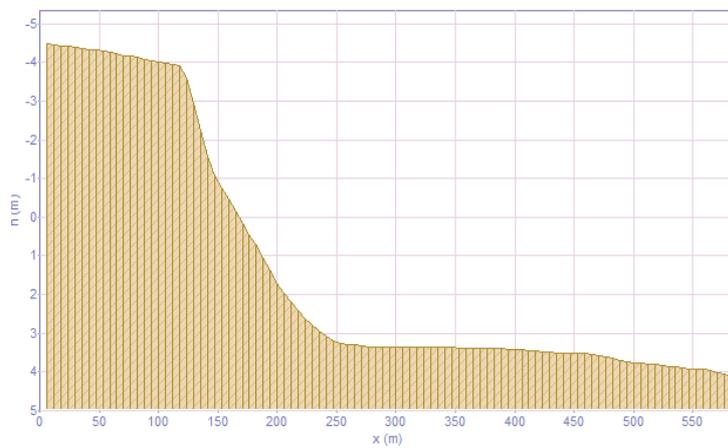


Figura 34.- Perfil de Inundación 3

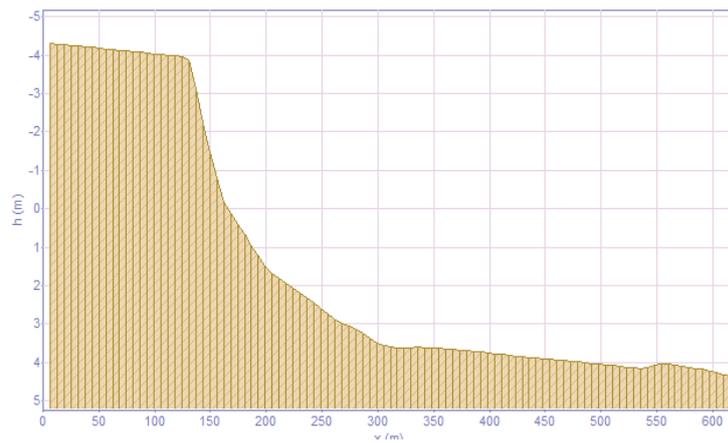


Figura 35.- Perfil de Inundación 4

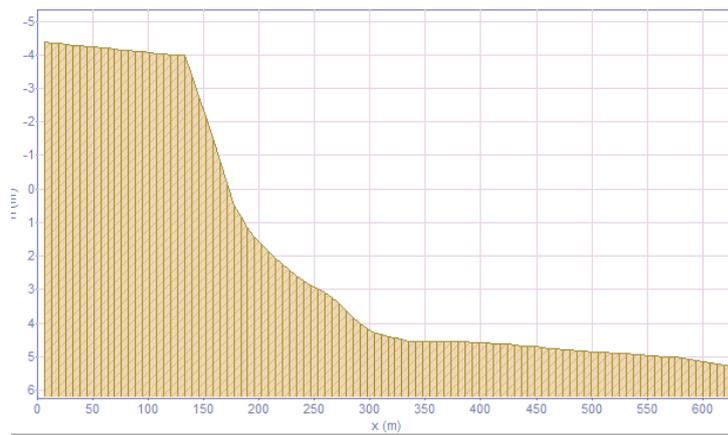


Figura 36.- Perfil de Inundación 5

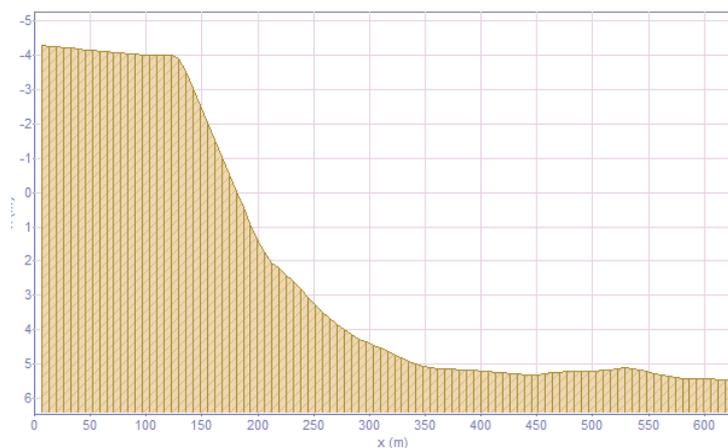


Figura 37 Perfil de Inundación 6



Figura 38.- Perfil de Inundación 7

Se puede observar que cada perfil posee una forma distinta, sin embargo, analizando profundamente se puede encontrar rasgos comunes entre ellos; por ejemplo, el perfil 1 y 2 tiene una mayor extensión de playa seca por lo cual la playa en ese sector cumple a cabalidad su función de defensa de borde costero, en la parte central no existe una cantidad muy grande de playa seca al igual que en la zona oeste. A manera de resumen se presenta a continuación la Tabla 3 con los valores de pendiente y D50 asociados a cada perfil.

PERFILES DE INUNDACIÓN

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
TAN B	0.016	0.016	0.018	0.018	0.018	0.020	0.020
D50 (MM)	0.14	0.14	0.20	0.20	0.20	0.18	0.18

Tabla 3.- Parámetros de pendiente y tamaño de grano asociados a cada perfil.

4.3.3.RESULTADOS

Una vez analizados los resultados se procede a denominar a toda la zona de estudio como ZONA A (ver Figura 39) y a cada subdivisión A1, A2 y A3; estas subdivisiones representarán respectivamente la Zona Oeste, Zona Central y Zona Este:

A1: Se encuentra ubicado en el sector oeste de la playa de San Lorenzo, presenta una

pendiente suave y valores de D50 (0.14 mm) este sector engloba los Perfiles 1 y 2.

A2: Se encuentra ubicado en el sector central de la playa de San Lorenzo, presenta una pendiente fuerte y valores de D50 (0.14 mm) un poco más alto y en este lugar se presentan los eventos de inundación más grandes observados este sector engloba los Perfiles 3, 4, y 5.

A3: Se encuentra ubicado en el sector este de la playa de San Lorenzo, presenta una pendiente fuerte y se encuentra altamente influenciado por un sector rocoso que queda expuesto en baja mar y valores de D50 altos (0.2 mm), correspondientes a una arena gravosa, esta área actúa en forma de barrera o defensa ante eventos de inundación este sector engloba los Perfiles 6 y 7.

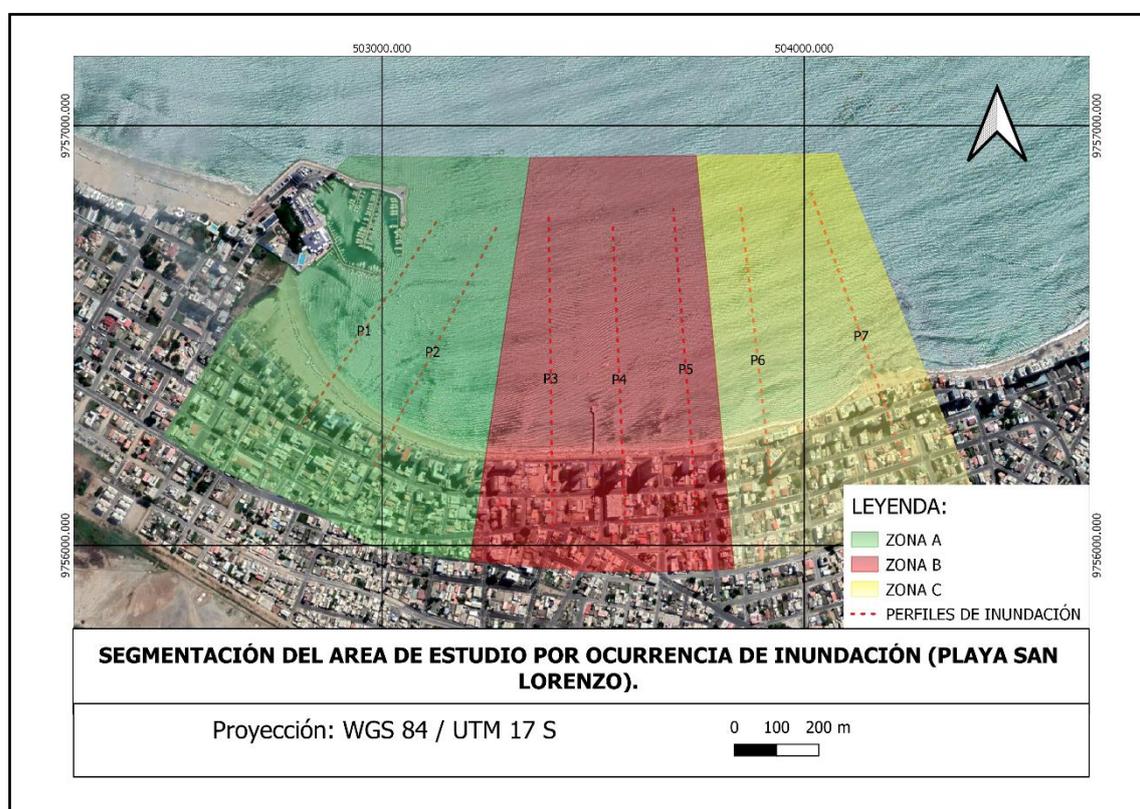


Figura 39.- Clasificación por Segmentos de la Zona de Estudio.

CAPÍTULO 5

DINÁMICA MARINA

5. DINÁMICA MARINA

5.1. INTRODUCCIÓN

El inicio de esta metodología parte con el análisis del oleaje en aguas profundas. Una vez conocido o caracterizado el régimen medio y extremal del oleaje en el origen del dominio (punto de la base de datos GOW), se seleccionan y trasladan los estados de mar hasta la zona de interés (Camus et al., 2011). Seguidamente, como los estados de mar tienen varias dimensiones (H_s , T_p , Dir , W , θ), para obtener la selección del dato representativo para la propagación, se aplica un algoritmo de máxima disimilitud (MDA) que permite extraer el subconjunto de representativos de estados de mar en aguas profundas (Camus et al., 2011).

En este capítulo se analizará la dinámica marina, este análisis se centra el detalle el Oleaje, Marea Astronómica y Marea Meteorológica (dinámicas influyentes), todos estos elementos son aquellos que influyen directamente en el resultado de la CI.

OLEAJE:

El oleaje es generado por el viento de una tormenta/borrasca en mar abierto que, debido a la aleatoriedad de las velocidades y las fuerzas del viento, puede abarcar un amplio rango de frecuencias. Los datos de reanálisis de oleaje para este estudio son proporcionados por el IH CANTABRIA y se componen de Altura de Ola significativa (H_s), periodo pico (T_p), periodo medio (T_m), dirección (Dir) y el registro horario de ellos, estos componentes servirán para realizar el cálculo de la CI una vez las dinámicas antes mencionadas sean transferidas a pie de playa.

MAREA ASTRONÓMICA:

La Marea Astronómica (MA) representa variaciones en el nivel del mar asociada a un fenómeno común y predecible como lo es el astronómico, producto de la fuerza causada por la atracción gravitacional de la Luna, y en menor grado, del Sol. Los datos de reanálisis de la serie GOT fueron proporcionados por el IH CANTABRIA.

MAREA METEOROLÓGICA:

La Marea Meteorológica se define como el aumento episódico de la altura del mar en un determinado lugar causado por condiciones meteorológicas extremas. Los datos de reanálisis de la serie GOS fueron proporcionados por el IH CANTABRIA.

5.2. OLAJE

5.2.1. OLAJE EN PROFUNDIDAD INDEFINIDA

Este apartado servirá como soporte analítico y estadístico de los datos de reanálisis en aguas indefinidas que serán propagados hacia aguas intermedias durante hasta la zona de estudio.

5.2.1.1. FUENTE DE INFORMACIÓN

El IH Cantabria genera los reanálisis de oleaje globales con el modelo WaveWatch3 versión 4.18, el cual es un modelo de oleaje de tercera generación capaz de simular la generación y propagación de oleaje a nivel global desde 1979 hasta el 2019. Esta versión se caracteriza por ejecutar simultáneamente varias mallas utilizando un anidamiento bidireccional. La resolución espacial del reanálisis global GOW2 es de 0. 25º en longitud y 0. 25º en latitud en área costeras y los resultados fueron validados con registros de 167 boyas distribuidas en distintos océanos y con datos de altímetros satelitales con información disponible desde el año 1992, en base a ese proceso de validación, se ha presentado la estimación de la altura de ola para un periodo de retorno de 50 años a nivel global. Cabe señalar que estos datos son considerados como una fuente de información útil y válida para este tipo de estudios. Se espera que las futuras versiones de reanálisis de oleaje tengan una mejor resolución e incorporen datos de corriente, marea, batimetría y línea de costa. (Pérez, Menéndez, & Lozada, 2017)

5.2.1.2. INFORMACIÓN DISPONIBLE

El IH CANTABRIA proporcionó para el presente estudio dos puntos GOW ubicados cerca de la zona de estudio; que serán denominados GOW 1 para el punto más al sur y GOW 2 para el punto más al norte.

UBICACIÓN (Figura 40):

Gow 1; Latitud = 2° 25.000'S; Longitud= 81° 25.000'W; serie temporal= 01 /02/1979 hasta 31/12/2008 (262248 registros).

Gow 2; Latitud = 2° 0.000'S; Longitud= 81° 000'W; serie temporal= 01 /02/1979 hasta 31/12/2008 (262248 registros).

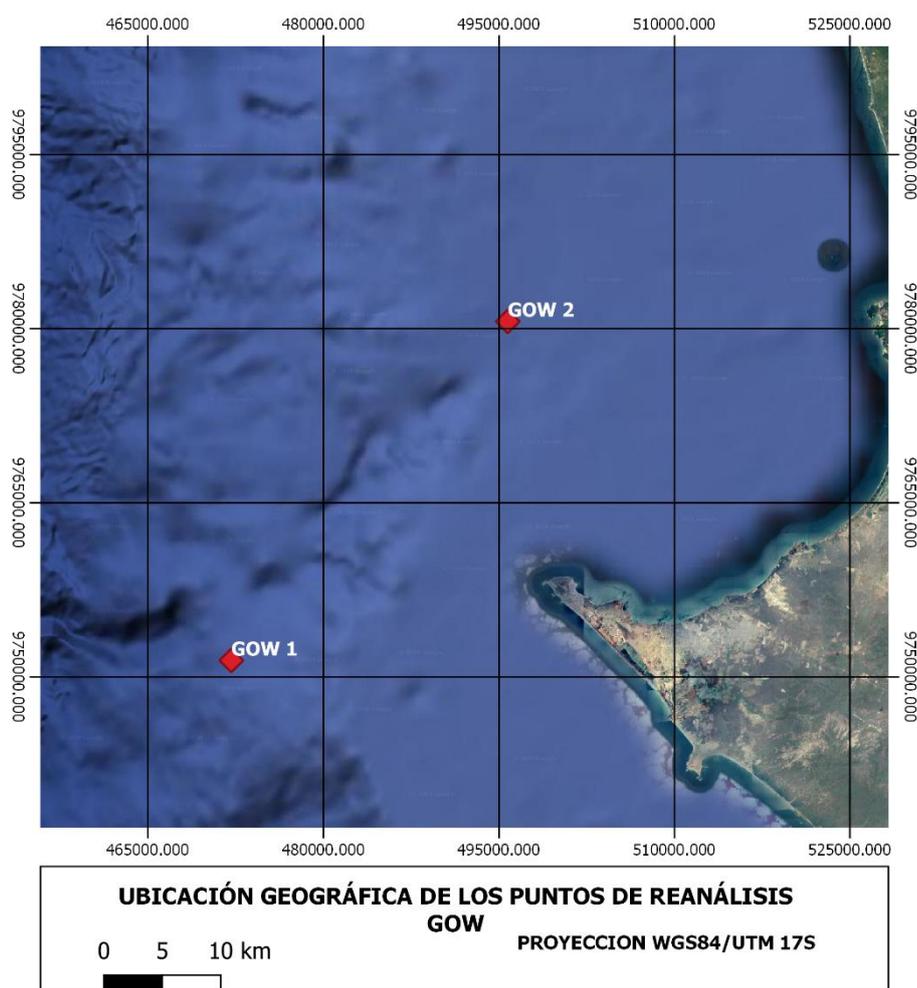


Figura 40.- Ubicación Geográfica de los puntos de reanálisis GOW1 y GOW 2

5.2.1.3. SELECCIÓN DE PUNTO

En este apartado se explicará la del por qué razón se ha seleccionado el Punto GOW 1 para el desarrollo de este trabajo.

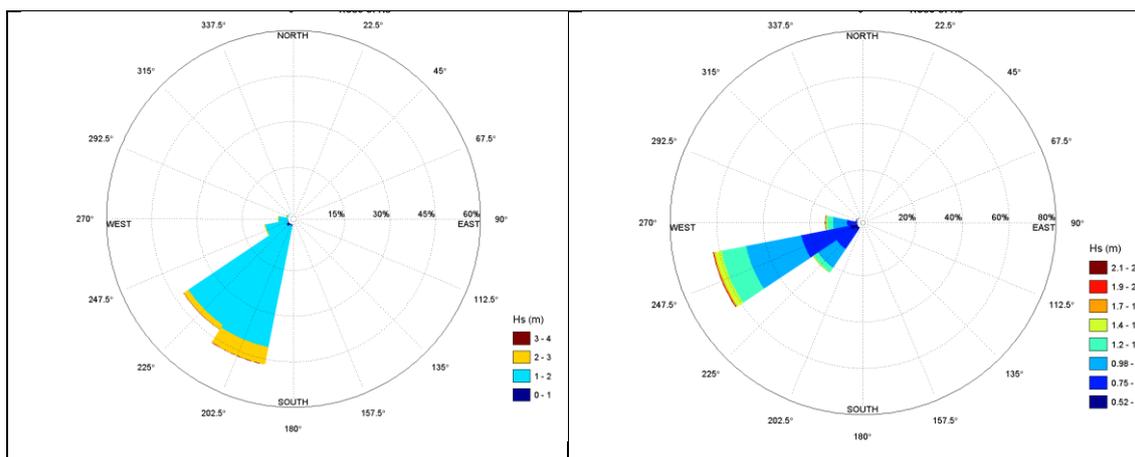


Figura 41.- Rosas de Oleaje del Punto GOW 1 y GOW 2

Como se puede observar en la Figura 41, el punto GOW 2 que se encuentra más al norte de la zona de estudio y tiene una componente reinante WSW lo que imposibilita en primera instancia que este oleaje incida sobre la playa y así lograr una propagación eficiente. Por su parte, se tomó la decisión de realizar las propagaciones desde el GOW 1 ya que sus componentes reinantes se encuentran ubicadas en el sector SSW y pese a que esto implica que el oleaje se difracte demasiado para alcanzar la zona de estudio se pretende lograr esta meta con una propagación previa hasta aguas intermedias (PC1) y finalmente propagar nuevamente el oleaje desde PC1 hasta la playa.

5.2.1.4. ANÁLISIS PUNTO GOW

El punto de reanálisis GOW 1 se encuentra ubicado a una profundidad de 125 metros, donde el oleaje todavía no ha experimentado interacciones con el fondo marino. Los estados de mar serán caracterizados analizando las variables que lo componen (ver Figura 42):

- Altura de Ola Significante (Hs)
- Periodo Pico (Tp)
- Dirección (Dir)

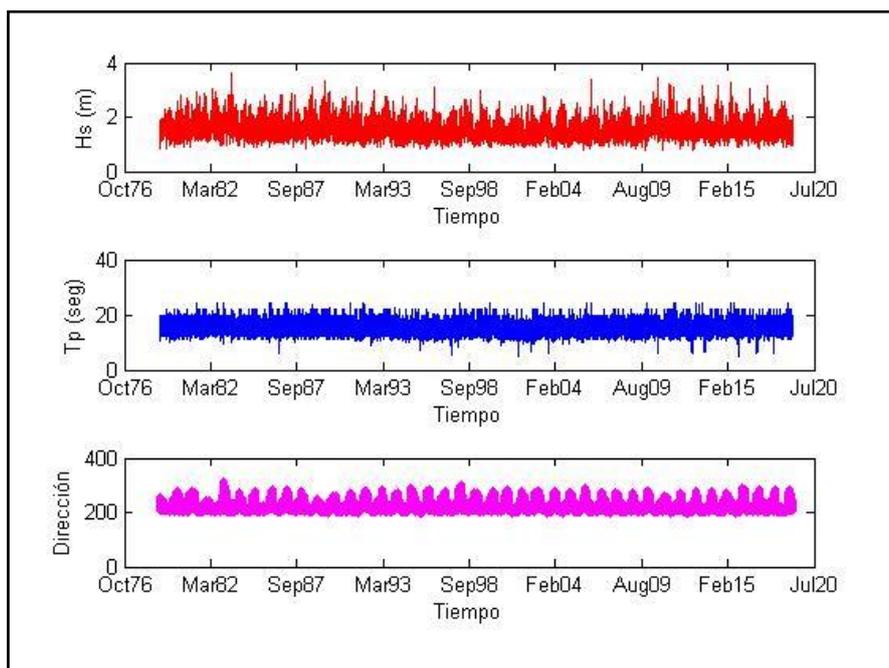


Figura 42.- Series de Hs, Tp y Dir del punto GOW

Variable	Máximo	Mínimo
Hs (m)	3.6	0.77
Tp (s)	24.4	4.8
Dir (°)	317.7	193.2

Tabla 4.- Tabla de Máximos y Mínimos de la serie de Hs, Tp y Dir del Punto GOW

Para realizar la caracterización del oleaje en el punto GOW, se ha utilizado el software AMEVA.

RÉGIMEN DIRECCIONAL

El estudio del régimen direccional se realizará de la siguiente manera: en primer lugar, se representa la serie temporal de oleaje proporcionada por el punto GOW con la que podemos estimar en que rango de magnitudes de altura de oleaje.

Posteriormente, pasamos a analizar mediante rosas de altura de ola y de periodos, para verificar que componentes tienen la mayor probabilidad de ocurrencia (reinales) y cuáles son los de mayor intensidad (oleajes dominantes).

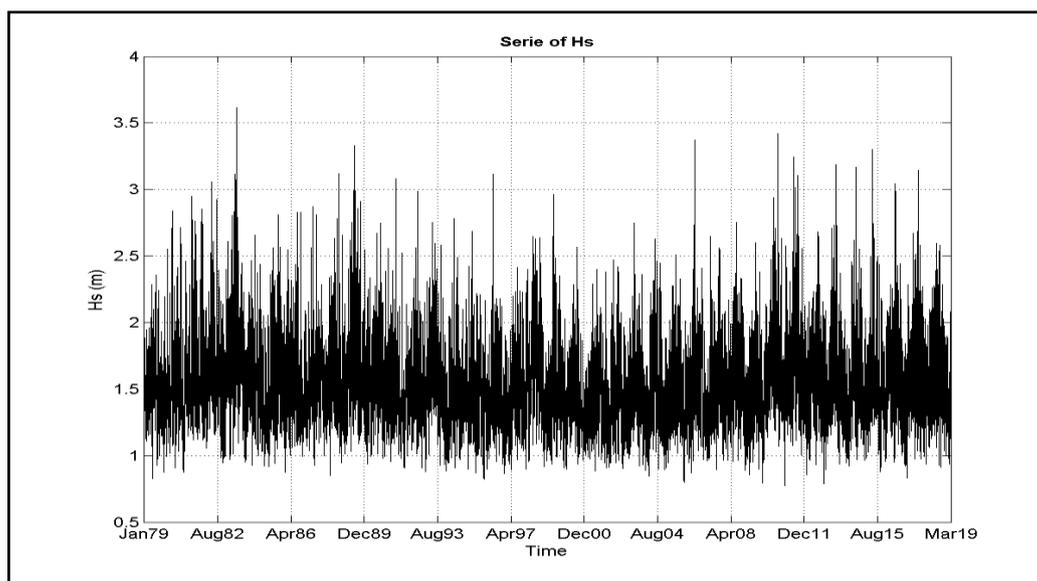


Figura 43.- Serie Horaria de Altura de Ola Significante.

Analizando la Figura 43 anterior apreciamos que los valores medios se encuentran entorno a los 1.5 metros de altura de ola significativa con diferentes picos a lo largo de los años que corresponden con periodos de temporales, en estos temporales la altura de ola significativa supera los 3 metros de altura.

En la Figura 44, se observa que el oleaje reinante y dominante en alta mar proviene del SSW, con la mayor probabilidad de ocurrencia. Estos oleajes son los más energéticos por lo que es fundamental estudiar correctamente su comportamiento. Por su parte los oleajes provenientes del SW, WSW, W, WNW se propagan hacia la costa con menor probabilidad de ocurrencia, aunque eventualmente alcanzarán la zona de estudio su magnitud será menor comparando con los oleajes provenientes del SSW.

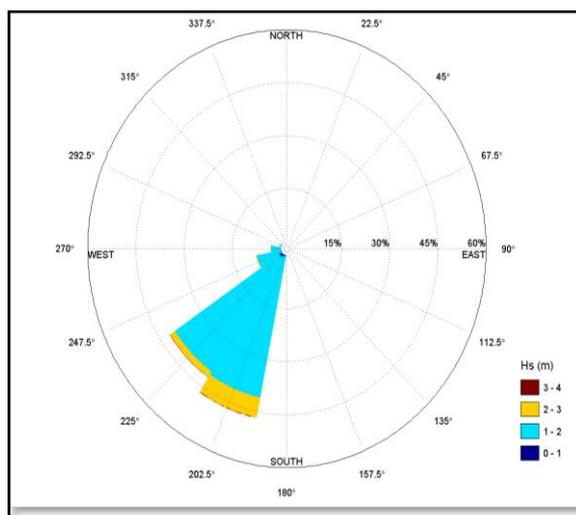


Figura 44.- Rosa de Oleaje de Altura de Ola Significante del GOW (Hs)

Como se puede apreciar en la

Tabla 5, el mayor porcentaje de probabilidad de ocurrencia se encuentra en el sector SSW con un 44 % y una Hs 12 de 3.02 metros, es decir los oleajes que provienen en esta dirección deberán refractarse cerca de 140° con la finalidad de incidir sobre la playa, y es por este motivo que se procederá a definir un nuevo punto de control de profundidades intermedias que permitan superar las limitaciones numéricas del Programa Oluca.

En cuanto al periodo, en todos los casos son valores muy altos tanto en régimen medio y extremal, que permiten intuir que provienen de un oleaje tipo Swell formado en el Pacífico Sur.

	PORCENTAJE %	HS_50 (M)	TP_50 (S)	HS_12 (M)	TP_12 (S)
SUR	0				
SSW	44.59	1.56	13.57	3.02	17.87
SW	42.83	1.42	13.59	2.55	16.53
WSW	8.41	1.39	14.86	2.51	16.41
OESTE	3.54	1.44	15.04	2.46	17.68
WNW	0.63	1.70	16.65	2.61	17.86
NW	0.01	1.68	10.85	1.77	11.20
NNW	0				

Tabla 5.- Datos estadísticos del Oleaje GOW

Así mismo se puede observar en la Figura 45 que los valores de altura de ola máxima se encuentran en los meses de Junio Julio y Agosto.

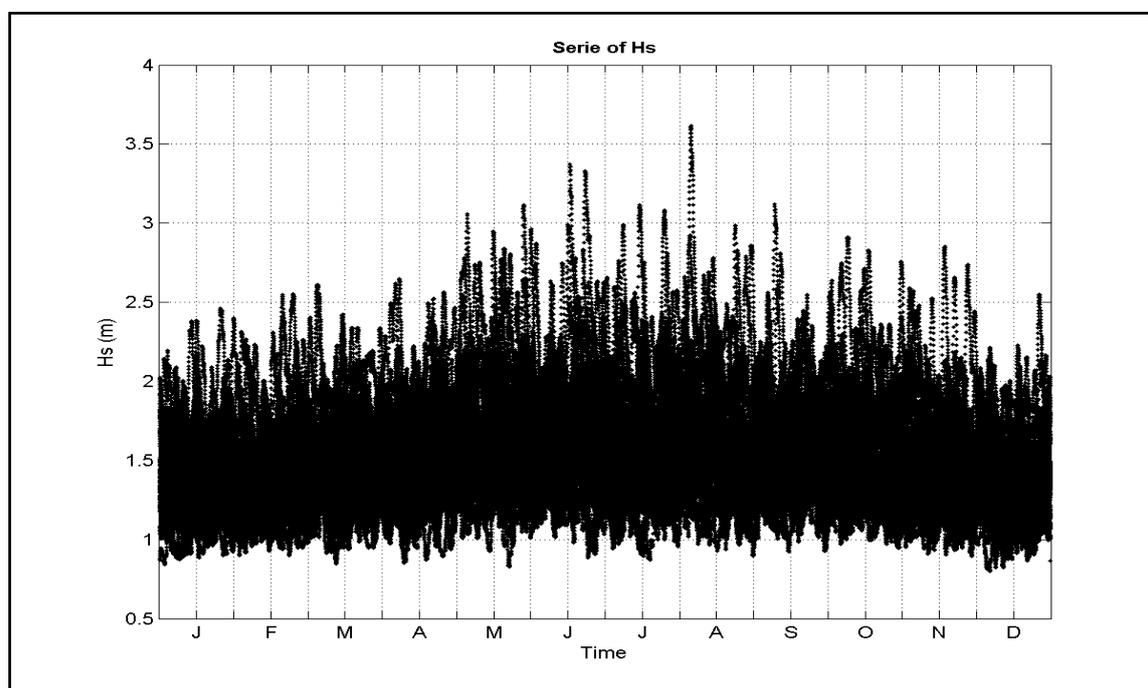


Figura 45.- Altura de Ola Significante GOW mensual.

Los oleajes con altura de ola significativa superior a 3.25 metros muestran un comportamiento estacional que concuerda con el invierno en el hemisferio sur, por ende, en estos meses invernales es lógico encontrar las Hs más grandes de toda la serie temporal.

RÉGIMEN EXTREMAL

En este apartado se describe la metodología seguida para la obtención de los regímenes extremales direccionales de oleaje, en profundidades indefinidas. Dicha función expresa la probabilidad de que un valor dado no sea superado en un periodo de tiempo prefijado.

En la Figura 46, se representa la función ajustada de General Extream Values, los puntos corresponden con los valores empíricos de los máximos, y las líneas de puntos representan los intervalos de confianza del ajuste del 95%.

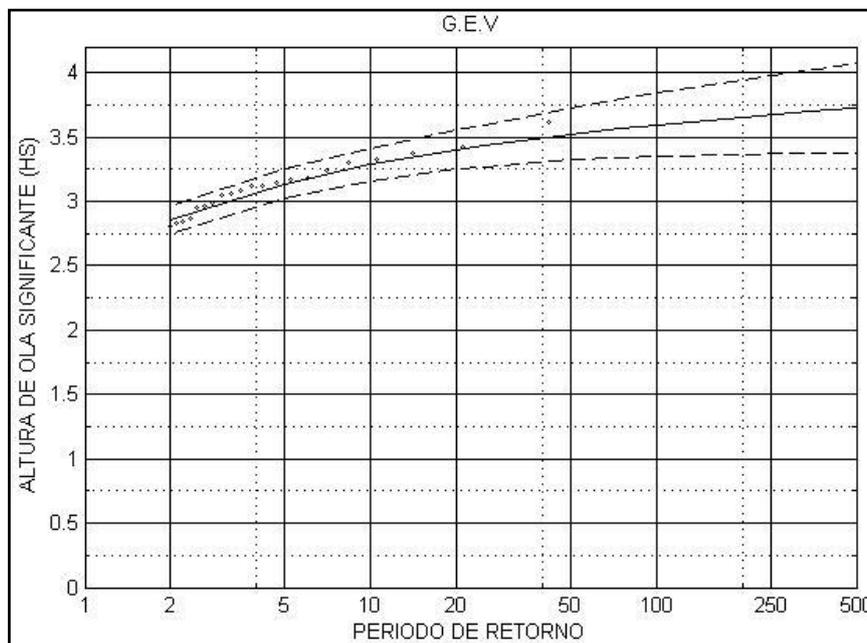


Figura 46.- Distribución del Régimen Extremal Escalar.

5.2.2. OLAJE A PIE DE PLAYA

5.2.2.1. INTRODUCCIÓN

En este apartado se describirá todo el proceso de propagación de oleaje desde aguas indefinidas hasta los siete perfiles de la Zona de estudio. Luego de obtener las series (Hs, Tp y Dir) en los puntos anteriormente indicados se realizará el cálculo de la CI para cada uno de ellos.

5.2.2.2. METODOLOGÍA

La metodología para aplicarse en la propagación del oleaje hasta el pie de playa será la metodología del IH-CANTABRIA conocida como **downscaling** o regionalización, descrita en el Capítulo 3 Metodología (Transferencia de Dinámicas). Esta es una metodología que realiza los procesos de transformación de oleaje y aumento de la resolución espacial, es decir, trata de generar series de datos de onda costera horaria emulando las

características de las bases de reanálisis mediante el downscaling (técnica de interpolación) y así reduce el tiempo computacional; para ello sigue el siguiente procedimiento:

- Selección de Casos
- Propagación de Casos
- Reconstrucción de la serie en puntos objetivo.

5.2.2.3. ESTRATEGIA DE PROPAGACIÓN

Como fue explicado anteriormente los oleajes reinantes y dominantes del punto GOW no pueden incidir por limitaciones del modelo hasta la zona de estudio, para ello se definió una estrategia de propagación que consiste en llevar el oleaje desde GOW1 hasta un punto de control definido en profundidad intermedia (PC1), y desde esta reconstrucción propagar el oleaje hasta pie de playa.

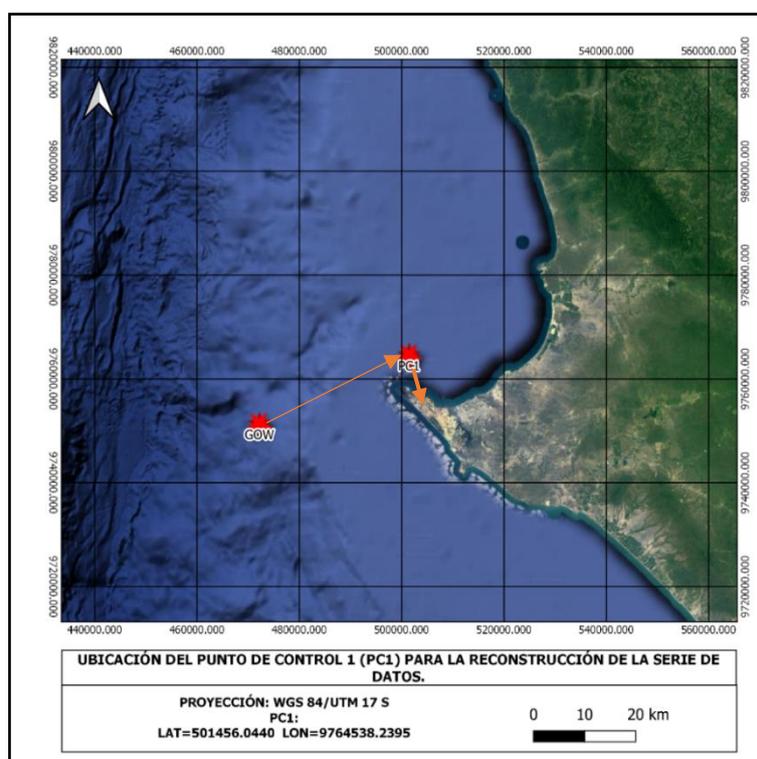


Figura 47.- Localización PC1.

5.2.2.4.RESULTADOS DE LAS PROPAGACIONES

A continuación, se presentan el resultado de las propagaciones por fase, es decir, la primera fase será la propagación desde GOW 1 hasta PC1 y en la segunda fase se mostrarán los resultados de las propagaciones desde PC1 hasta los puntos a pie de playa.

5.2.2.4.1. FASE 1:

- **Selección de Casos**

La base de datos en profundidades indefinidas (Hs, Tp y Dir) fue homogenizada con el periodo temporal de congruencia del Nivel del Mar, este periodo congruente está constituido por 299292 registros horarios desde 1 de enero de 1979 hasta 31 de diciembre del 2008 (Figura 48). Al tener una gran cantidad de datos horarios la propagación de cada uno de estos estados de mar resultaría en un esfuerzo computacional muy elevado y es por ello por lo que es fundamental la clasificación (MDA), seleccionando casos representativos de todo el abanico de oleajes que inciden en la zona. Estos oleajes se propagan en las mallas ya definidas y posteriormente mediante la interpolación se reconstruye la serie completa en el área de interés.

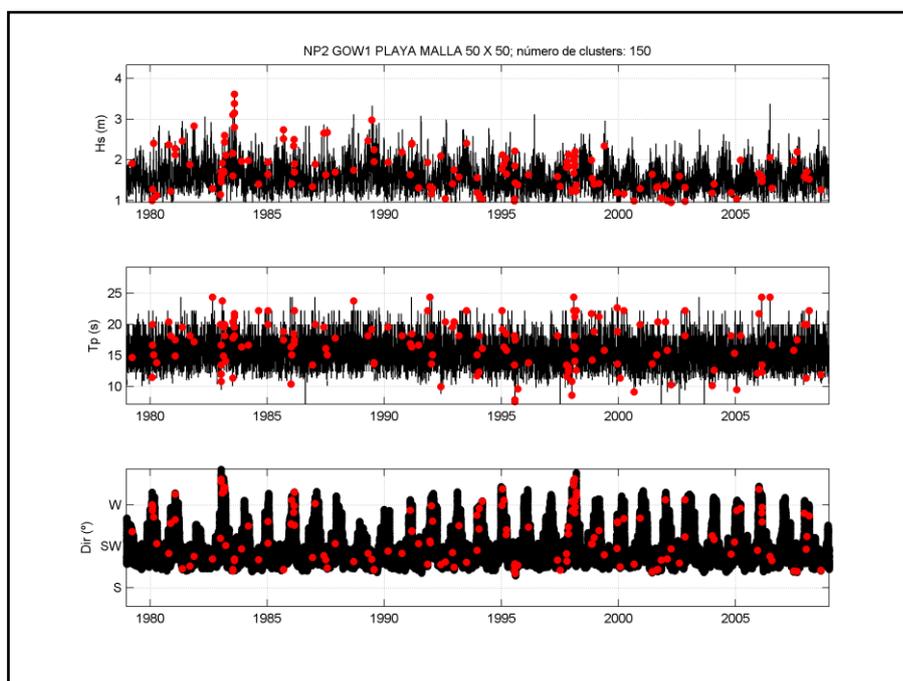


Figura 48.- Selección de Casos Representativos del GOW usando Max-Diss.

Para efecto de realizar correctamente la propagación se definió un número de $n = 300$ clústers. El detalle de los casos seleccionados se los puede observar en el **ANEJO A** adjunto. Al tener una marea mesomareal se han seleccionado 150 casos en pleamar y 150 en bajamar.

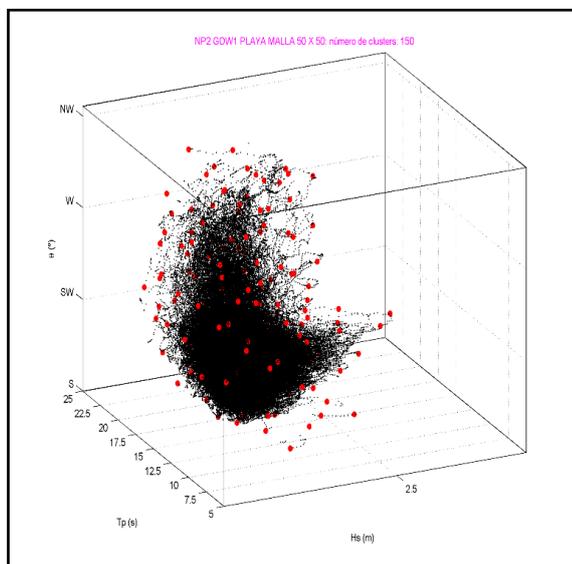


Figura 49.- Selección de Datos Representativos del Universo datos GOW.

- **Propagación de Casos**

Como paso previo para la propagación del oleaje es necesario definir las mallas de estudio sobre la batimetría de detalle que se desea realizar la propagación.

Por requerimiento del modelo utilizado, una de las alineaciones de la malla ha de coincidir con la dirección de propagación del oleaje, o estar comprendida en un ángulo no superior a $\pm 40^\circ$ respecto a dicha dirección. Por este motivo, y dada la configuración del área de estudio se han seleccionado tres mallas generales (Figura 50) de $D_x D_y$ de 50 metros para la correcta propagación de los estados de mar y su posterior reconstrucción en los Puntos de Interés.

Los oleajes en el punto GOW se encuentran en direcciones comprendidas desde el 194° hasta el 317° , por tal motivo se han elaborado 3 mallas orientadas al 220° , 282° y 292° que permitan ingresar los oleajes provenientes de todas las direcciones y así poder reconstruir la serie completa

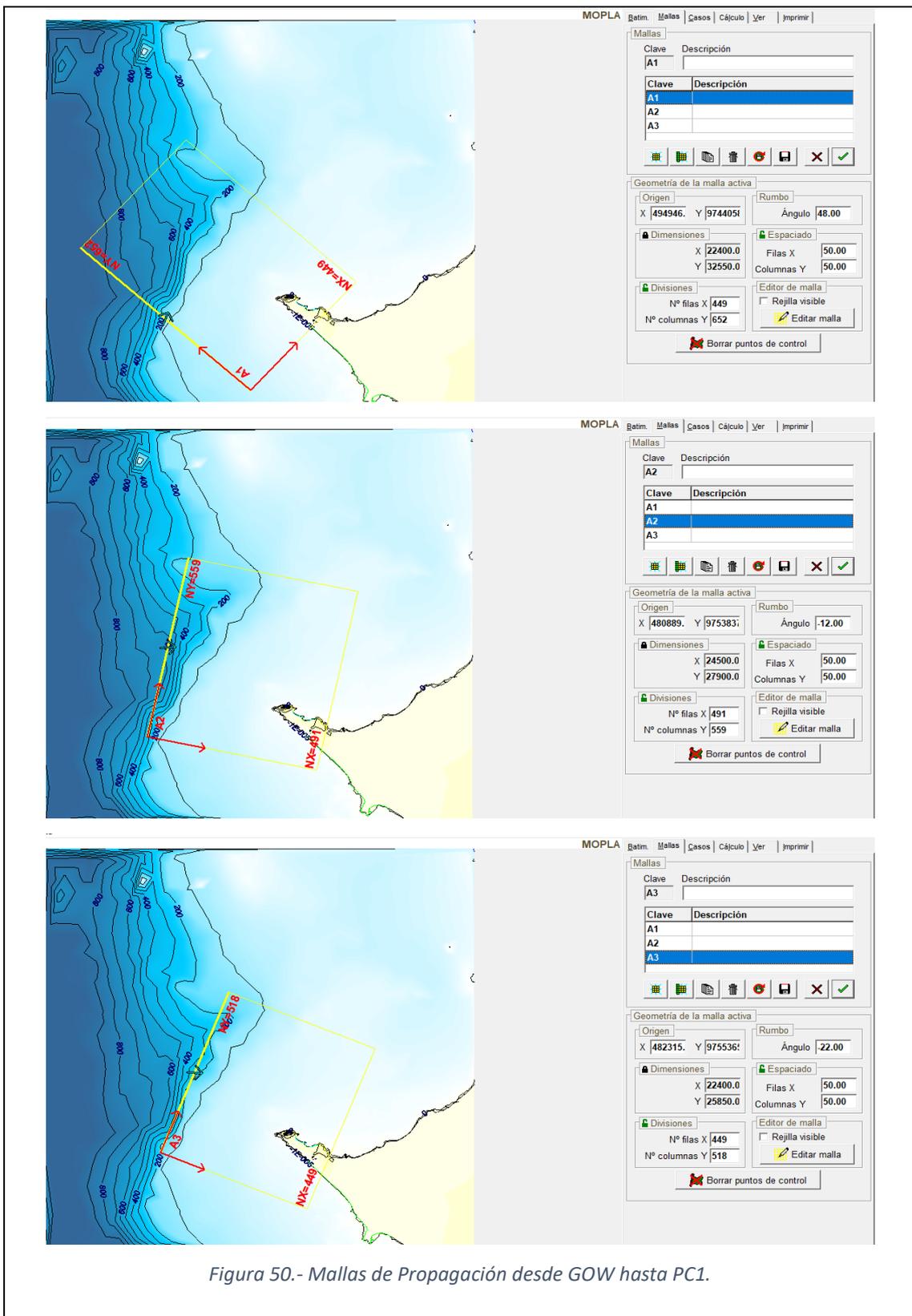
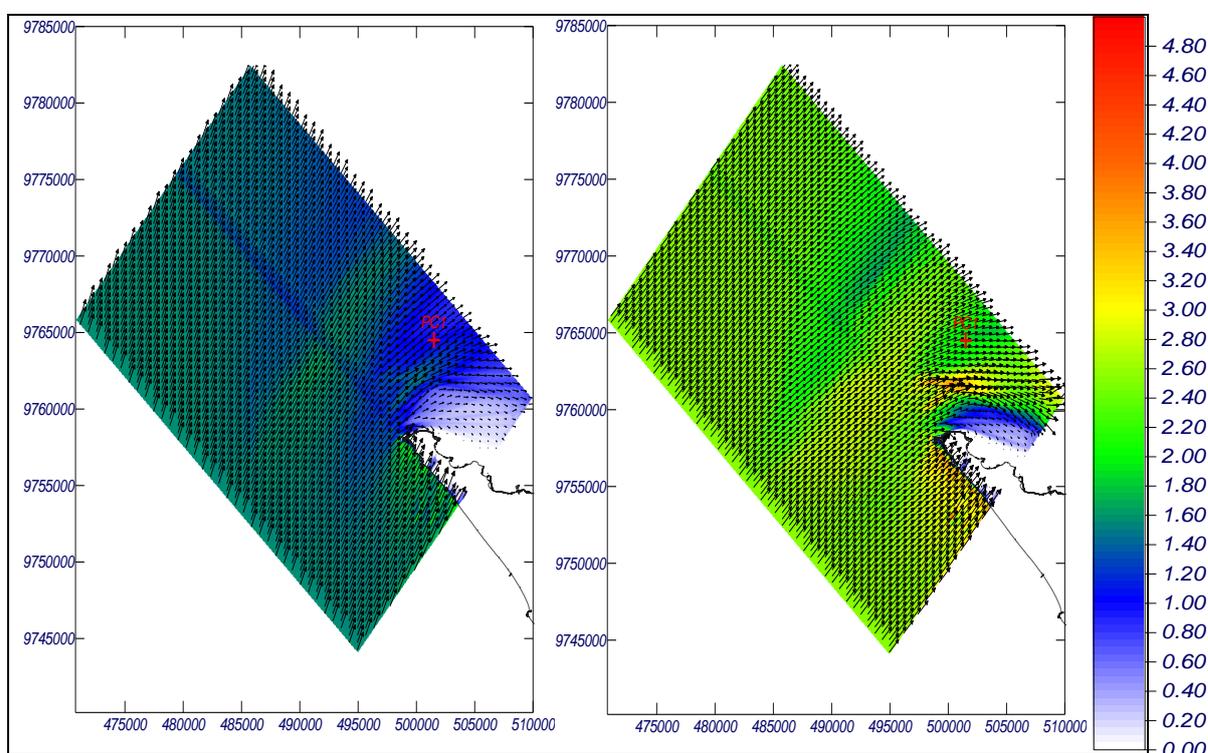


Figura 50.- Mallas de Propagación desde GOW hasta PC1.

En este apartado se mostrarán los casos más representativos de la tabla de datos estadísticas detallada en apartado 5.2.3, a continuación, se mostrarán las propagaciones de los oleajes del régimen medio y temporal para las direcciones SSW y SW que corresponden al 88% de los datos horarios de oleaje del GOW.

	Porcentaje %	Hs_50 (m)	Tp_50 (s)	Hs_12 (m)	Tp_12 (s)
SSW	44.59	1.56	13.57	3.02	17.87
SW	42.83	1.42	13.59	2.55	16.53

Tabla 6.- Tabla de datos estadísticos de oleaje reinante y dominante del GOW.



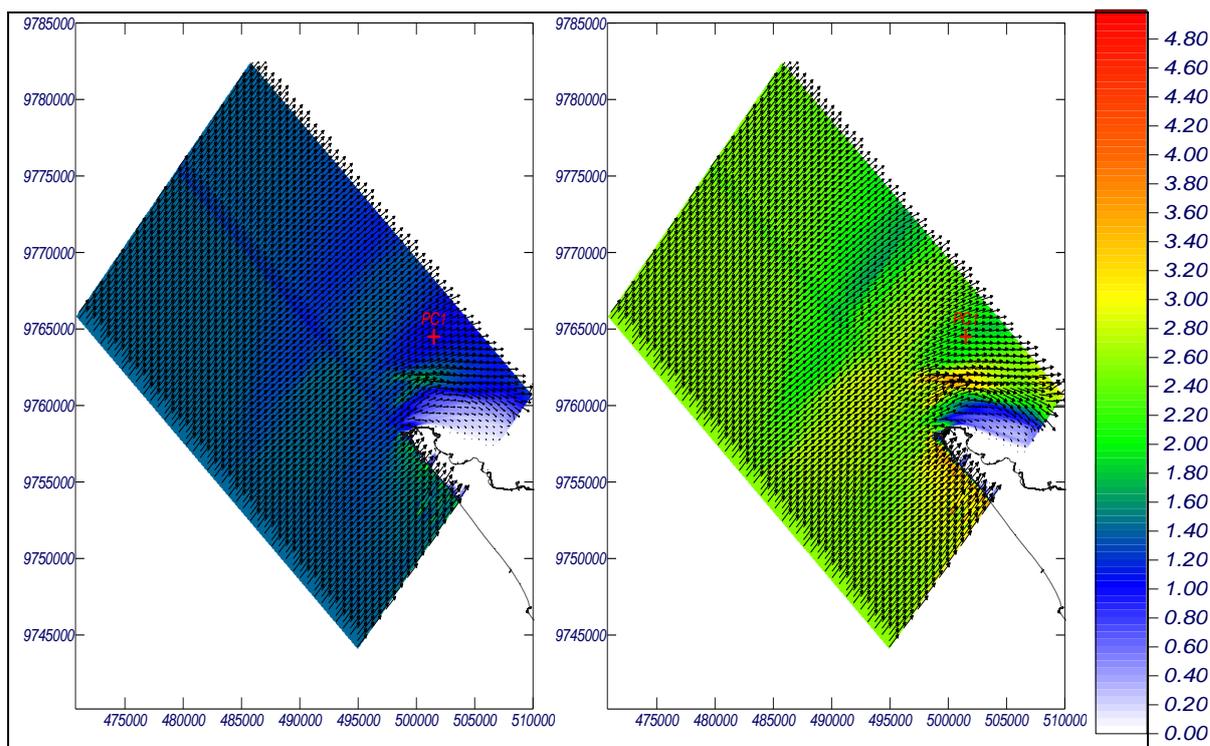


Figura 51.- Propagación Régimen Medio y Extremal de Oleajes provenientes del SSW y SW.

- **Reconstrucción de la Serie en punto objetivo (PC1):**

La Figura 52, muestra gráficos del análisis descriptivo de los datos de oleaje para el punto PC1 utilizado en el presente trabajo.

- Cuadro A presenta la localización geográfica del punto del dato.
- Cuadro B representa el histograma de distribución de frecuencia.
- Cuadro C la distribución de frecuencias acumulativa.
- Cuadro E presenta la distribución entre altura significativa de onda (H_s) y periodo de pico (T_p).
- Cuadro D gráfico de rosa frecuencial de dirección del oleaje respectivamente.
- Cuadro F presenta el régimen extremal obtenido por medio del ajuste de los máximos anuales a una función GEV (*Gumbell Extreme Value*).

El oleaje predominante en la zona de estudio proviene mayoritariamente del Oeste, es decir la componente mayoritaria del SWS del GOW se ha refractado cerca del 60° , con sus casos más frecuentes entre 1.25 m y 1.75 m de altura de onda significativa (H_s), con un régimen medio representados por oleajes de 1.40 m (quantile 50%) con un periodo asociado de 14 s y en temporal oleajes de 2.23 m (H_{s12}) con un periodo asociado de 18 s.

Aún con relación al régimen extremal de oleaje, los períodos de retorno de los temporales del cantábrico para la zona varían desde 4.6 m para un período de 21 años hasta m para un período de 500 años, asociado a una banda de confianza del 95%

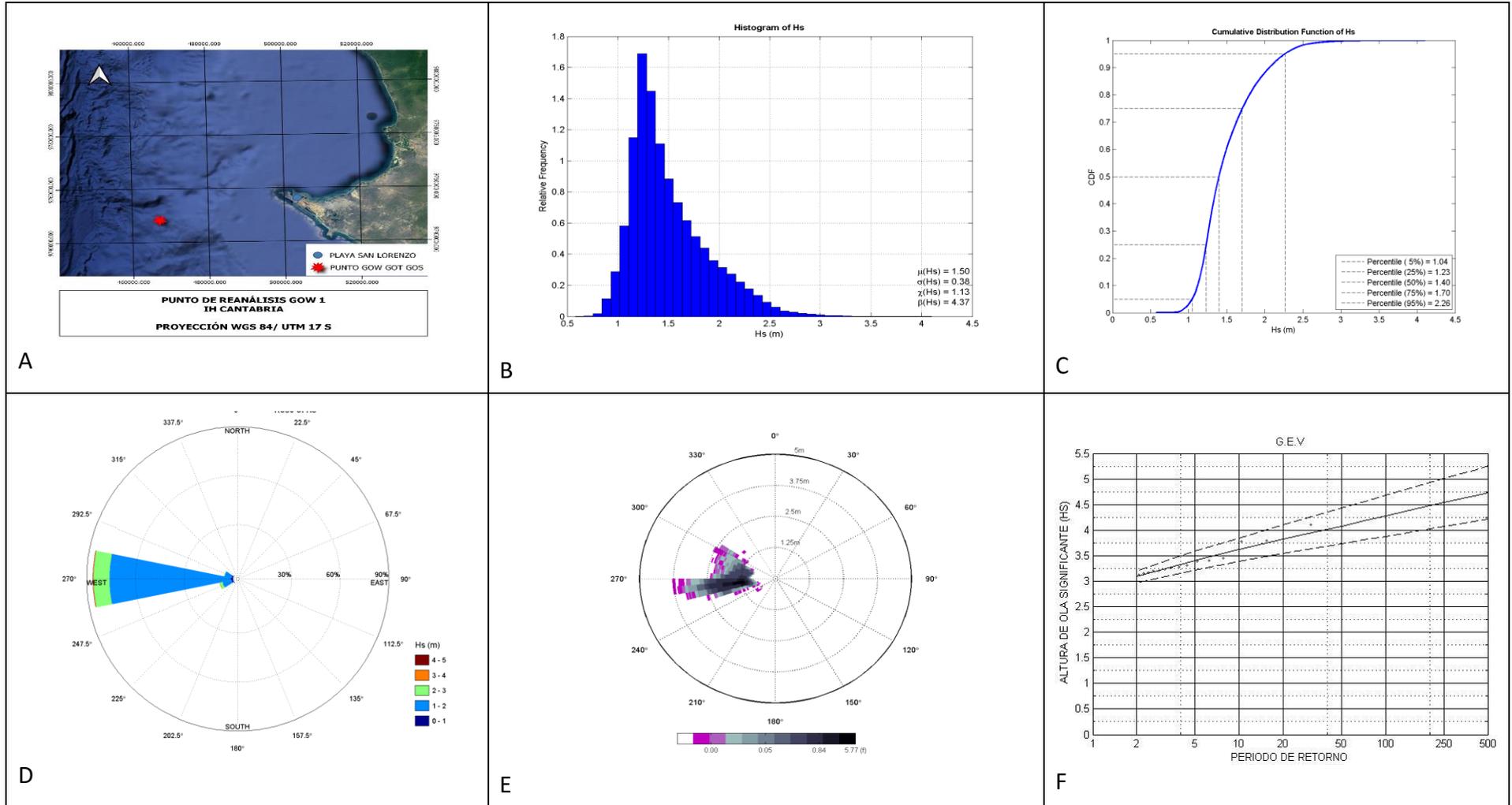


Figura 52.-Análisis descriptivo del régimen medio y extremal de los datos de Oleaje (PC1)

5.2.2.4.2. FASE 2 (PC1 hasta la Playa)

- **Selección de Casos**

Para efecto de realizar correctamente la propagación se definió un número de $n = 300$ clústers. El detalle de los casos seleccionados se los puede observar en el **ANEJO B** adjunto. Al tener una marea mesomareal se han seleccionado 150 casos en pleamar y 150 en bajamar.

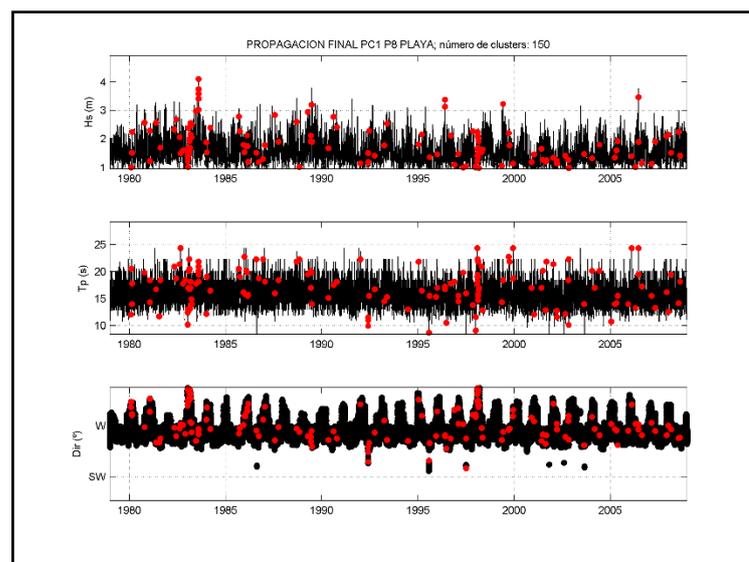


Figura 53.- Selección de Casos representativos mediante Max-Diss

- **Propagación de Casos**

Como segundo paso para llevar el oleaje hasta la zona de estudio fue seleccionar el denominado PC1, consecuentemente como parte de la metodología para propagar se definieron las nuevas mallas para la zona de estudio (ver Figura 62).

Por requerimiento del modelo utilizado, una de las alineaciones de la malla ha de coincidir con la dirección de propagación del oleaje, o estar comprendida en un ángulo no superior a $\pm 40^\circ$ respecto a dicha dirección. Por este motivo, y dada la configuración del área de estudio se han seleccionado 01 malla general de dimensiones $D_x D_y$ de 20 metros para la correcta propagación de los estados de mar y su posterior reconstrucción en los Puntos de Interés.

Los oleajes en el punto PC1 provienen mayoritariamente del oeste (85%), por tal motivo se han elaborado 1 mallas orientadas al 270º que permitan y garantice la correcta propagación hacia los 7 puntos de control en la playa. En la Figura 54, se observa la malla con orientación Oeste de esta forma se pueden propagar correctamente oleajes que provienen del W, WNW y WSW que se utilizó para realizar la segunda fase de la propagación.

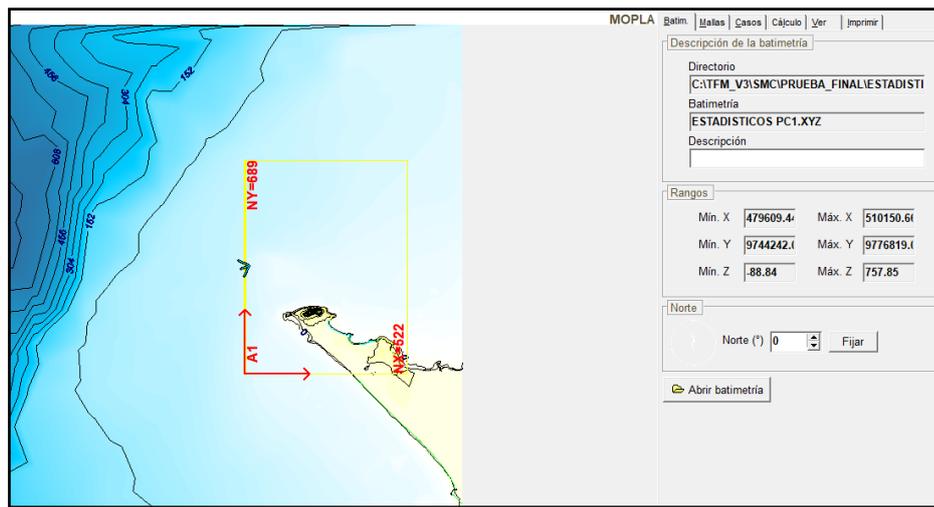


Figura 54.- Malla de Propagación para el PC1.

Los 300 casos seleccionados se propagarán internamente para su posterior reconstrucción en los 7 puntos de control que corresponden al inicio de los perfiles de inundación.

En este apartado se mostrarán los casos más representativos de la tabla de datos estadísticas detallada en el numeral 5.4, a continuación, se mostrarán las propagaciones de los oleajes del régimen medio y temporal para las direcciones OESTE y WSW que corresponden al 97.5 % de los datos horarios de oleaje del GOW.

	Porcentaje %	Hs_50 (m)	Tp_50 (s)	Hs_12 (m)	Tp_12 (s)
W	85.74	1.40	14.16	3.16	18.18
WSW	5.87	1.25	16.74	2.47	18.20

Tabla 7.- Datos estadísticos de Oleaje PC1

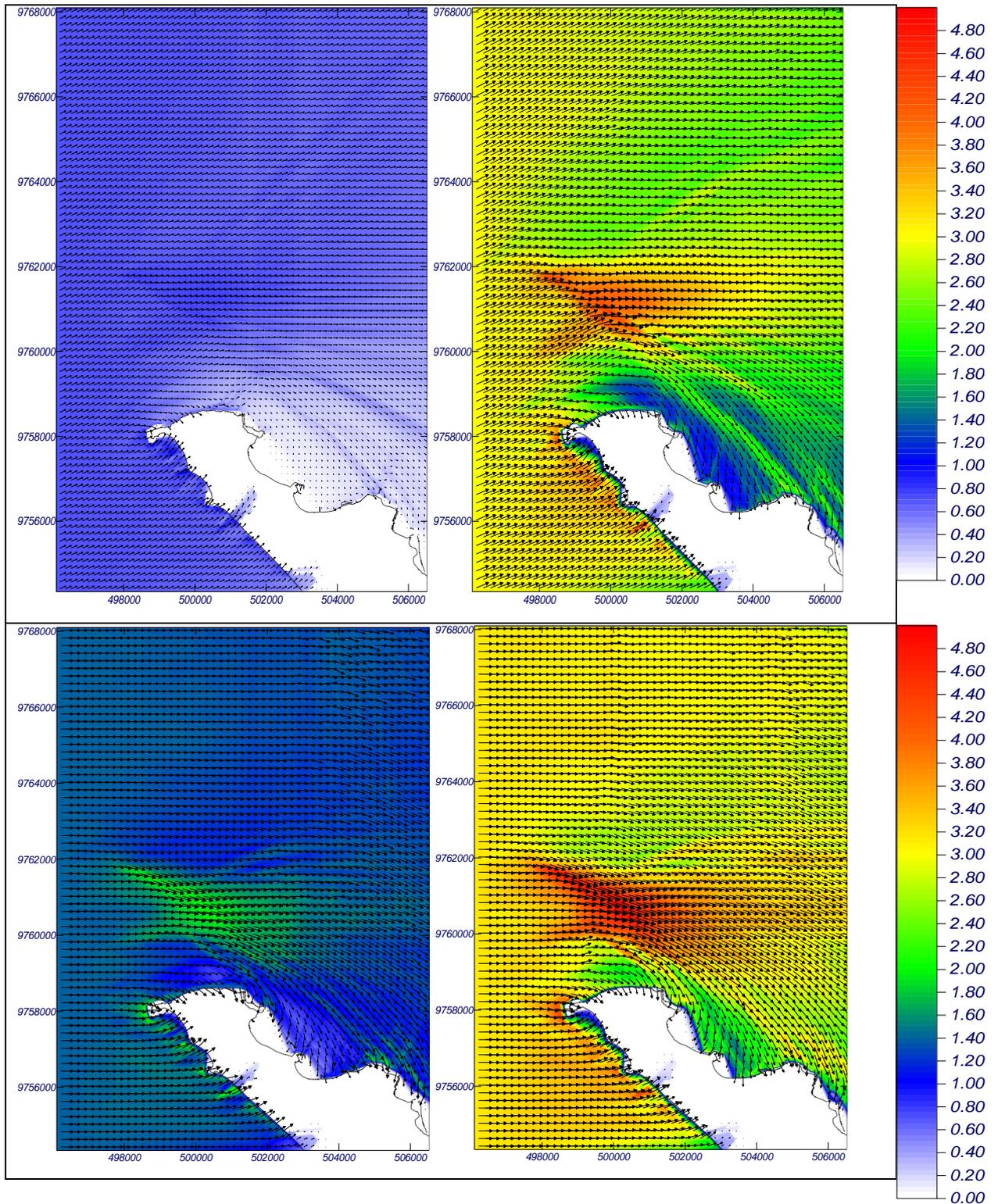
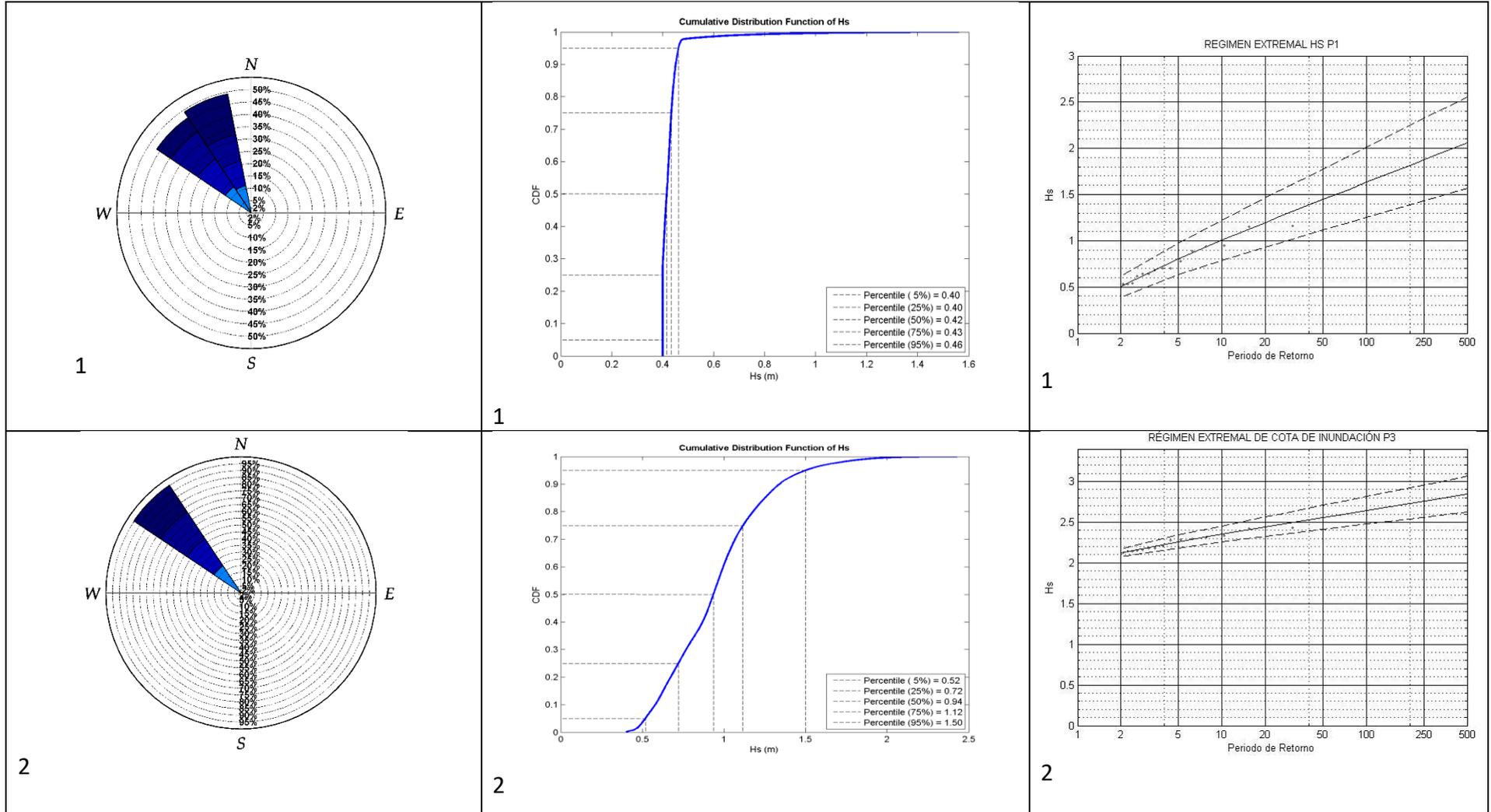
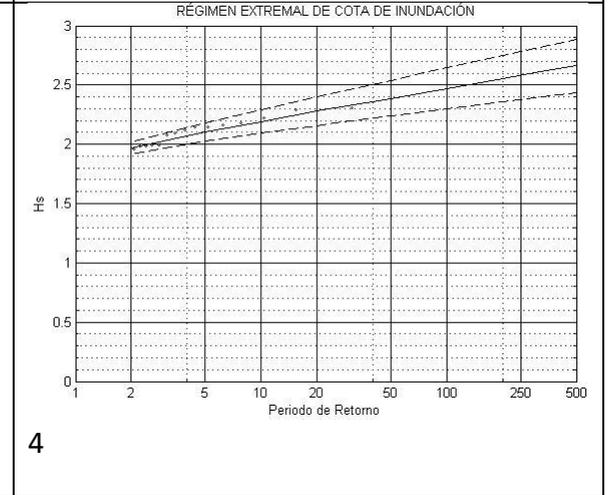
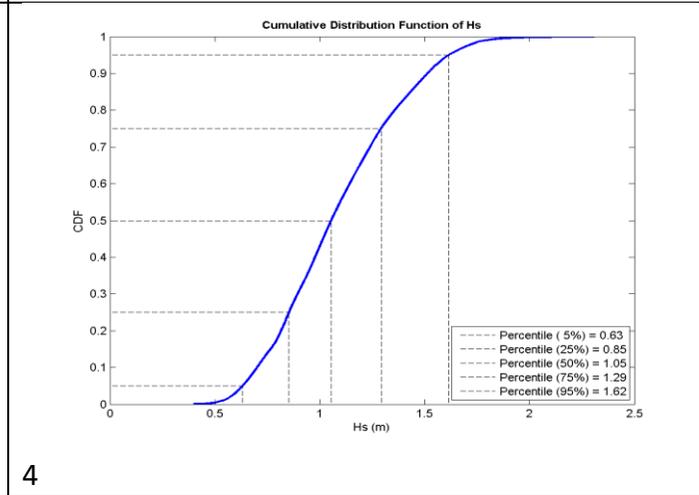
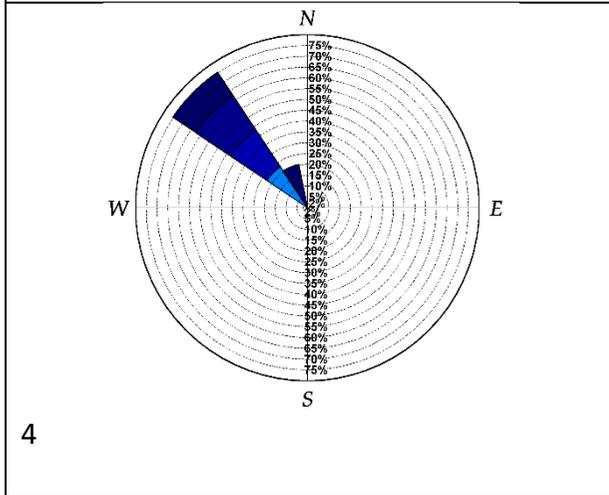
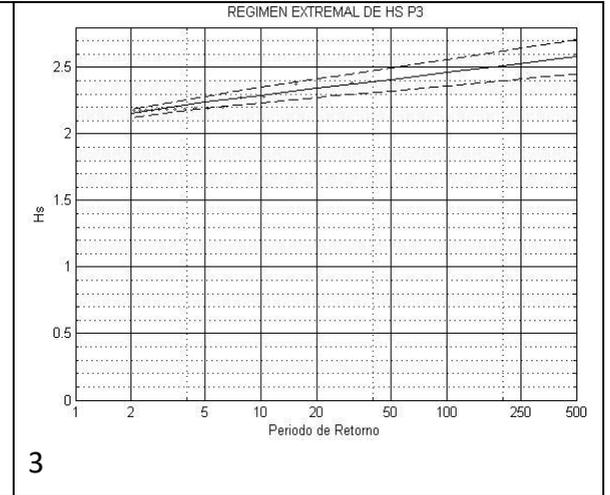
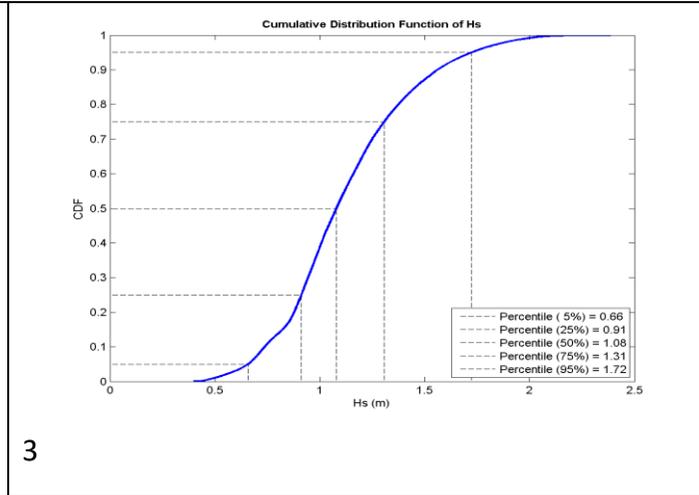
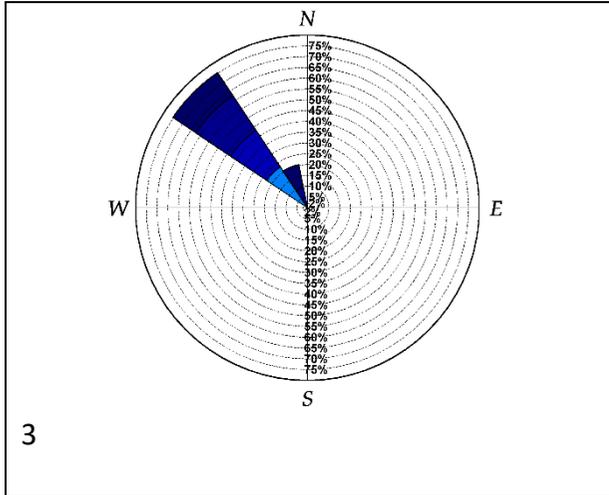
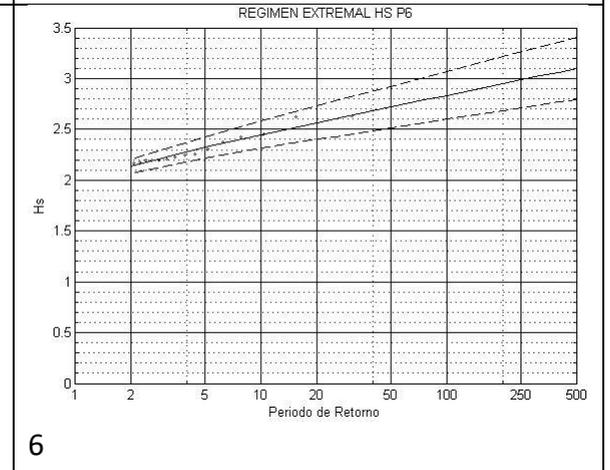
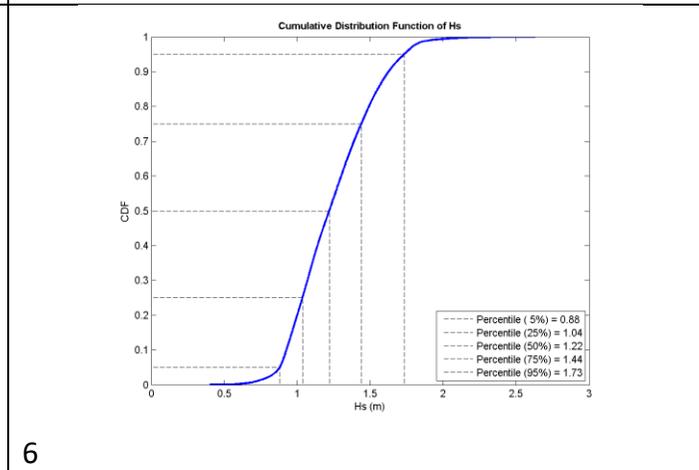
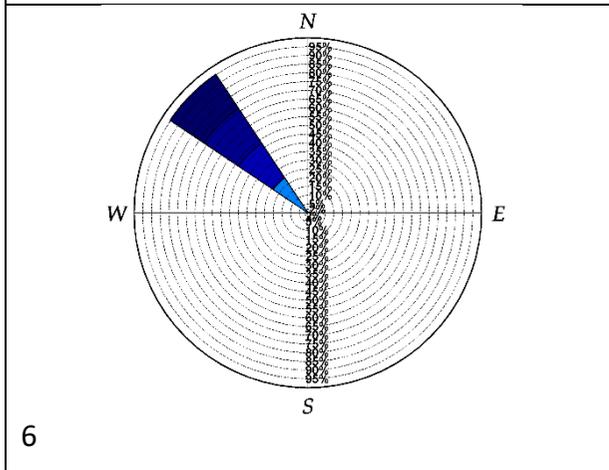
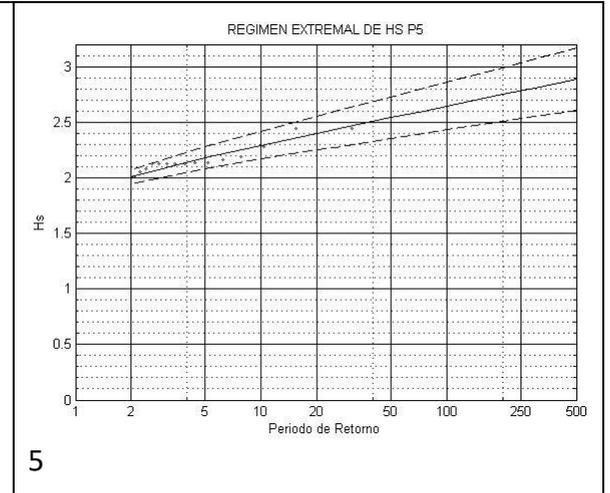
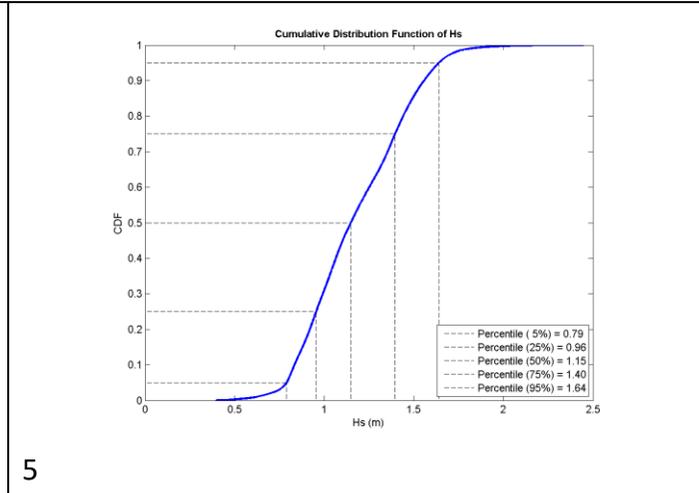
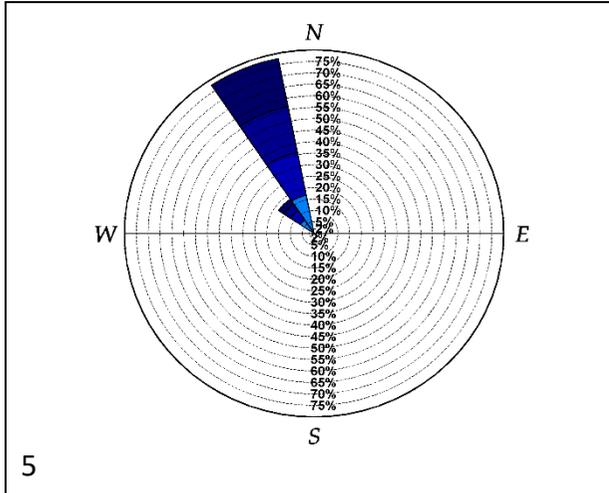


Figura 55.- Propagación de Oleaje PC1 provenientes del Oeste y WSW.

5.2.2.5. ANÁLISIS DEL OLEAJE EN PUNTOS OBJETIVO







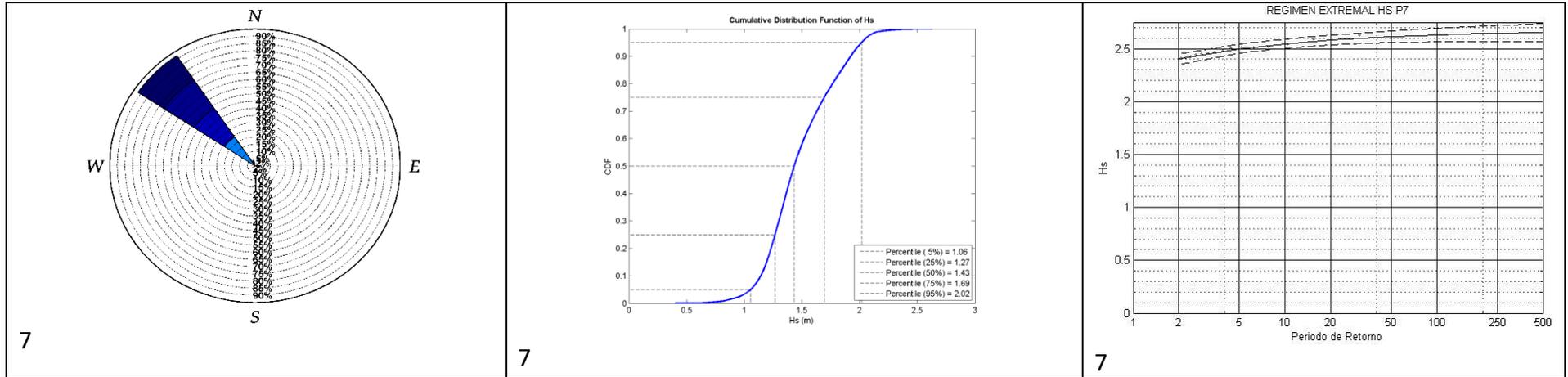


Tabla 8.- Información estadística de oleaje reconstruido en los 7 PC

5.2.3. CONCLUSIONES DEL OLAJE

Luego de reconstruir el oleaje en los 7 puntos de control, se realizó la tabla informativa (Tabla 8.- Información estadística de oleaje reconstruido en los 7 PC. Los siete puntos de control poseen direcciones de incidencia del oleaje en su mayoría componente NW, el oleaje menos energético es el oleaje del P1, es decir el que se encuentra más cerca del Salinas Yatch Club. El más energético es el oleaje del P7, como es de suponerse al estar más abierto recibe directamente el oleaje sobre el punto, sin atenuaciones. Cabe señalar que el oleaje del P3, P4 y P5 también producen inundaciones, y esto concuerda con el registro de eventos de inundaciones observados donde el punto 3 se localiza frente a 3 de los 5 eventos observados.

5.3. MAREA ASTRONÓMICA

La serie de datos Global Ocean Tide (GOT) fue proporcionada por el IH Cantabria, esta serie cuenta con la misma espacialidad y temporalidad de los GOW; la serie GOT tiene una cobertura mundial que proporciona la marea astronómica en cualquier parte del mundo

5.3.1. INTRODUCCIÓN

Para la caracterización del nivel de marea astronómica en la zona de estudio se emplea la base de datos GOT, esta base de datos es elaborada por el IH-CANTABRIA y se la obtiene utilizando la base de datos procedente del modelo global de mareas TPXO, desarrollado por la Universidad de Oregon.

5.3.2. ANÁLISIS DE LA MAREA

La serie GOT a emplearse se encuentra en una escala temporal del 1979 hasta el 2008, una vez analizado el registro se obtiene una marea astronómica máxima de 2.73 m (ver Figura 56). La MA servirá más adelante para el cálculo del Nivel del Mar y finalmente la CI.

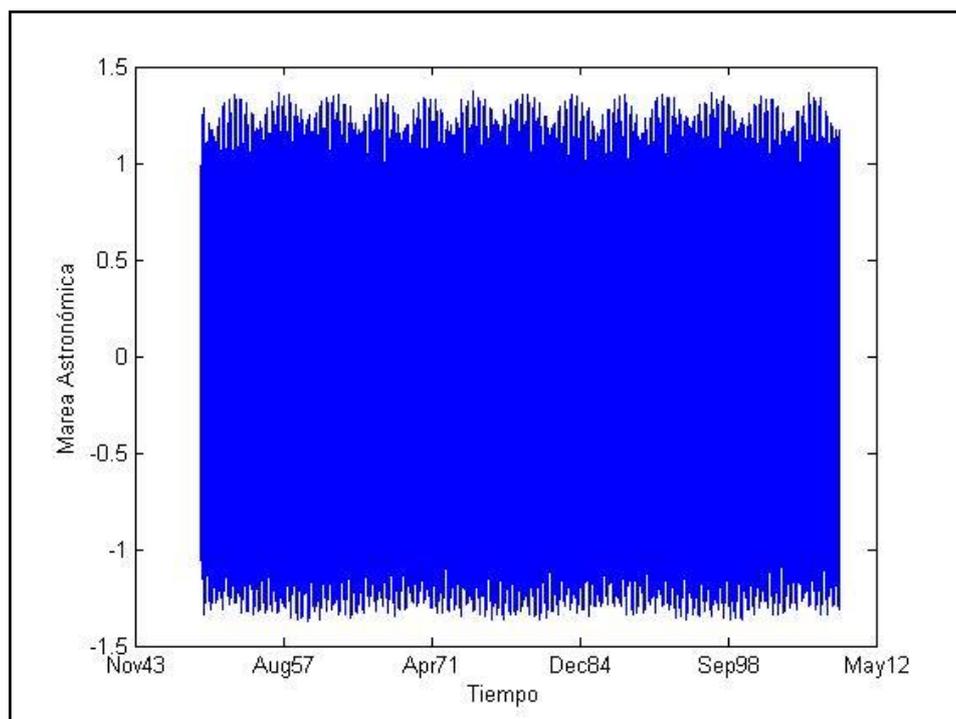


Figura 56.- Marea Astronómica Serie GOS

5.4. MAREA METEOROLÓGICA

La serie Global Ocean Surge (GOS) proporcionada por el IH Cantabria, de la misma espacialidad y temporalidad de los GOW; GOS es una base de datos de reanálisis que proporciona la marea meteorológica a escala horaria durante las últimas décadas.

5.4.1. INTRODUCCIÓN

En el presente estudio se emplea la base de datos GOS (Global Ocean Surges) realizado para América Latina y el Caribe, esta base de datos contiene series horarias de marea meteorológica de 60 años de duración (1948-2008) simuladas numéricamente con el modelo tridimensional de circulación ROMS (Regional Ocean Modeling System) desarrollado por el Ocean Modeling Group de Rutgers. Debido a que el modelo incluye algoritmos físicos y numéricos altamente eficientes y precisos, en la actualidad está siendo ampliamente utilizado por la comunidad científica.

El modelo ROMS resuelve de forma numérica las ecuaciones conocidas como ecuaciones primitivas, en las que asume que la presión sigue una ley hidrostática. Las ecuaciones

primitivas engloban la ecuación de conservación de cantidad de movimiento, la de conservación de la masa, la de transporte de distintas sustancias. Dado el carácter barotrópico del fenómeno a resolver, para proporcionar el punto GOS frente al Ecuador, el IH Cantabria utilizó la versión 2D del modelo.

La base de datos de marea meteorológica GOS entregada abarca información desde 1979 hasta el 2008 para ser congruente con los datos GOT y GOW, posee una resolución temporal horaria y presenta la elevación del nivel del mar por marea meteorológica para el dominio de cálculo con resolución espacial de 0.25°. En la Figura 57 se representa la serie de datos GOS utilizada.

5.4.2. ANALISIS DE LA MAREA METEOROLÓGICA.

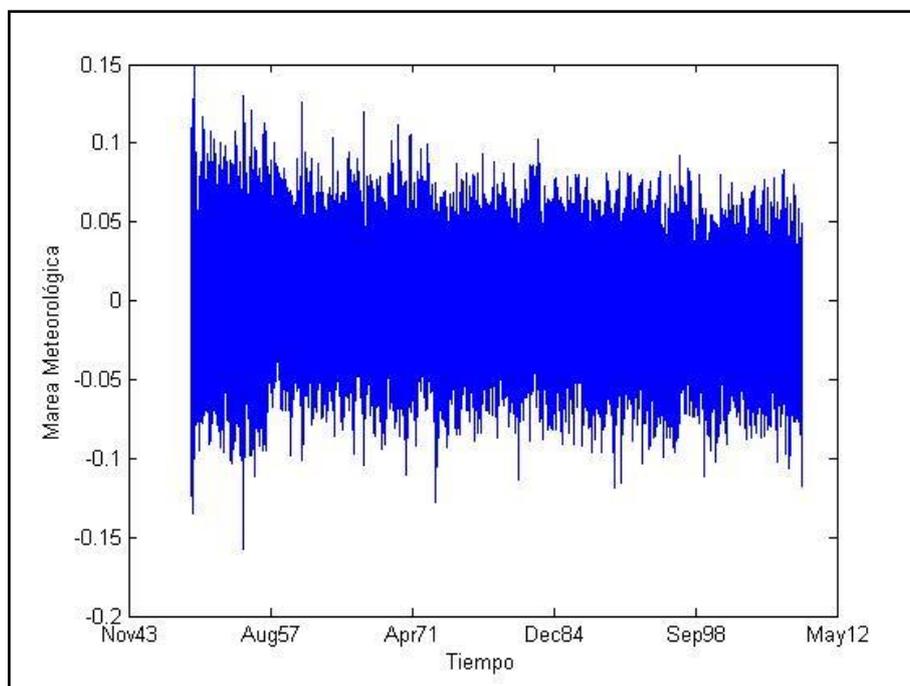


Figura 57.- Serie Horaria Marea Meteorológica (GOS).

Para el presente estudio la serie GOS (Figura 57) cuenta con información horaria referida al nivel medio del mar con datos entre 1979-2008, el rango de marea astronómica es 0.14 m aproximadamente.

CAPÍTULO 6

COTA DE INUNDACIÓN EMPÍRICA

6. COTA DE INUNDACIÓN EMPÍRICA

6.1. INTRODUCCIÓN

Luego de la reconstrucción de las series horarias (Hs, Tp, Dir) en los 7 perfiles de inundación y estandarizados a 80 metros de profundidad, se calculó el Run Up mediante la formulación de Stockdon et al (2006) y Nielsen & Hoslow (1991).

El objetivo final de este capítulo es integrar el Run Up calculado empíricamente al nivel del mar conformado por la suma de la MA y MM.

6.2. METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE COTA DE INUNDACIÓN EMPÍRICA

La metodología para emplearse será la propuesta en el apartado 3.2.3, para ello en el siguiente apartado se detallarán las formulaciones de Run Up empírico se emplearán las formulaciones de Nielsen 1991 y Stockdon 2006

6.2.1. FORMULACIÓN DE RUN UP DE NIELSEN

Formulación es la de Nielsen y Hoslow (1991), los cuales midieron la distribución del run-up en seis playas australianas distintas, con diferentes características morfodinámicas, llegando a una formulación dependiente de la pendiente de la playa:

$$R_2 = SWL + 1.98L_{zwm},$$

Donde R_2 es el run-up excedido por 2% de las ondas, SWL es el nivel del agua y L_{zwm} es la escala vertical del run-up basado en la distribución de Rayleigh, dada por:

$$L_{zwm} \approx 0.6(H_{0rms}L_0)^{0.5} \tan\beta \quad \text{para } \tan\beta \geq 0.1,$$

$$L_{zwm} \approx 0.05(H_{0rms}L_0)^{0.5} \quad \text{para } \tan\beta < 0.1.$$

Donde H_{0rms} es la altura de onda cuadrática media a 80 m de profundidad y L_0 es la longitud de onda en el mismo punto.

6.2.2. FORMULACIÓN DE RUN UP DE STOCKDON

Y la segunda es la formulación de Stockdon et al (2006), este estudio es el más extenso en mediciones hasta hoy en día, fue realizado en diez campañas de mediciones, llegando a la fórmula:

$$R_2 = 1.1 \left(\langle \eta \rangle + \frac{\sqrt{S_{inc}^2 + S_{inf}^2}}{2} \right),$$

$$\langle \eta \rangle = 0.35 \tan \beta (H_0 L_0)^{0.5},$$

$$S_{inc} = 0.75 \tan \beta (H_0 L_0)^{0.5},$$

$$S_{inf} = 0.06 (H_0 L_0)^{0.5}$$

Donde H_0 y L_0 son definidos como la altura de ola significativa y la longitud de onda a la profundidad de 80 m, respectivamente. En esta fórmula se considera que el swash inducido por la onda infra gravitatoria no es influenciado por la pendiente de la de playa.

6.3. RESULTADOS

6.3.1. RUN UP EMPÍRICO

A continuación, se mostrarán los resultados de la cota de inundación empírica para ambas formulaciones, finalmente se evaluarán las diferencias encontradas.

En las Figuras 58, 59 y 60, se presentan los valores de Run Up para los perfiles 1, 5 y 7 que representan las Zonas A, B y C respectivamente, como se puede apreciar los valores de Run Up para la zona C son los más grandes, no obstante, el perfil 5 posee valores muy similares. Los valores de Run Up para la formulación empírica de Nielsen son superiores a los de Stockdon, sin embargo al tratarse de una formulación más reciente se tomarán los resultados de la Formulación del Stockdon para calcular la cota de inundación empírica.

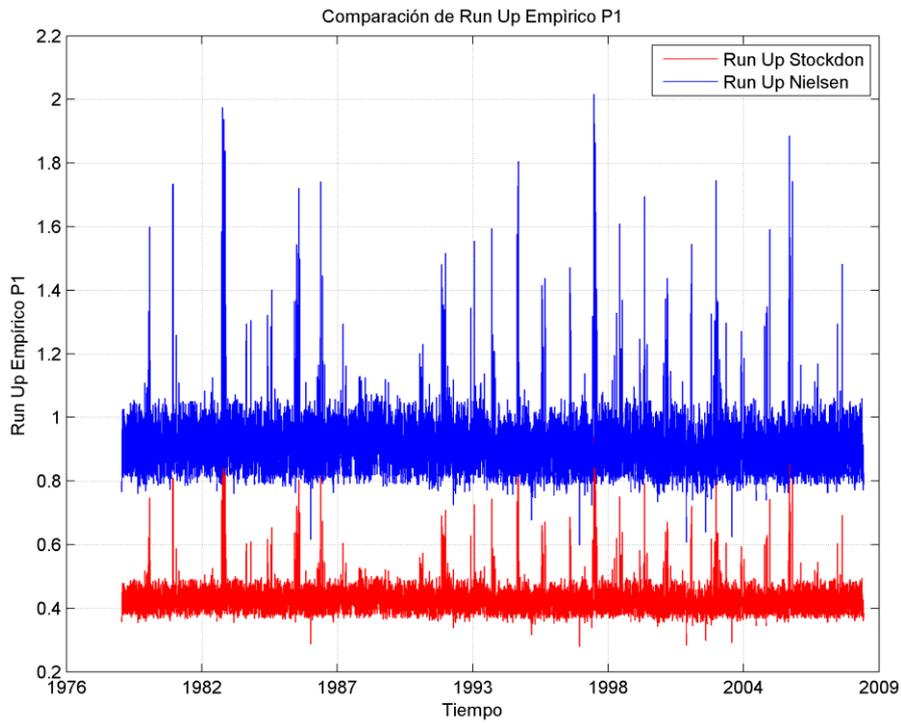


Figura 58.-Run Up Empírico Zona A

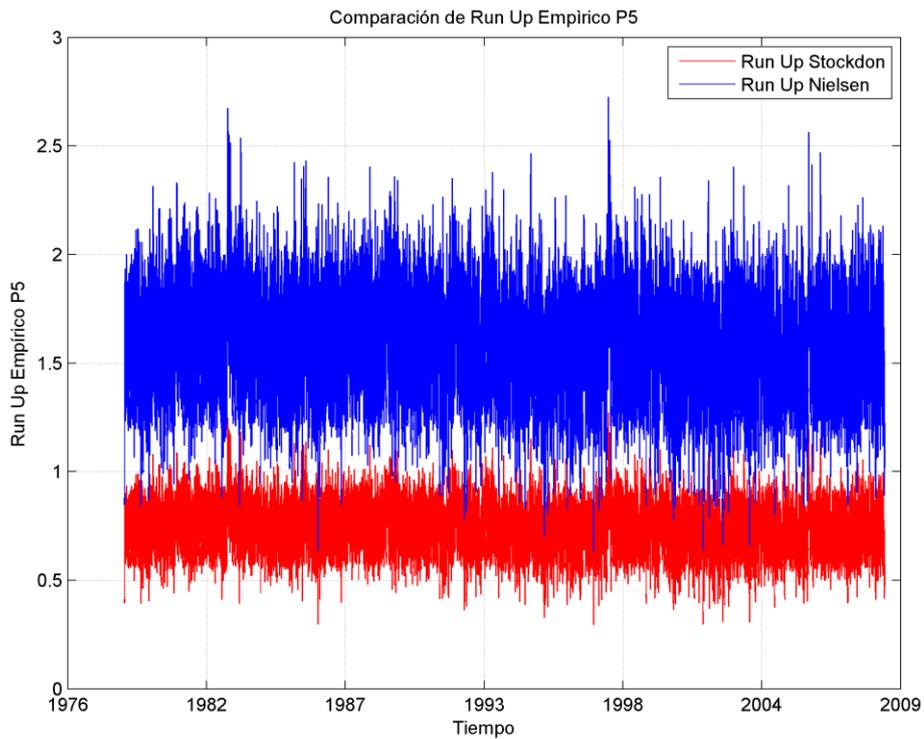


Figura 59.- Run Up Empírico Zona B

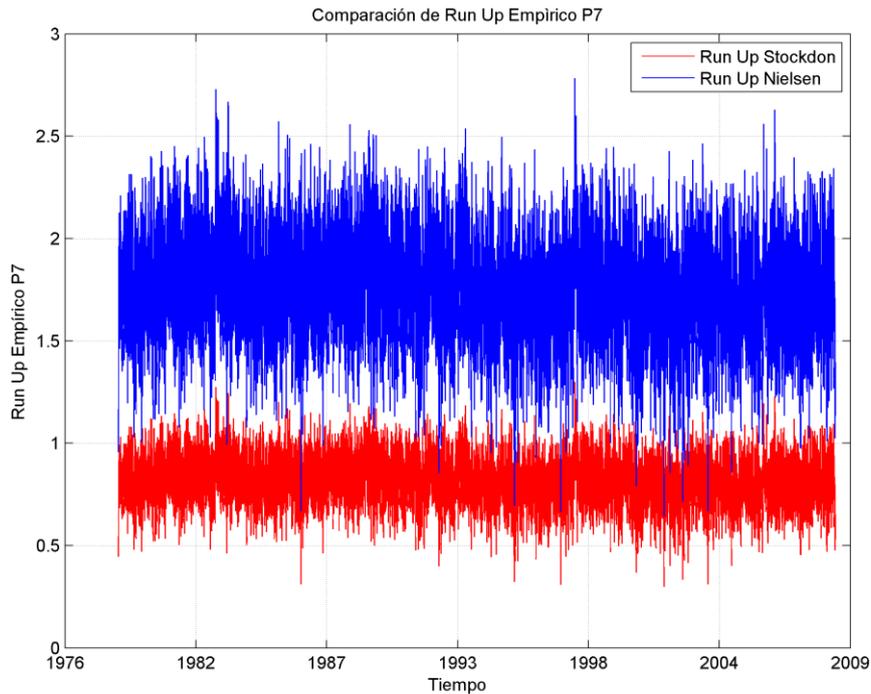


Figura 60.-Run Up Empírico Zona C

6.3.2. CONCLUSIONES (RUN UP)

Luego de analizar el **ANEJO C** con los resultados del cálculo del run up para las formulaciones empíricas, en adelante se tomarán los resultados del cálculo de la formulación de Stockdon para calcular la cota de inundación. El Run Up más bajo se encuentra en la Zona A protegida por el dique del Yatch Club de Salinas, la Zona B y C presentan valores de Run Up similares, sin embargo, el perfil 7 es aquel con mayor registrado.

6.4. NIVEL DEL MAR

Como se ha comentado anteriormente, el nivel del mar se define como la suma de las componentes de marea astronómica y marea meteorológica, de allí que en este apartado se presente la serie de datos (Figura 61) y se analice el régimen extremal GEV (Figura 62).

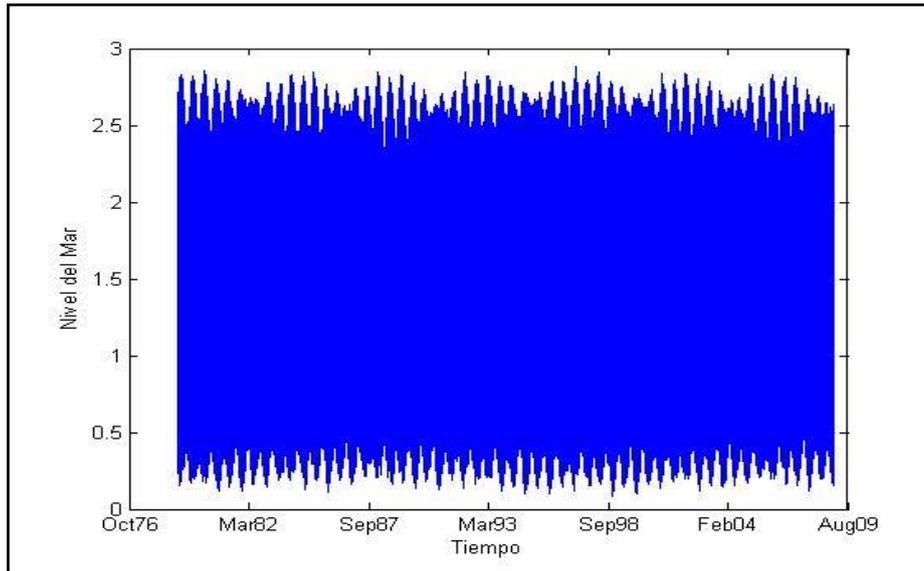


Figura 61.- Serie Horaria del Nivel del Mar.

En la Figura 62, se observa que las bandas de confianza, situadas al 95%, son estrechas enmarcando los valores entre 2.89 y 2.76, esto se debe fundamentalmente a que la variabilidad del nivel del mar está relacionada principalmente a la marea astronómica y en menor grado a la meteorológica, adicionalmente la marea astronómica se podría decir que se encuentra acotada entre unos valores correspondientes a mareas vivas y muertas, y cuya variabilidad no es tan grande.

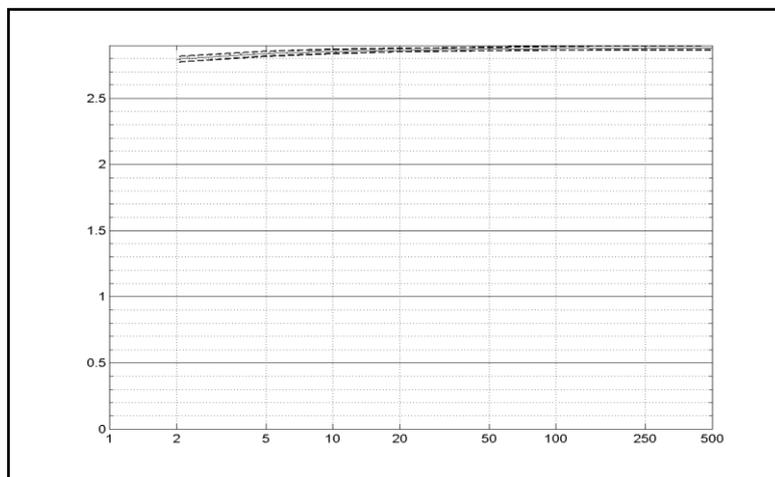


Figura 62.- Función de Distribución del Régimen Extremal Escalar del Nivel del Mar.

6.5. COTA DE INUNDACIÓN EMPÍRICA

A continuación, se presentan las cotas de inundación asociadas a cada zona

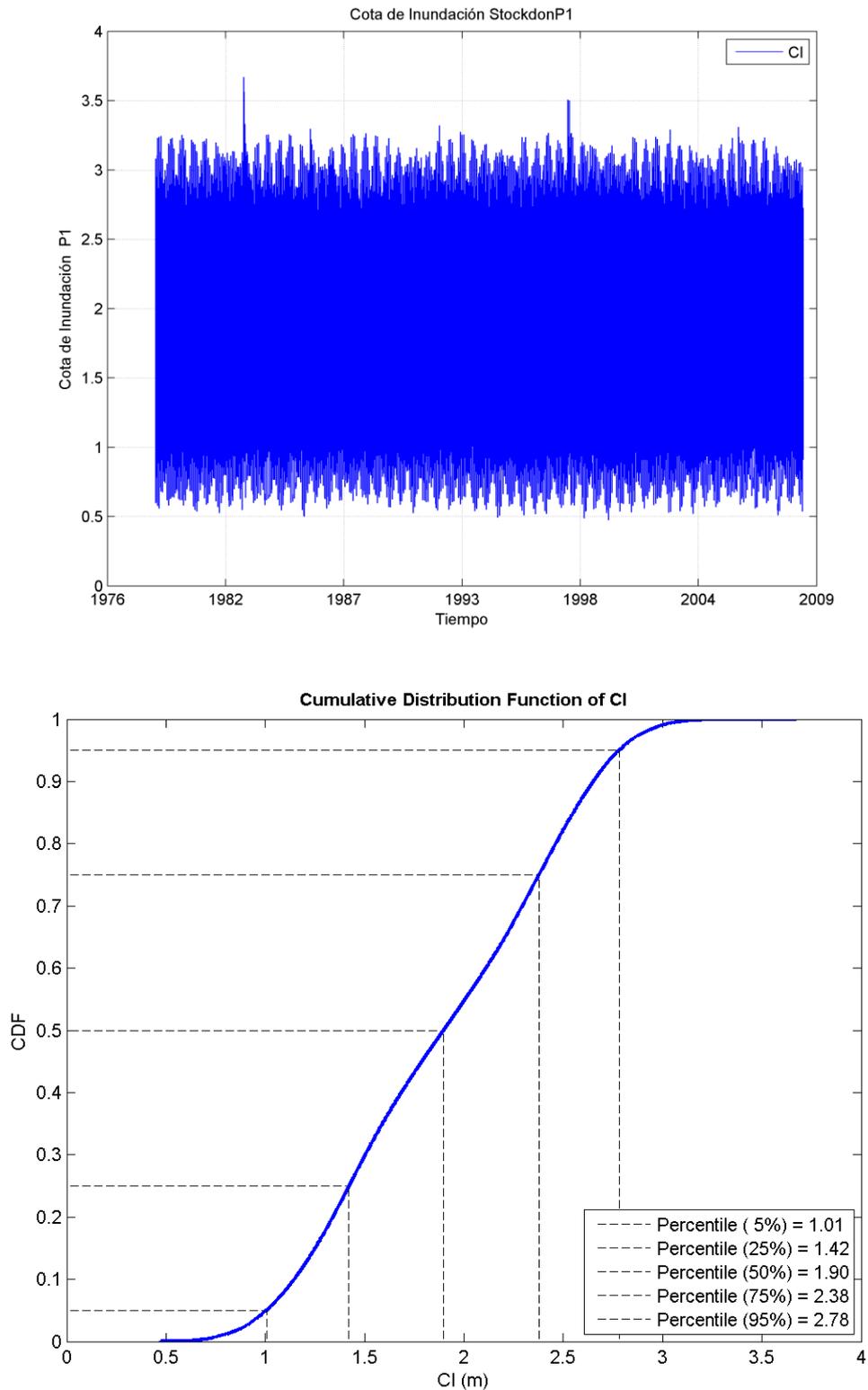


Figura 63.-Cota de Inundación Empírico Zona A

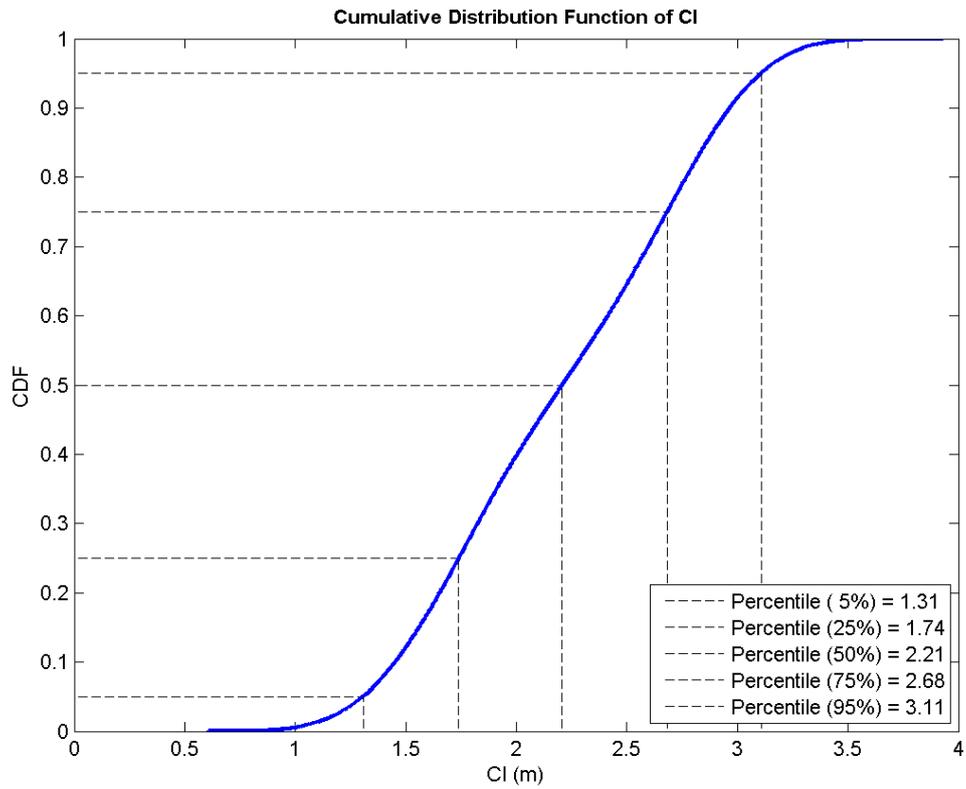
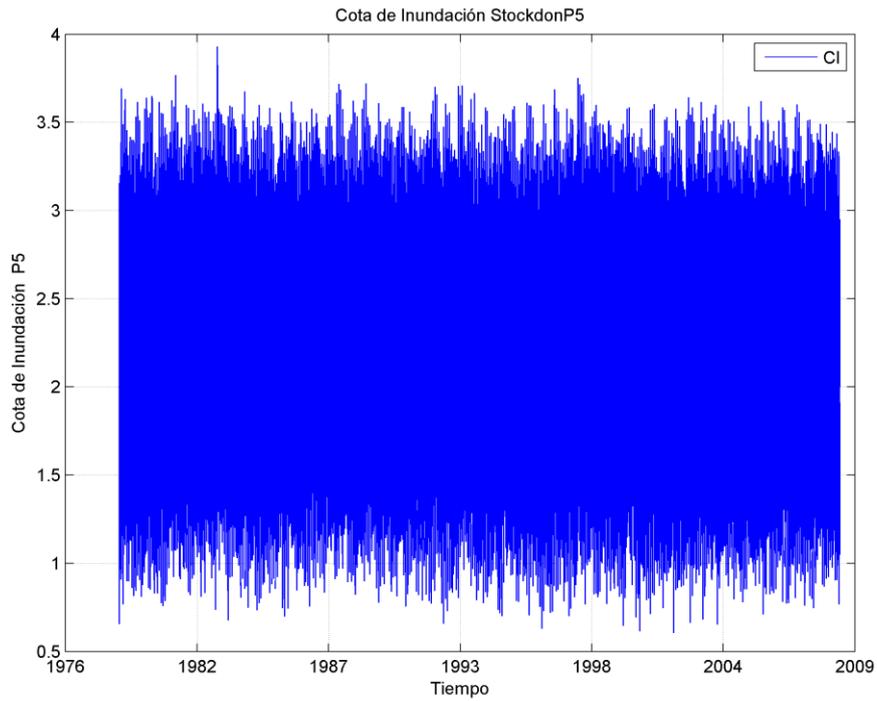


Figura 64.- Cota de Inundación Empírico Zona B

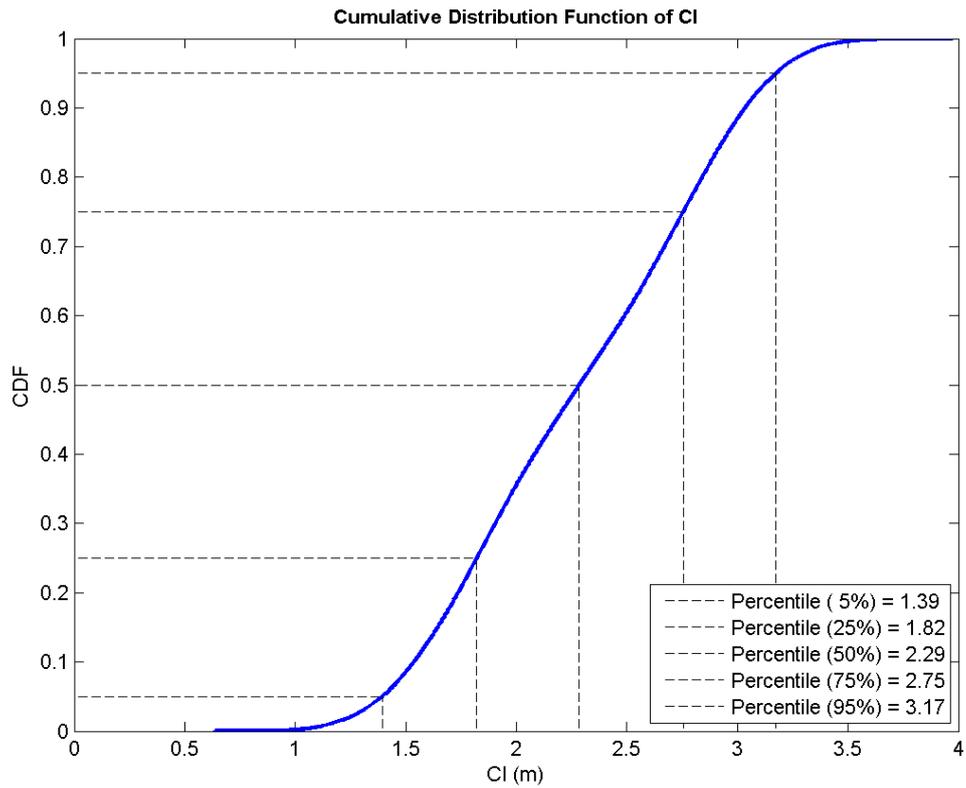
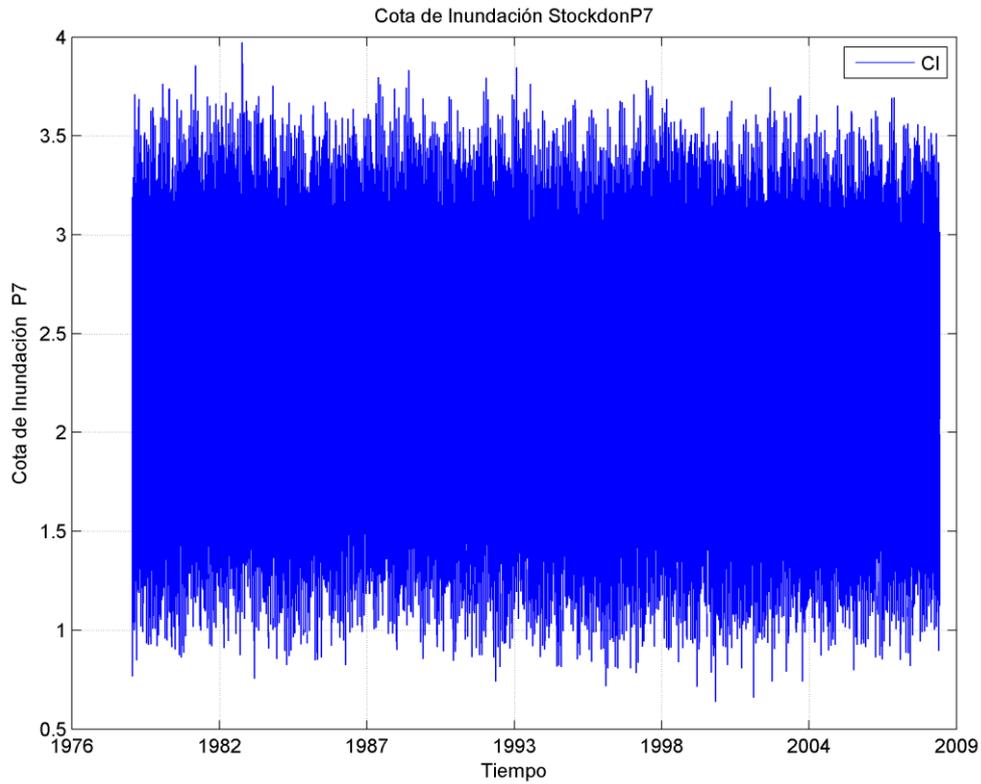


Figura 65.- Cota de Inundación Empírico Zona C

6.6. CONCLUSIONES (COTA DE INUNDACIÓN)

Luego de revisar el **ANEXO D**, donde se encuentran las 7 series de CI de cada perfil, se concluye que en la Zona A no existen eventos de inundación calculados empíricamente, sin embargo, en la zona B y C ocurren eventos de inundación con una baja frecuencia, aumentándose a medida que los puntos se ubican más al Este. Estos resultados previos concuerdan con los eventos de inundación registrados en los últimos años.

CAPÍTULO 7

COTA DE INUNDACIÓN NUMÉRICA

7. COTA DE INUNDACIÓN NUMÉRICA

7.1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen modelos de inundación que pueden reproducir estos eventos con una alta precisión, sin embargo, modelar toda la serie tiene un coste computacional elevado e innecesario ya que como se ha visto en lo largo de este estudio que los eventos que generan un rebase son muy escasos es decir por debajo del 95% del tiempo el paseo marítimo no se inunda. Es por ello, que se pretende modelar el 5% mayor de las CI calculadas empíricamente y así corregir esos resultados.

La cota de inundación numérica se la obtiene a partir de la modelación numérica de 100 casos escogidos mediante MDA que representan el 5% superior de la Cota de Inundación empírica, con estos resultados se realiza una interpolación RBF para así obtener una nueva cota de inundación corregida numéricamente.

7.2. METODOLOGÍA DE CÁLCULO

La metodología por emplearse será la propuesta en el apartado 3.2.3., que básicamente indica la modelación numérica de 100 casos escogidos mediante MDA que representan el 5% superior de la Cota de Inundación empírica, con estos resultados se realiza una interpolación RBF para así obtener una nueva cota de inundación corregida numéricamente.

7.2.1. SELECCIÓN DEL 5% MAYOR DE LA COTA DE INUNDACIÓN EMPÍRICA

Después de obtener los resultados empíricos de inundación se realizó una selección del 5% superior de la cota de inundación empírica para cada perfil, es decir, se seleccionaron el 5% de los casos con mayor cota de inundación y sus parámetros asociados (Hs, MM y MA).

7.2.2. SELECCIÓN DE CASOS EXTREMOS

De este nuevo conjunto de datos se seleccionaron 100 casos mediante la técnica de selección MDA y se los procede a modelar numéricamente para luego reconstruir la cota de inundación del 5% de los casos que generaron una mayor inundación y realizar una

próxima comparación con los resultados empíricos previamente obtenidos.

7.2.3.SIMULACIÓN DE CASOS SELECCIONADOS

7.2.3.1.MODELO NUMÉRICO (SWASH)

La simulación numérica para casos extremos se realizó mediante el modelo SWASH, acrónimo de Simulating Waves till shore, es un modelo desarrollado por la Delft University of Technology, Holanda. Su código es basado en un explícito, método de mallas de diferencia finitas de segunda orden donde masa y momento son estrictamente conservados en un nivel discreto. Como consecuencia este simple y eficiente método es hábil en trazar la localización exacta de rotura de la onda incidente. También, por conservación de momento habilita las olas rotas propagarse con un movimiento gradual.

7.3. RESULTADOS DE LA COTA DE INUNDACIÓN NUMÉRICA

PERFIL 1:

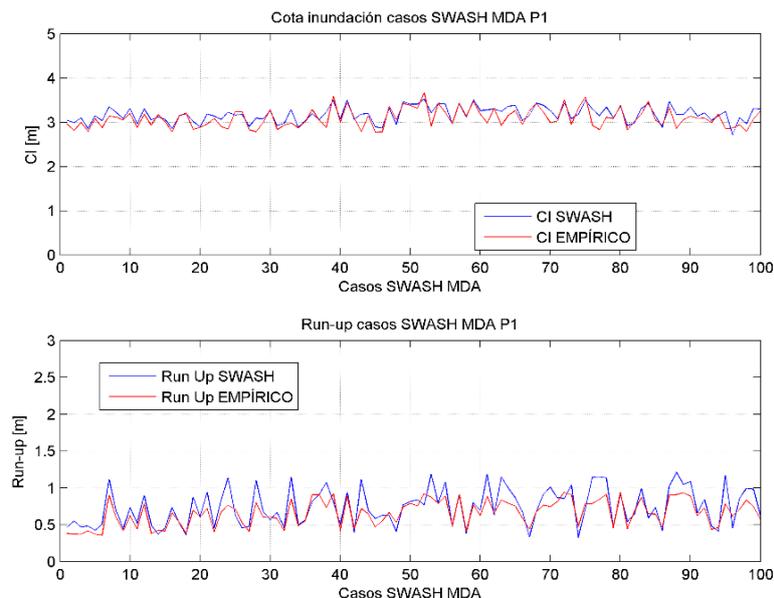


Figura 66.- Comparación Run Up Empírico y Run Up Numérico P1

Representación de Caso Extremo Régimen Medio P1.

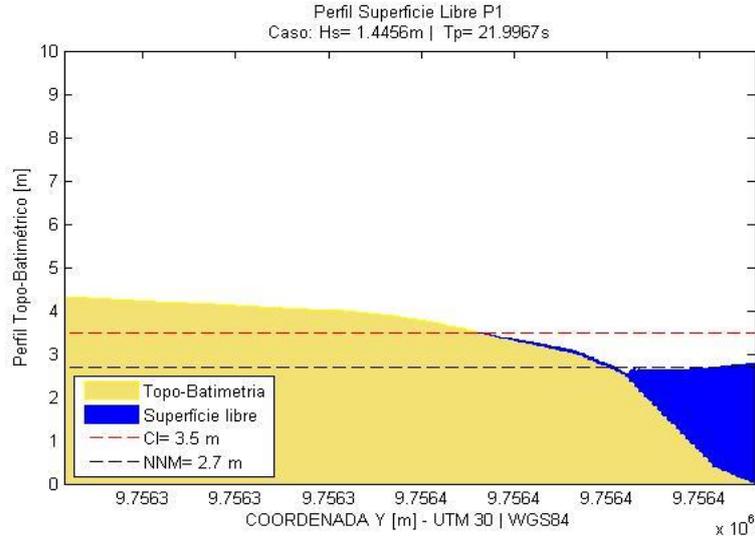


Figura 67.- Caso de Inundación Máximo en Swash (P1)

PERFIL 2:

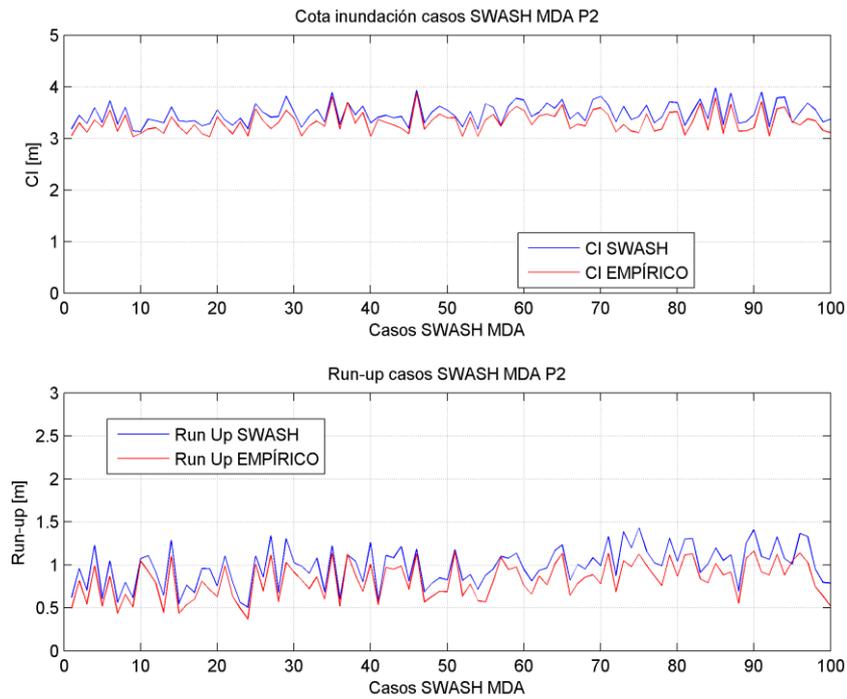


Figura 68.- Comparación Run Up Empírico y Run Up Numérico P2

Representación de Caso Extremo Régimen Medio P2.

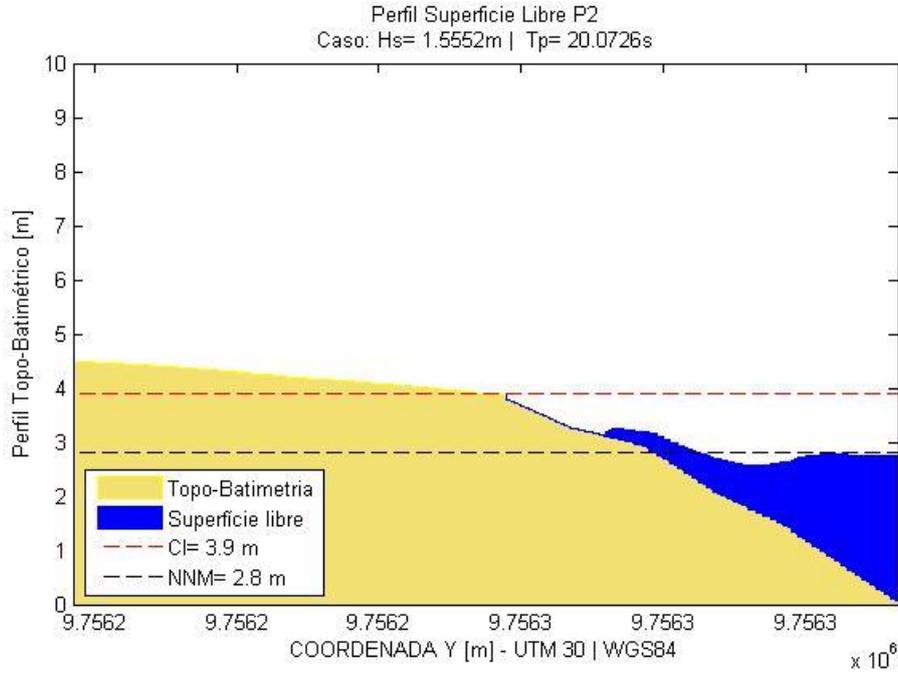


Figura 69.- Caso de Inundación Máximo en Swash (P2)

PERFIL 3:

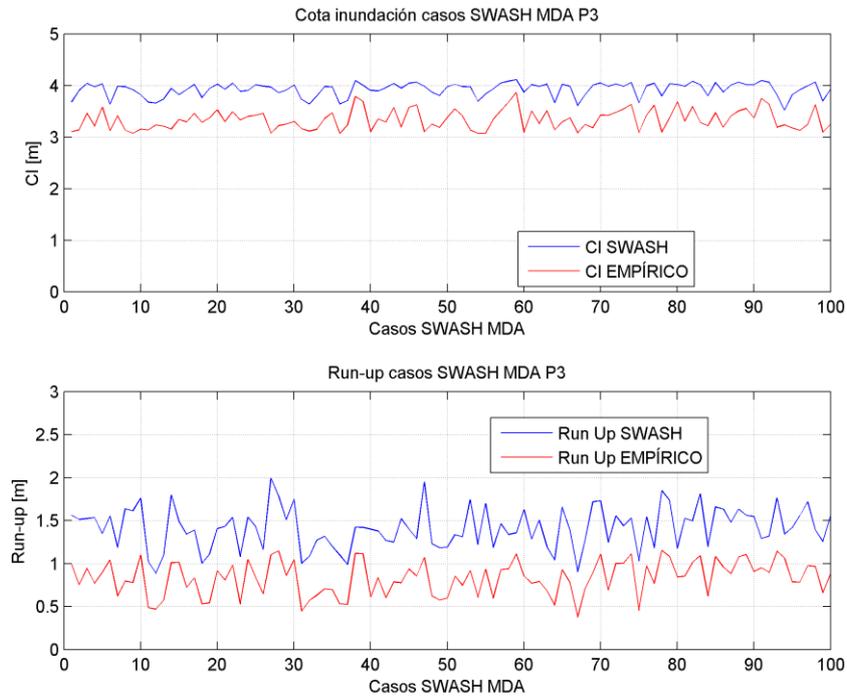


Figura 70.- Comparación Run Up Empírico y Run Up Numérico P3

Representación de Caso Extremo Régimen Medio P3.

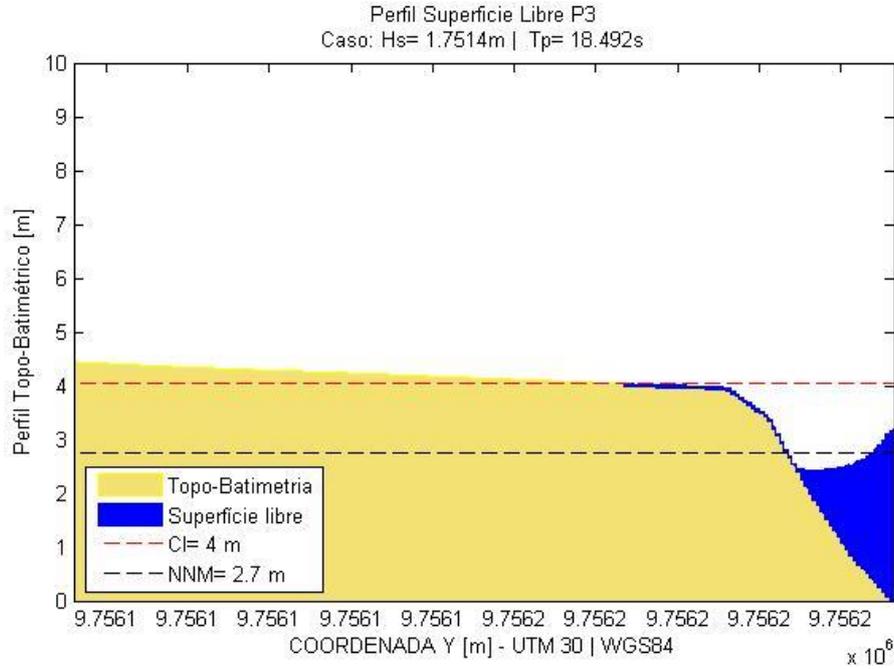


Figura 71.- Caso de Inundación Máximo en Swash (P3)

PERFIL 4:

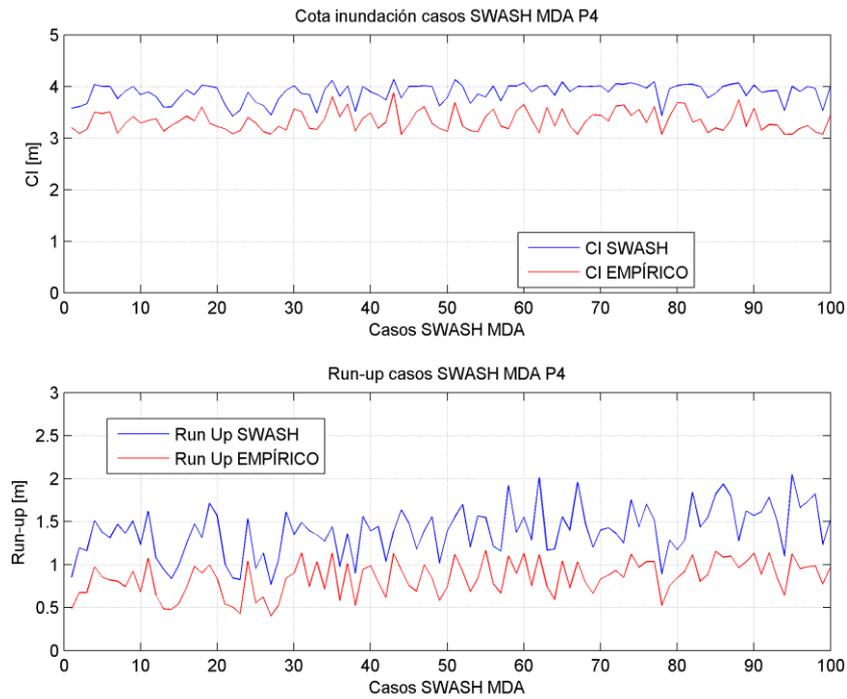


Figura 72.-Comparación Run Up Empírico y Run Up Numérico P4

Representación de Caso Extremo Régimen Medio P4.

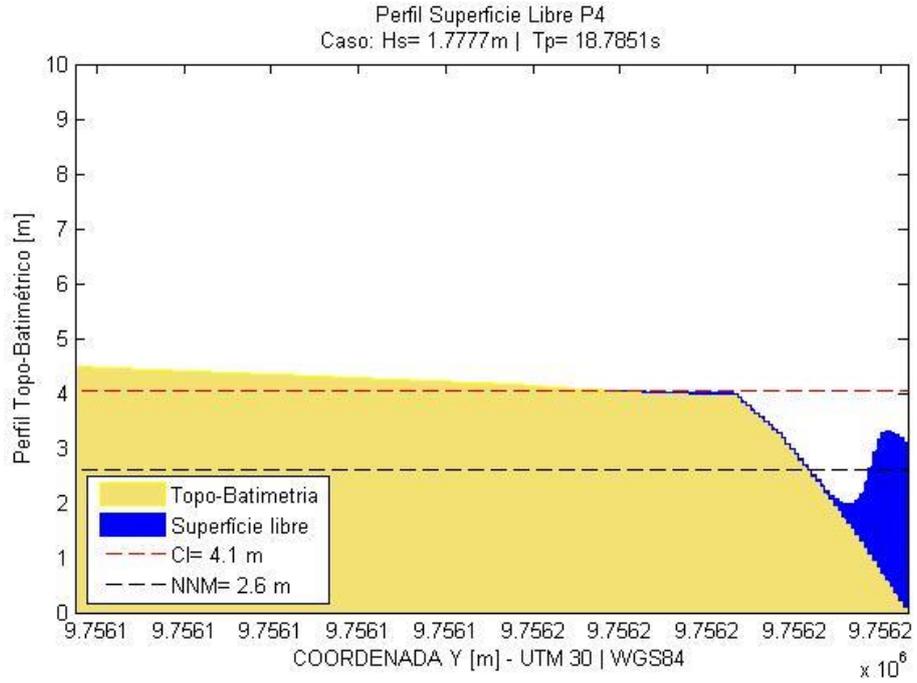


Figura 73.- Caso de Inundación Máximo en Swash (P4)

PERFIL 5:

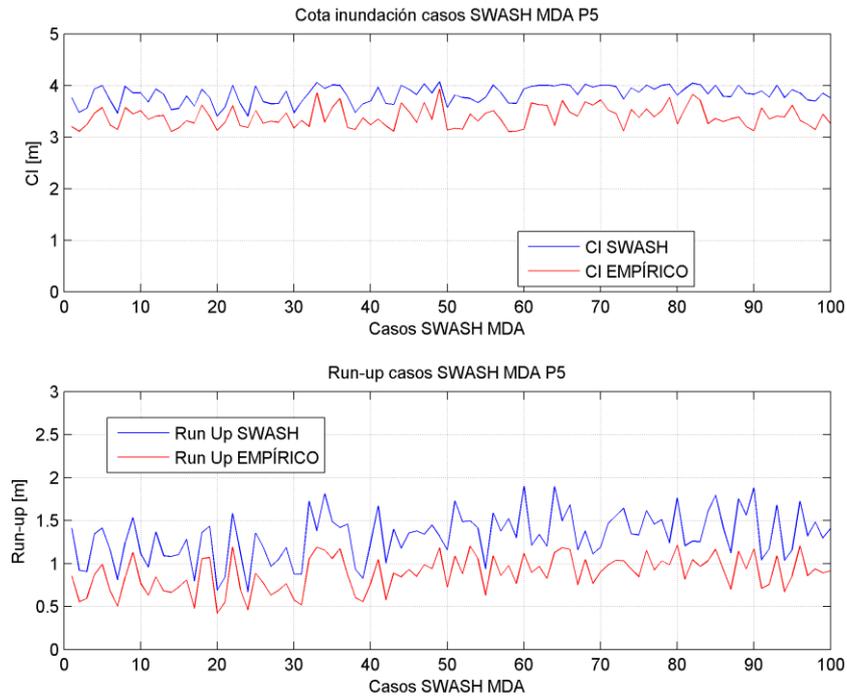


Figura 74.- Comparación Run Up Empírico y Run Up Numérico P5

Representación de Caso Extremo Régimen Medio P5.

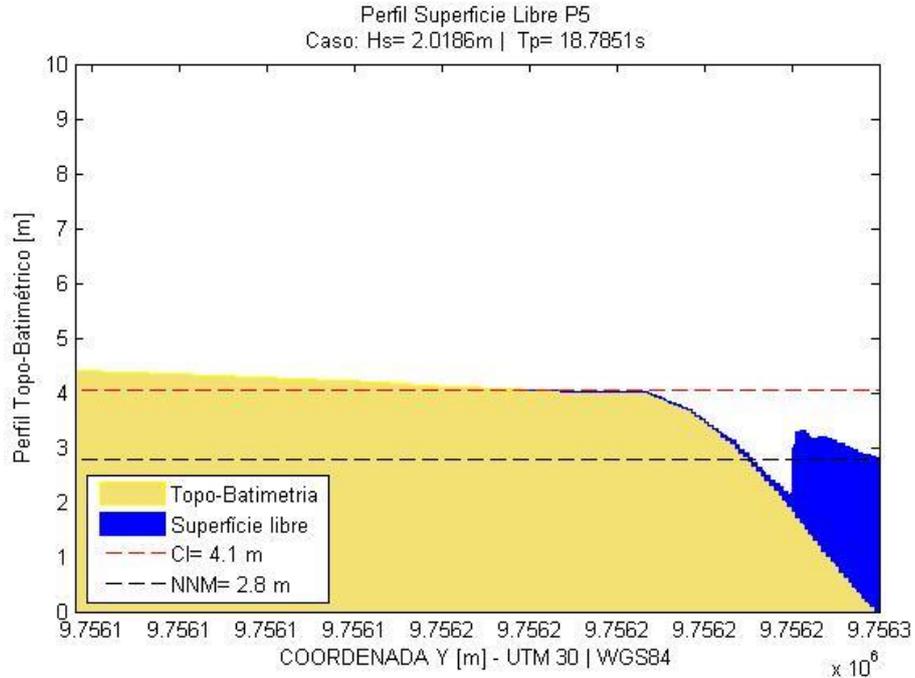


Figura 75.- Caso de Inundación Máximo en Swash (P5)

PERFIL 6:

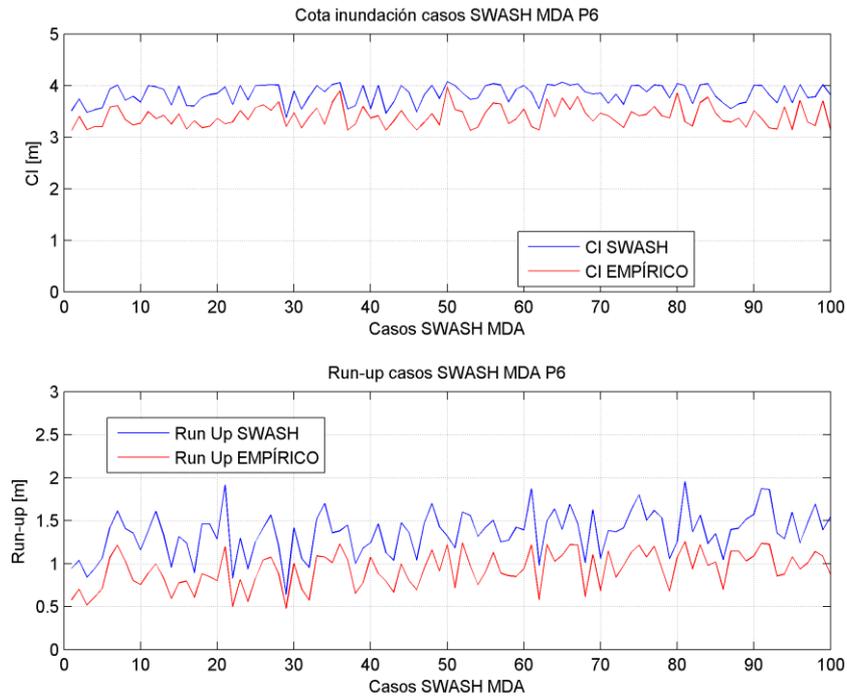


Figura 76 Comparación Run Up Empírico y Run Up Numérico P6

Representación de Caso Extremo Régimen Medio P6.

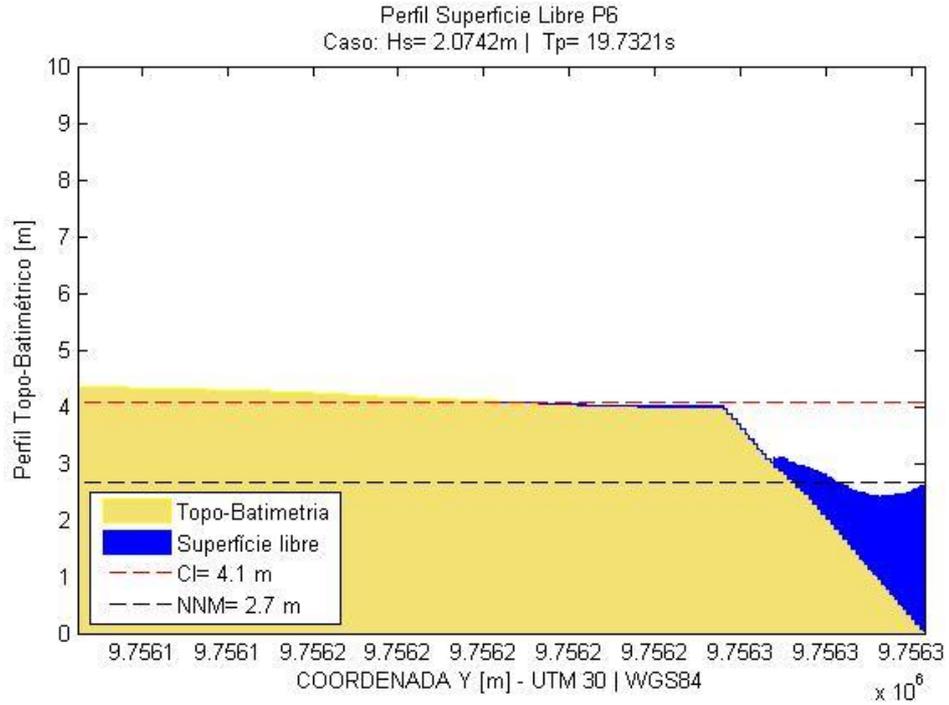


Figura 77.- Caso de Inundación Máximo en Swash (P6)

PERFIL 7:

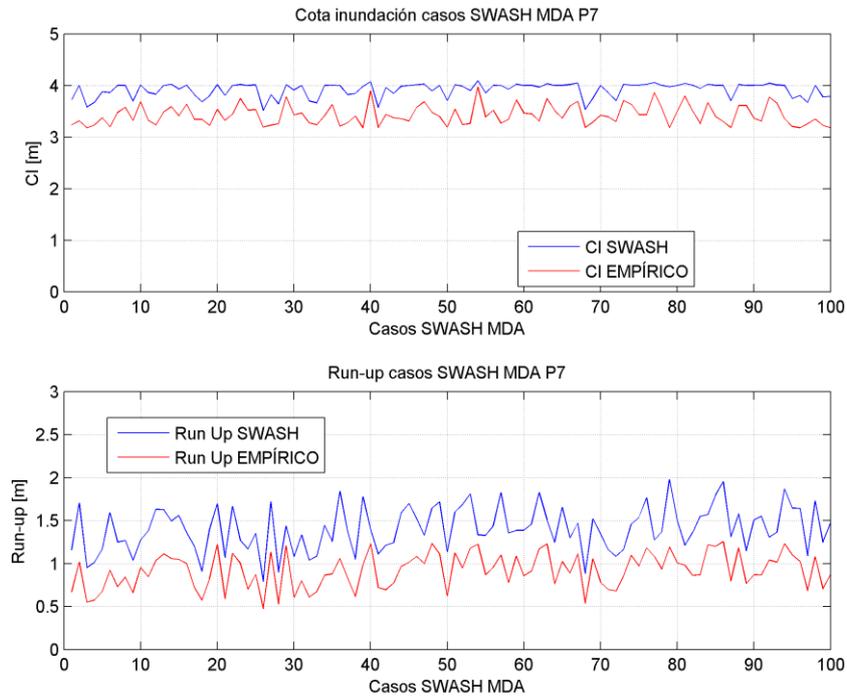


Figura 78.-Comparación Run Up Empírico y Run Up Numérico P7

Caso Máximo de Inundación:

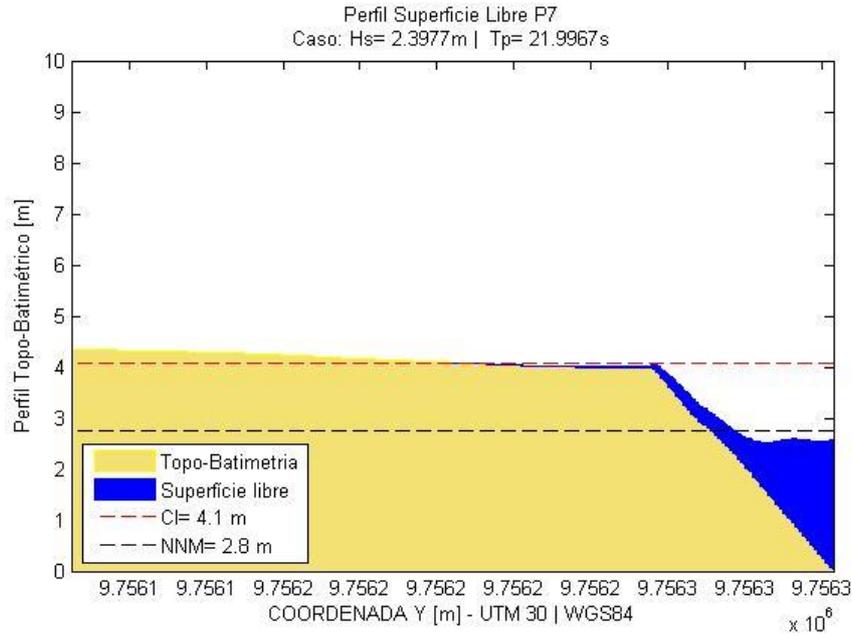


Figura 79.- Caso de Inundación Máximo en Swash (P7)

7.4. CONCLUSIONES

- Los resultados del Run Up en el modelo SWASH están por encima de los valores empíricos obtenidos con la formulación de Stockdon 2006.
- Existió en el modelamiento casos de inundación en 5 de los 7 perfiles, tan solo los perfiles correspondientes a la zona A no registraron rebase.
- Los Puntos donde se registró la cota de inundación más alta son el P3 y P7, que concuerda con los eventos de inundación registrados

CAPÍTULO 8

RÉGIMEN EXTREMAL DE COTA DE INUNDACIÓN

8. RÉGIMEN EXTREMAL DE COTA DE INUNDACIÓN

8.1. INTRODUCCIÓN

La CI a la cual se le va a calcular el régimen extremal mediante la función GEV se compone de dos partes: la primera es el 95% inferior de la CI obtenida empíricamente y el 5% superior corregido numéricamente.

8.2. METODOLOGÍA

A la serie de Cota de inundación de la serie corregida numéricamente total, se la ajusta a una distribución GEV descrita en la metodología del apartado 3.2.3.4

8.2.1.RESULTADOS

Los puntos rojos representan los máximos anuales de la serie de correspondiente a cada perfil, la línea azul es el ajuste mediante la función de distribución GEV y las líneas discontinuas negras representan la banda de confianza del 95% del ajuste.

8.2.1.1.PERFIL 1

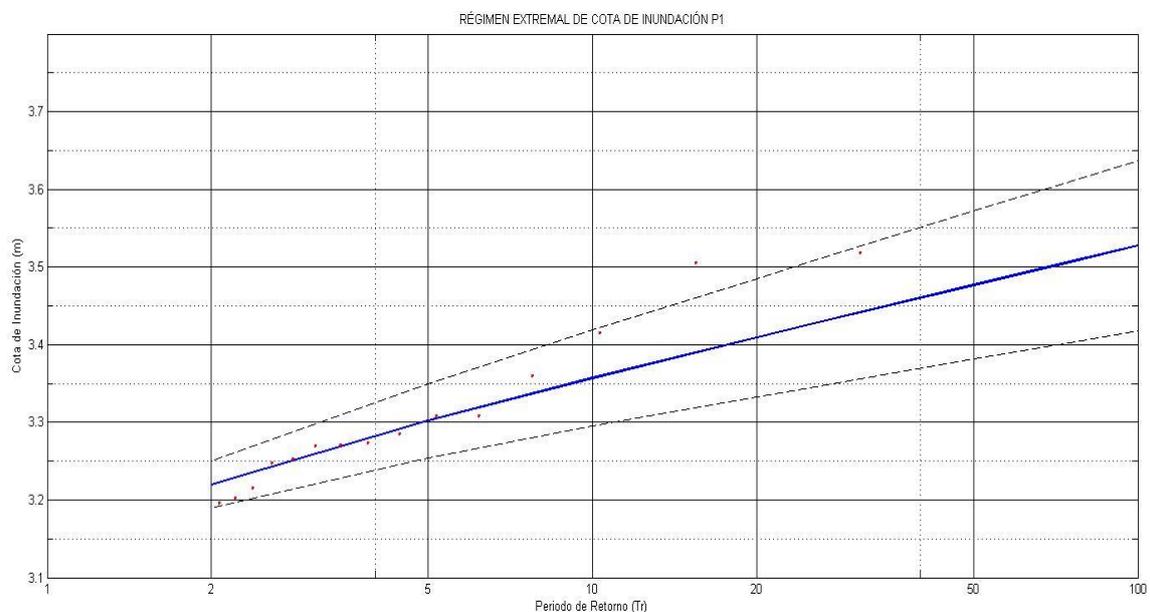


Figura 80.- Régimen Extremal de Cota de Inundación P1

8.2.1.2.PERFIL 2

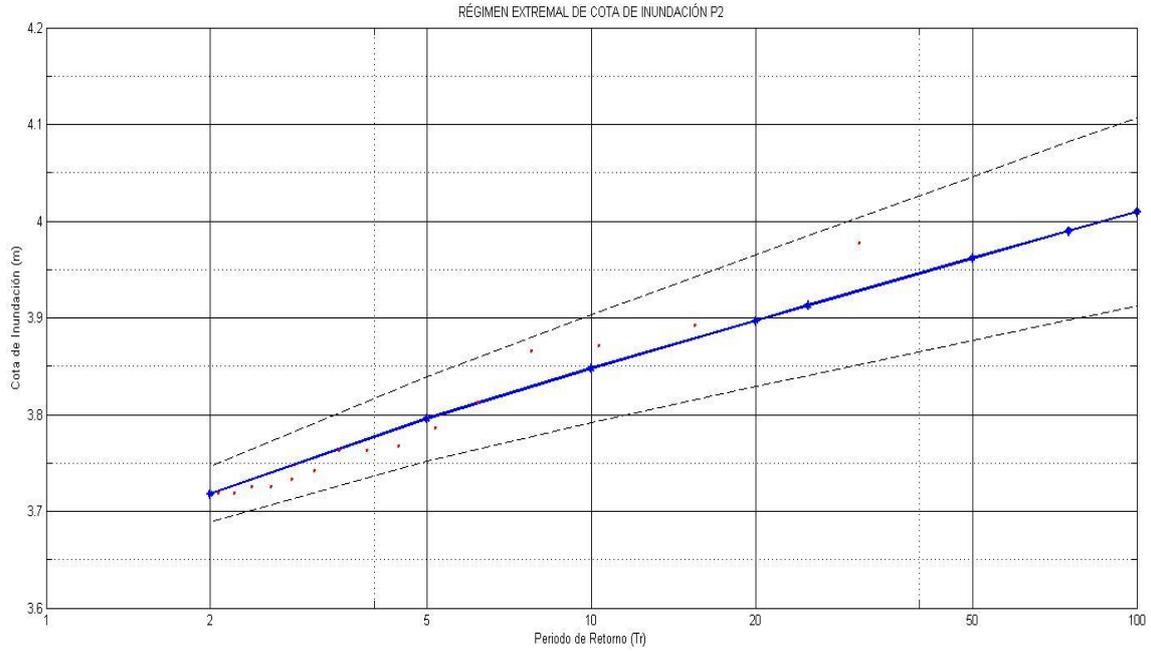


Figura 81.- Régimen Extremal de Cota de Inundación P2

8.2.1.3.PERFIL 3

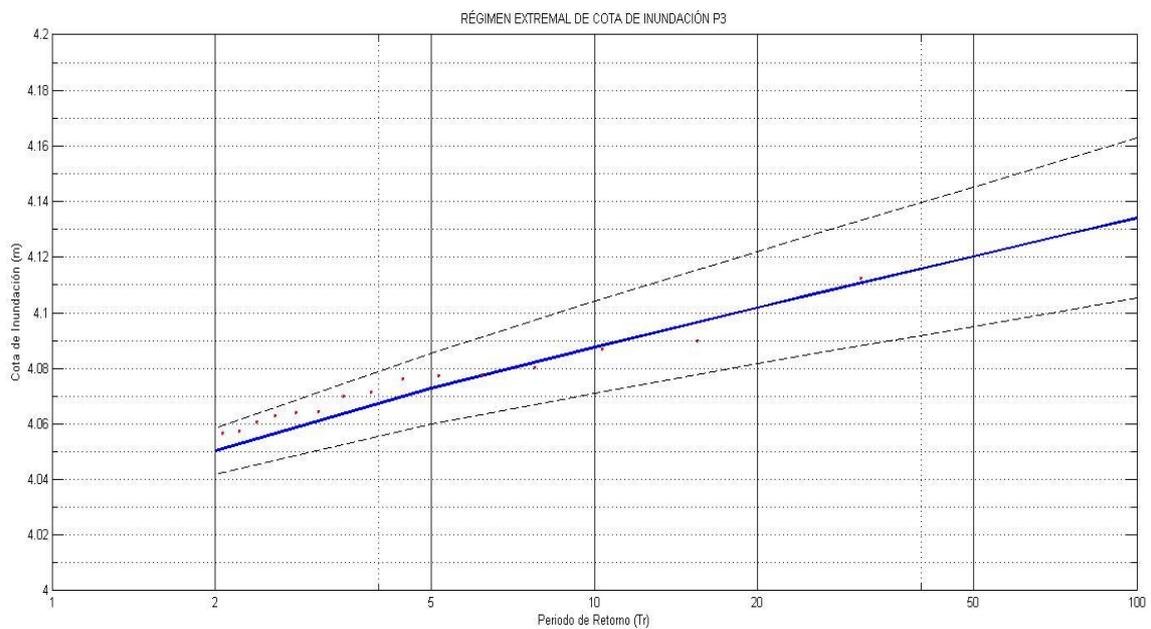


Figura 82.- Régimen Extremal de Cota de Inundación P3

8.2.1.4.PERFIL 4

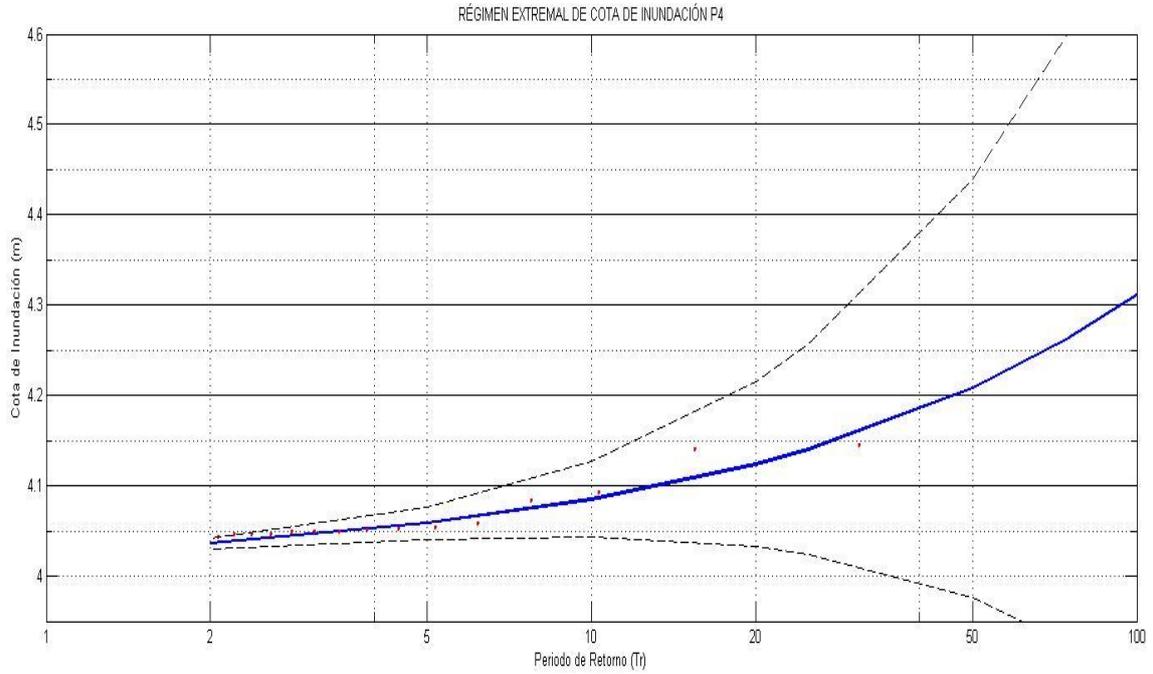


Figura 83.- Régimen Extremal de Cota de Inundación P4

8.2.1.5.PERFIL 5

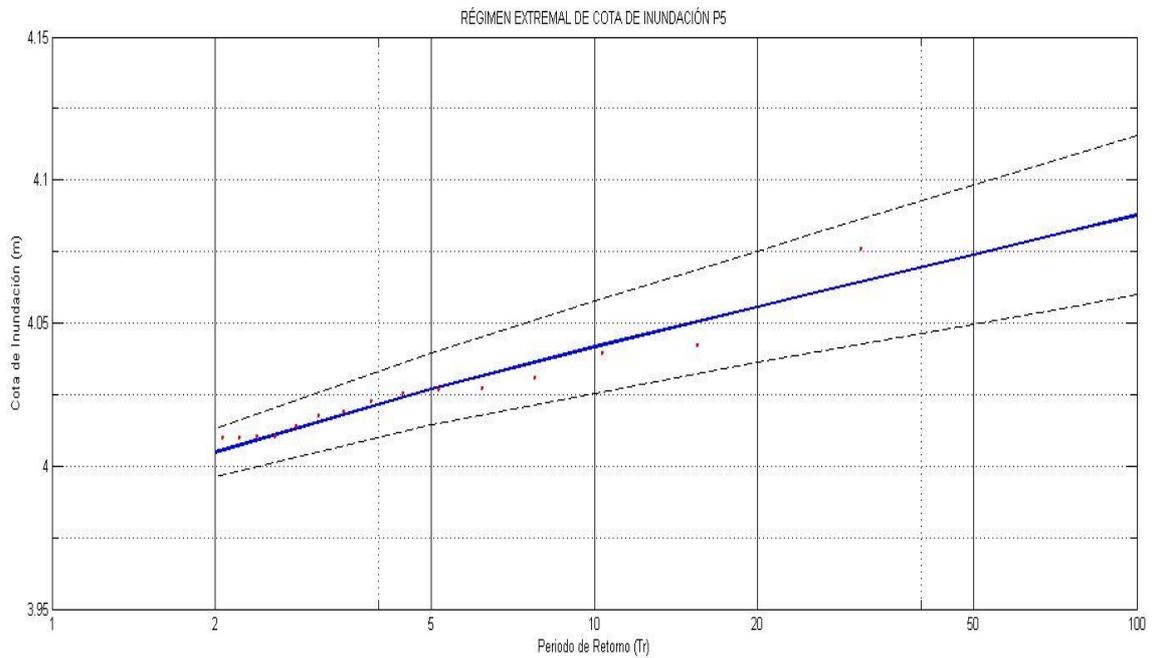


Figura 84.- Régimen Extremal de Cota de Inundación P5

8.2.1.6.PERFIL 6

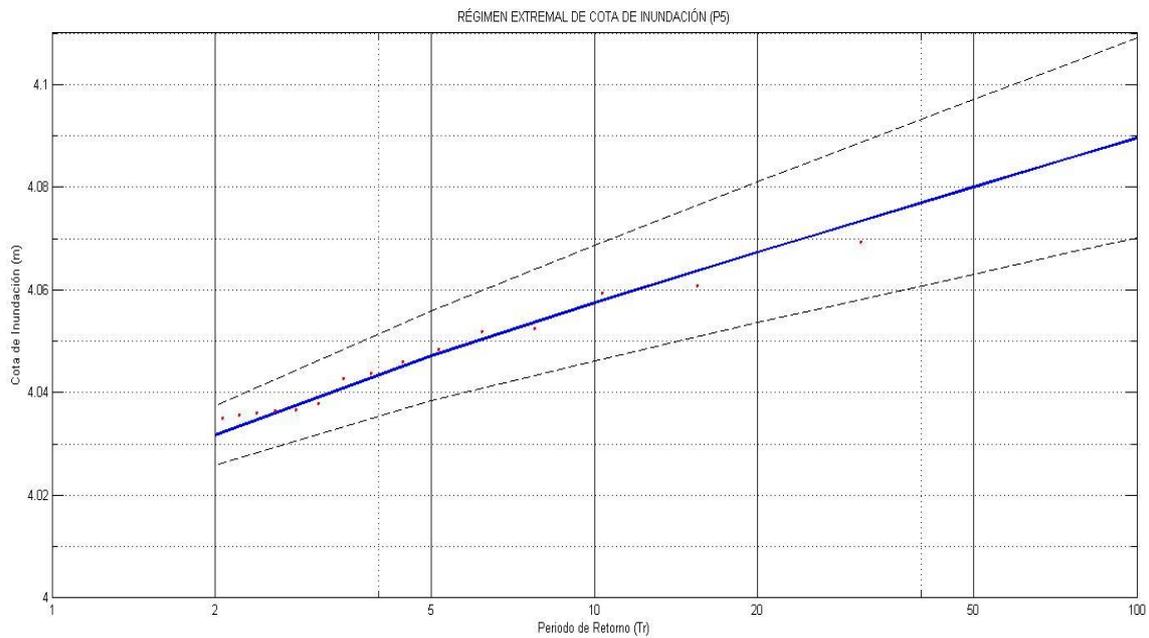


Figura 85.- Régimen Extremal de Cota de Inundación P6

8.2.1.7.PERFIL 7

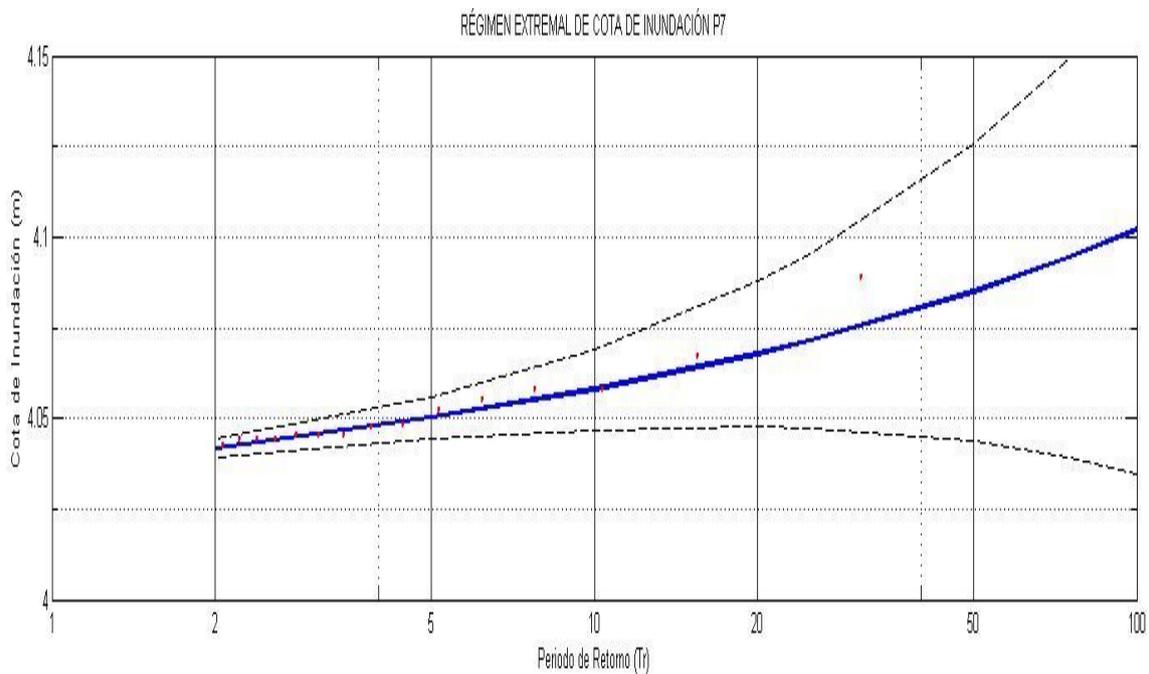


Figura 86.- Régimen Extremal de Cota de Inundación P7

A manera de resumen se elaboró la Tabla 9, donde se muestran los valores de las CI en metros para los diferentes periodos de retorno. Esta información será la base para los mapas de inundación.

PERFIL	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)			
	5	20	50	100
P1 (M)	3.3	3.42	3.47	3.58
P2 (M)	3.8	3.9	3.95	4.02
P3 (M)	4.075	4.1	4.12	4.135
P4 (M)	4.06	4.12	4.21	4.31
P5 (M)	4.026	4.055	4.075	4.085
P6 (M)	4.045	4.060	4.085	4.095
P7 (M)	4.050	4.070	4.085	4.118

Tabla 9.- Cota de Inundación para los Periodos de Retorno (5, 20 ,50 y 100 años)

8.3. CONCLUSIONES

- Los eventos observados en los últimos años podrían coincidir con un evento de inundación de TR 5 años, ya que estos eventos generan una inundación mínima.
- Por otro lado, la situación se va agravando a medida que se analizan los eventos para un mayor Tr, es decir por ejemplo para un Tr de 100 años, los eventos donde inundará mayormente son la Zona B y C.

CAPÍTULO 9

MAPAS DE INUNDACIÓN

9. MAPAS DE INUNDACIÓN

9.1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, debido a los diferentes eventos de inundación ocurridos en Salinas Ecuador, es necesario para la colectividad en general poseer toda la información correspondiente a fin de precautelar a la ciudadanía de impactos negativos de estos eventos. Un gran recurso que se emplea con esta finalidad es la cartografía temática y es por ello por lo que los resultados de este estudio se presentarán a forma de mapas para su buena lectura y fácil comprensión.

Los mapas de inundación que se presentan en este apartado son producto de los resultados máximos de inundación por perfil para el régimen medio de inundación.

9.2. METODOLOGÍA

Para determinar las áreas inundadas se usó un modelo de inundación del tipo simplificado contenido en el Software Qgis 3.4 donde se representó cada valor máximo de inundación asociado a cada periodo de retorno.



Figura 87.- Segmentación de la Playa para simulación numérica de inundación.

Cada uno de estos sectores serán inundados por diferentes cotas de inundación para el régimen medio corregido el 5% de las cotas de inundación superiores mediante el

Software Swash y las diferentes cotas asociadas a los diferentes periodos de retorno es decir para 5, 20, 50 y 100 años.

9.2.1.MAPAS DE INUNDACIÓN REGIMEN EXTREMAL

Debido a la longitud de la serie de datos de oleaje, marea astronómica y marea meteorológica de tan solo 28 años de datos horarios se procede a calcular el periodo de retorno para los eventos de inundación hasta un periodo de retorno de 100 años.

En la Tabla 8, se puede observar un resumen de las cotas de inundación en metros para cada perfil y asociado a cada periodo de retorno (5, 20, 50 y 100 años).

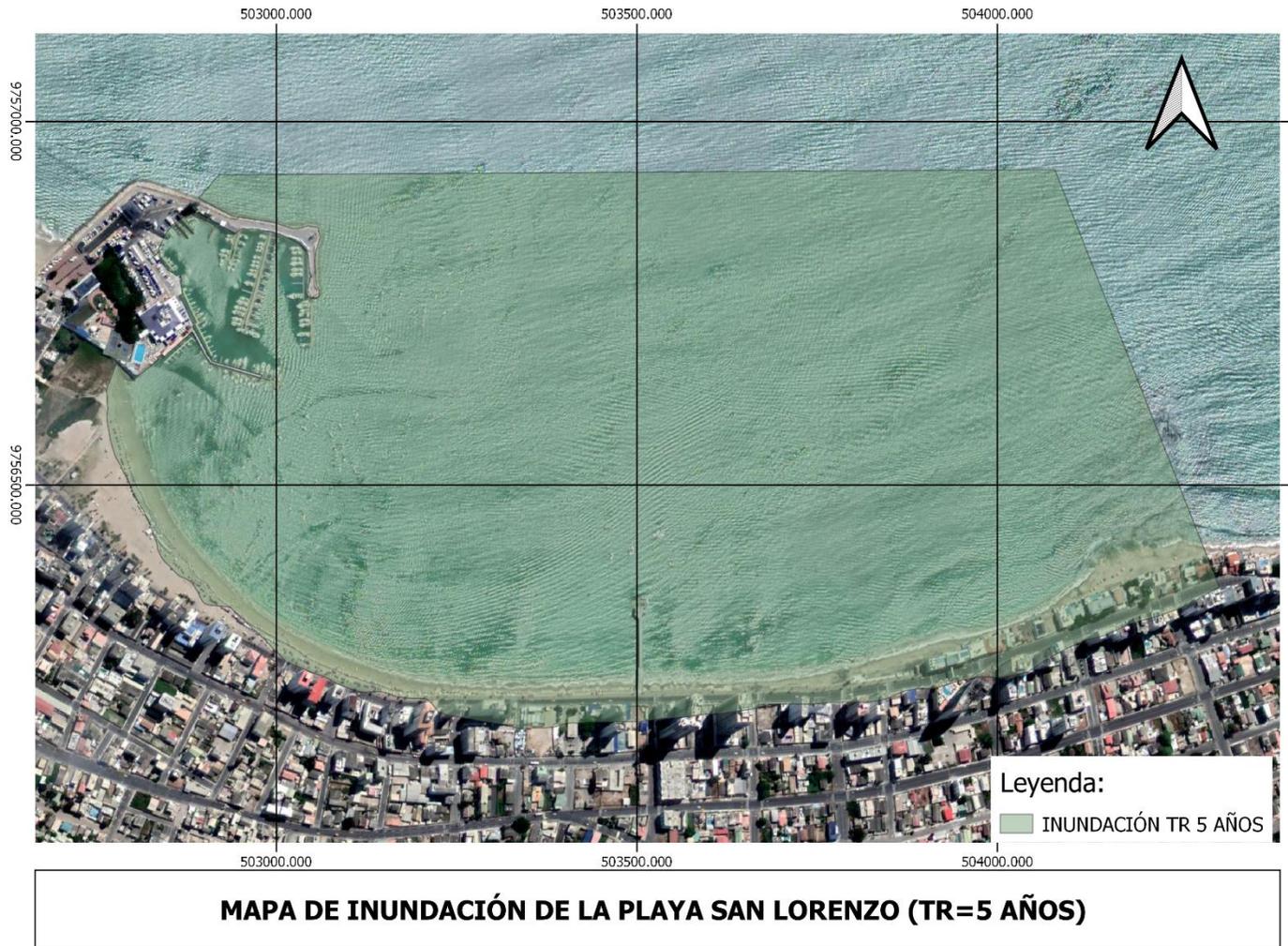


Figura 88.- Mapa de Inundación Tr=5 años.

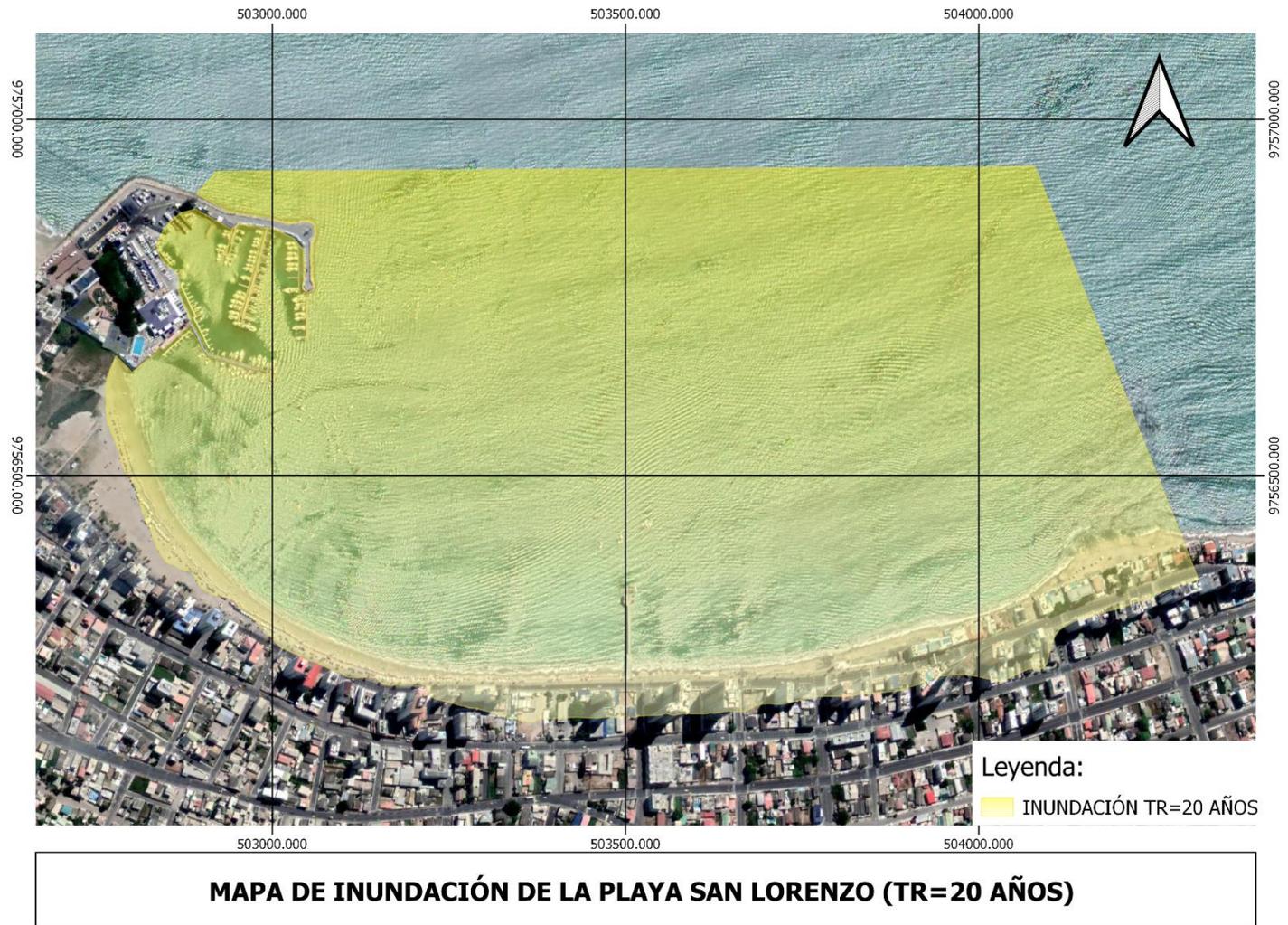


Figura 89.-Mapa de Inundación Tr=20 años.

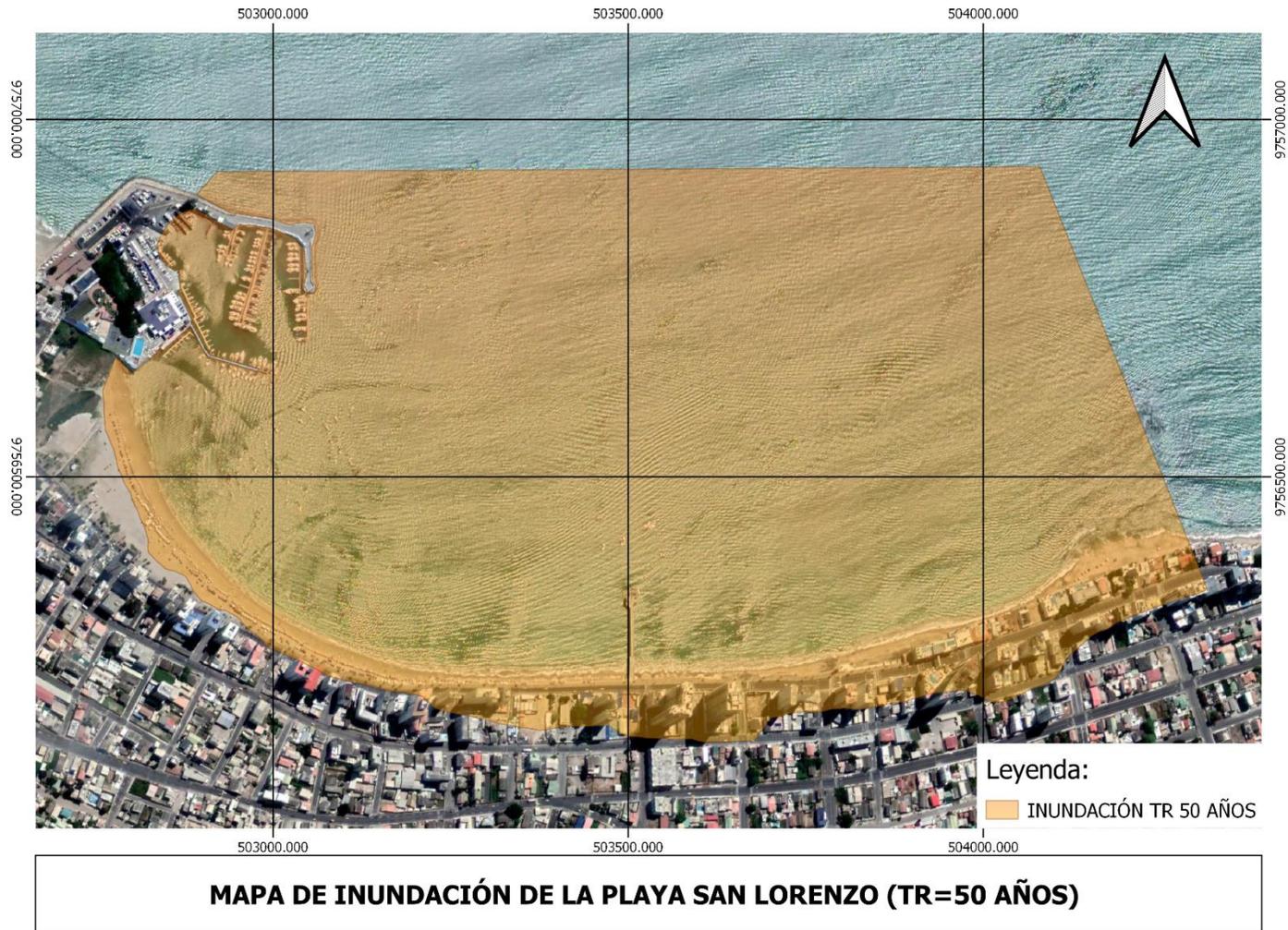


Figura 90.-Mapa de Inundación Tr=50 años.

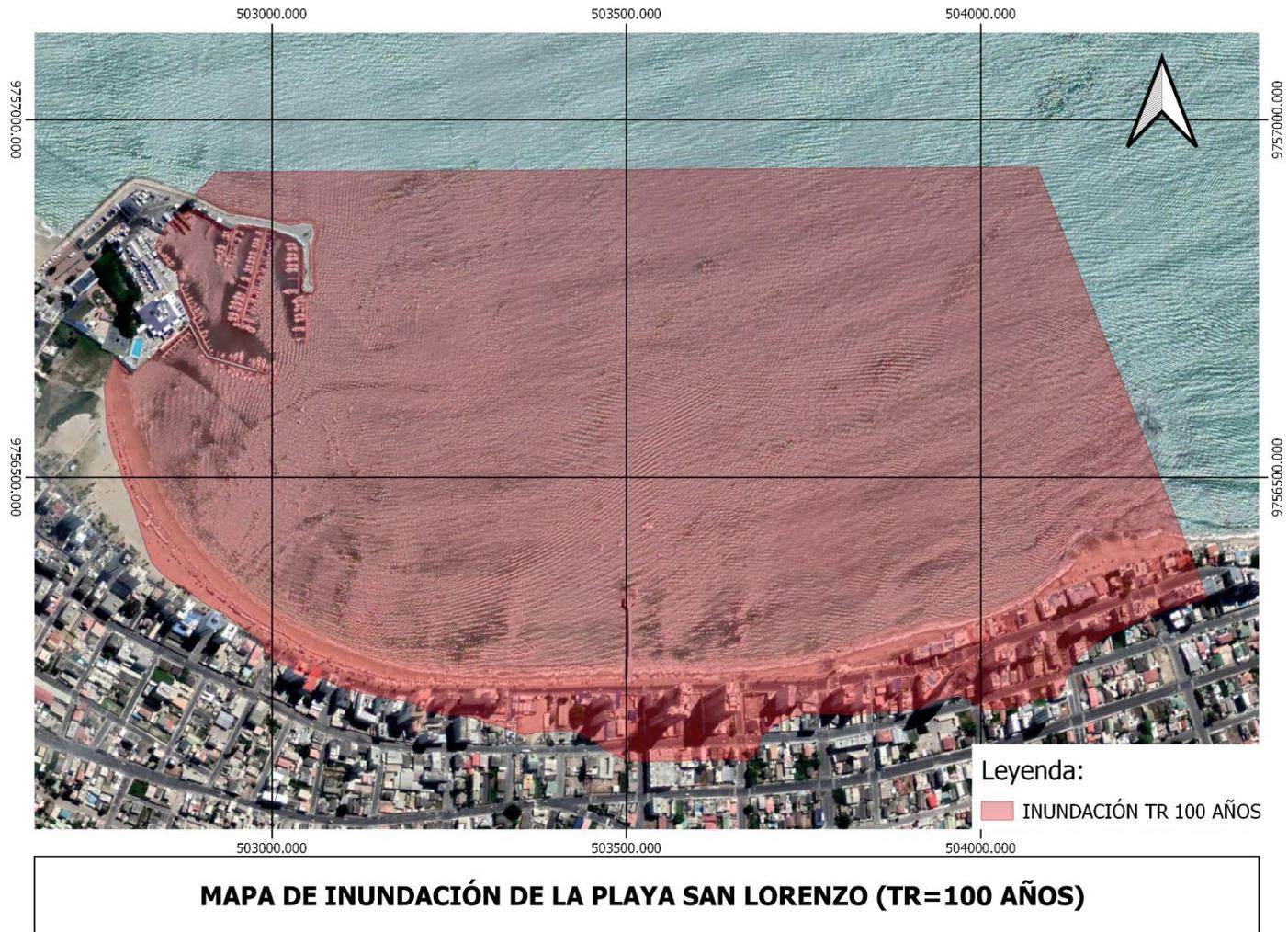


Figura 91.- Mapa de Inundación Tr=100 años

9.3. CONCLUSIONES

- El mapa de inundación Tr 5, muestra eventos de inundación ligeras en las zonas B y C que concuerdan plenamente con los oleajes más energéticos y con los eventos de inundación registrados.
- Los mapas de Tr 20 y 50 muestran un avance paulatino a medida que los valores de Cl aumentan, en ningún caso supera la segunda cuadra del paseo marítimo.
- El mapa de inundación de Tr 100, muestra un avance final hasta la segunda calle del paseo marítimo.

10. CONCLUSIONES

En este trabajo se aplicó una metodología para el cálculo de la cota de inundación en la Playa de San Lorenzo Salinas Ecuador.

En forma general se representó 3 zonas de inundación caracterizadas por los eventos de inundación observados y por el tamaño del grano de arena (D50).

El modelo de propagación de oleaje usado fue el OLUCA-SP ya que este modelo incluye los procesos de transformación del oleaje como la difracción, refracción y reflexión en sus ecuaciones.

Se han comparado 2 distintas formulaciones de run-up, La de Nielsen presentó mayores valores frente a la de Stockdon. Finalmente se eligió la formulación de Stockdon para el cálculo de run-up y posterior estimación de la cota de inundación utilizada para caracterizar régimen medio y extremal.

Entre los regímenes extremos de la cota de inundación calculada de forma empírica y numérica de manera general las cotas encontradas con el método numérico presentan ligeramente menores valores que las calculadas por el método empírico para los distintos perfiles.

De forma general el modelo numérico representó muy bien las últimas inundaciones observadas, la zona A ligeramente inundada por valores de cota de inundación de un Tr mayor a 5 años, la zona central inundada conforme a la evidencia del registro fotográfico y la Zona C mayor mente afectada por los valores de altura de ola significativa reconstruidas en el Punto 7.

Dentro de los factores influyentes para este fenómeno se puede rescatar dos de ellos como los principales; que el paseo marítimo se encuentre asentado sobre la línea de pleamar y el cambio del punto de difracción que generó la ampliación del contra dique del Puerto Salinas Yatch Club.

REFERENCIAS:

Lawless, M., Hird, M., Rodger, D., Gouldby, B., Tozer, N., Pullen, T., Saulter, A., Horsburgh, K., 2016. Report SC140007. Coastal flood forecasting - a Good practice framework. Bristol.

Liu, F., & Losada, J. (2000). El modelado matemático de la propagación del oleaje en ingeniería de costas ;, 37–46.

Camus, P., Mendez, F. J., & Medina, R. (2012). High resolution downscaled ocean waves (DOW) reanalysis in coastal areas. *Coastal Engineering*, 72, 56-68. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2012.09.002>

Pérez, J., Menéndez, M., & Lozada, I. (2017). GOW2: A global wave hindcast for coastal applications. *Coastal Engineering*

Camus, P., Mendez, F.J., Medina, R., 2011. A hybrid efficient method to downscale wave climate to coastal areas. *Coast. Eng.* 58, 851–862. doi:10.1016/j.coastaleng.2011.05.007

González, M., Medina, R., González-Ondina, J., Osorio, A., Méndez, F.J., García, E., 2007. An integrated coastal modeling system for analyzing beach processes and beach restoration projects, *SMC. Compute. Geosci.* 33, 916–931. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2006.12.005>.

Nielsen, P., Hanslow, D.J., 1991. Wave runup distributions on natural beaches. *J. Coast. Res.* 7, 1139–1152. <https://doi.org/10.2307/4297933>.

Stockdon, H.F., Holman, R.A., Howd, P.A., Sallenger, A.H., 2006. Empirical parameterization of setup, swash, and runup. *Coast Eng.* 53, 573–588. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2005.12.005>.

ANEJO A

SELECCIÓN DE CASOS MEDIANTE MAXDISS PROVENIENTES DEL GOW 1

AÑO	MES	DÍA	HORA	H	T	DIR	ID
1989	9	10	12	1.4	16.4	197.10	id_01
2007	8	16	18	1.9	18.2	198.40	id_02
1990	11	19	10	2.0	15.6	198.61	id_03
2008	8	23	10	1.2	11.6	198.61	id_04
1983	7	16	6	2.9	18.5	199.10	id_05
1995	7	23	14	1.0	17.9	199.21	id_06
1989	6	4	11	1.9	22.2	199.71	id_07
1985	9	13	4	2.5	17.5	199.90	id_08
1992	7	2	10	1.6	10.4	201.61	id_09
1987	7	27	12	2.7	15.2	201.61	id_0A
1993	10	2	18	1.2	14.1	202.70	id_0B
1991	11	7	3	2.1	20.4	204.30	id_0C
1995	6	9	10	1.6	13.5	204.50	id_0D
1995	7	28	5	2.2	7.6	204.91	id_0E
1992	5	30	9	2.1	10.0	205.21	id_0F
1995	7	28	3	2.2	12.5	206.01	id_0G
2002	8	8	3	1.6	6.4	206.90	id_0H
2000	8	30	17	1.1	8.9	207.40	id_0I
1993	7	7	2	2.4	22.2	207.50	id_0J
1987	5	21	8	1.7	20.0	207.70	id_0K
1992	8	12	11	1.0	20.4	207.91	id_0L
2003	9	15	16	0.9	15.4	209.31	id_0M
2008	12	23	6	0.9	11.0	209.31	id_0N
1983	8	6	16	3.6	19.6	209.91	id_0O
2001	10	27	14	1.1	5.5	210.11	id_0P
1984	8	20	14	1.4	22.2	210.31	id_0Q
1983	8	6	2	3.2	21.3	210.91	id_0R
1983	8	5	19	2.8	21.7	211.50	id_0S
1989	6	17	0	2.7	19.6	212.31	id_0T
1996	5	29	14	3.1	17.2	212.40	id_0U
2002	10	15	20	1.4	18.5	214.01	id_0V
2005	7	21	13	1.7	16.7	214.20	id_0W
2006	6	17	7	2.1	24.4	214.31	id_0X
1999	6	2	15	2.8	16.9	214.71	id_0Y
1983	12	2	11	1.9	13.7	215.21	id_0Z
1999	5	22	1	2.3	15.4	215.31	id_10
1979	2	12	17	1.2	16.4	215.60	id_11
1987	11	1	16	2.2	18.2	216.80	id_12
2003	1	23	7	1.4	11.2	221.81	id_13
2004	3	13	17	0.8	12.8	224.51	id_14

2007	1	19	9	1.3	13.5	226.20	id_15
2000	1	16	12	1.1	18.2	226.50	id_16
2008	1	6	4	1.7	11.5	226.71	id_17
2005	1	12	22	1.0	10.2	230.71	id_18
1992	1	30	5	1.9	15.4	231.10	id_19
2002	3	28	3	1.0	14.9	231.51	id_1A
1991	12	10	2	1.4	24.4	231.61	id_1B
1998	11	3	20	2.1	20.0	232.21	id_1C
1986	1	27	1	1.8	22.2	232.40	id_1D
1990	1	20	7	1.4	16.7	232.41	id_1E
1981	12	30	17	1.8	18.2	232.60	id_1F
2002	11	2	19	1.0	22.2	235.21	id_1G
2007	12	8	18	1.4	20.4	239.51	id_1H
1991	3	7	20	2.4	16.4	241.11	id_1I
1998	3	30	16	1.6	14.1	242.80	id_1J
1997	11	10	14	2.2	13.7	244.31	id_1K
1998	5	5	5	1.8	12.3	247.21	id_1L
1988	12	15	9	1.1	16.4	247.51	id_1M
1993	2	26	6	1.7	16.4	247.60	id_1N
2007	2	10	9	1.1	11.5	247.61	id_1O
2003	12	24	0	1.3	18.2	248.10	id_1P
2000	2	13	9	1.3	14.3	250.20	id_1Q
1999	12	13	22	0.9	13.7	250.80	id_1R
1999	12	13	23	0.9	18.9	251.71	id_1S
1985	1	11	21	2.0	20.0	253.10	id_1T
1987	3	18	16	2.0	16.9	253.41	id_1U
1979	1	6	2	1.4	11.9	255.60	id_1V
2000	3	26	11	1.2	22.2	255.80	id_1W
1998	2	18	22	1.9	14.1	261.40	id_1X
2006	2	10	9	1.5	24.4	261.61	id_1Y
1986	2	19	22	2.3	18.5	262.01	id_1Z
2000	2	20	10	1.6	17.9	263.10	id_20
1980	2	15	12	1.6	20.4	267.20	id_21
1991	12	30	3	1.2	19.6	267.41	id_22
1998	1	3	22	1.2	8.5	268.31	id_23
1995	1	9	15	1.8	22.2	269.41	id_24
1983	1	18	8	1.0	11.2	270.91	id_25
1996	1	4	0	1.5	14.7	271.71	id_26
1981	1	25	23	2.5	16.4	271.80	id_27
1987	1	16	15	1.9	18.5	272.00	id_28
1998	3	4	10	1.2	13.5	273.11	id_29
1998	2	19	11	2.1	20.8	273.70	id_2A
1994	3	6	21	1.0	16.1	274.21	id_2B
1995	1	17	10	1.8	16.1	275.41	id_2C
1998	3	15	18	1.2	22.2	279.30	id_2D
1983	1	14	17	1.6	12.3	279.60	id_2E

1998	2	20	9	2.4	19.6	281.41	id_2F
2005	12	29	23	1.5	18.5	282.50	id_2G
1983	2	14	22	1.7	20.0	288.80	id_2H
1983	3	6	18	2.6	17.9	289.20	id_2I
1983	2	16	11	1.8	22.2	290.91	id_2J
1998	2	2	10	1.7	24.4	291.61	id_2K
1983	1	17	3	1.3	12.3	292.11	id_2L
1998	2	6	19	2.1	16.4	295.10	id_2M
1983	1	16	14	1.5	16.7	295.20	id_2N
1998	2	10	0	1.7	15.2	295.71	id_2O
1998	2	5	16	2.1	19.2	296.10	id_2P
1998	2	4	21	2.2	22.2	296.90	id_2Q
1983	1	15	21	1.6	13.5	310.80	id_2R
1983	1	15	17	1.7	9.8	316.31	id_2S
1989	9	10	12	1.4	16.4	197.10	id_2T
2007	8	16	18	1.9	18.2	198.40	id_2U
1990	11	19	10	2.0	15.6	198.61	id_2V
2008	8	23	10	1.2	11.6	198.61	id_2W
1983	7	16	6	2.9	18.5	199.10	id_2X
1995	7	23	14	1.0	17.9	199.21	id_2Y
1989	6	4	11	1.9	22.2	199.71	id_2Z
1985	9	13	4	2.5	17.5	199.90	id_30
1992	7	2	10	1.6	10.4	201.61	id_31
1987	7	27	12	2.7	15.2	201.61	id_32
1993	10	2	18	1.2	14.1	202.70	id_33
1991	11	7	3	2.1	20.4	204.30	id_34
1995	6	9	10	1.6	13.5	204.50	id_35
1995	7	28	5	2.2	7.6	204.91	id_36
1992	5	30	9	2.1	10.0	205.21	id_37
1995	7	28	3	2.2	12.5	206.01	id_38
2002	8	8	3	1.6	6.4	206.90	id_39
2000	8	30	17	1.1	8.9	207.40	id_3A
1993	7	7	2	2.4	22.2	207.50	id_3B
1987	5	21	8	1.7	20.0	207.70	id_3C
1992	8	12	11	1.0	20.4	207.91	id_3D
2003	9	15	16	0.9	15.4	209.31	id_3E
2008	12	23	6	0.9	11.0	209.31	id_3F
1983	8	6	16	3.6	19.6	209.91	id_3G
2001	10	27	14	1.1	5.5	210.11	id_3H
1984	8	20	14	1.4	22.2	210.31	id_3I
1983	8	6	2	3.2	21.3	210.91	id_3J
1983	8	5	19	2.8	21.7	211.50	id_3K
1989	6	17	0	2.7	19.6	212.31	id_3L
1996	5	29	14	3.1	17.2	212.40	id_3M
2002	10	15	20	1.4	18.5	214.01	id_3N
2005	7	21	13	1.7	16.7	214.20	id_3O

2006	6	17	7	2.1	24.4	214.31	id_3P
1999	6	2	15	2.8	16.9	214.71	id_3Q
1983	12	2	11	1.9	13.7	215.21	id_3R
1999	5	22	1	2.3	15.4	215.31	id_3S
1979	2	12	17	1.2	16.4	215.60	id_3T
1987	11	1	16	2.2	18.2	216.80	id_3U
2003	1	23	7	1.4	11.2	221.81	id_3V
2004	3	13	17	0.8	12.8	224.51	id_3W
2007	1	19	9	1.3	13.5	226.20	id_3X
2000	1	16	12	1.1	18.2	226.50	id_3Y
2008	1	6	4	1.7	11.5	226.71	id_3Z
2005	1	12	22	1.0	10.2	230.71	id_40
1992	1	30	5	1.9	15.4	231.10	id_41
2002	3	28	3	1.0	14.9	231.51	id_42
1991	12	10	2	1.4	24.4	231.61	id_43
1998	11	3	20	2.1	20.0	232.21	id_44
1986	1	27	1	1.8	22.2	232.40	id_45
1990	1	20	7	1.4	16.7	232.41	id_46
1981	12	30	17	1.8	18.2	232.60	id_47
2002	11	2	19	1.0	22.2	235.21	id_48
2007	12	8	18	1.4	20.4	239.51	id_49
1991	3	7	20	2.4	16.4	241.11	id_4A
1998	3	30	16	1.6	14.1	242.80	id_4B
1997	11	10	14	2.2	13.7	244.31	id_4C
1998	5	5	5	1.8	12.3	247.21	id_4D
1988	12	15	9	1.1	16.4	247.51	id_4E
1993	2	26	6	1.7	16.4	247.60	id_4F
2007	2	10	9	1.1	11.5	247.61	id_4G
2003	12	24	0	1.3	18.2	248.10	id_4H
2000	2	13	9	1.3	14.3	250.20	id_4I
1999	12	13	22	0.9	13.7	250.80	id_4J
1999	12	13	23	0.9	18.9	251.71	id_4K
1985	1	11	21	2.0	20.0	253.10	id_4L
1987	3	18	16	2.0	16.9	253.41	id_4M
1979	1	6	2	1.4	11.9	255.60	id_4N
2000	3	26	11	1.2	22.2	255.80	id_4O
1998	2	18	22	1.9	14.1	261.40	id_4P
2006	2	10	9	1.5	24.4	261.61	id_4Q
1986	2	19	22	2.3	18.5	262.01	id_4R
2000	2	20	10	1.6	17.9	263.10	id_4S
1980	2	15	12	1.6	20.4	267.20	id_4T
1991	12	30	3	1.2	19.6	267.41	id_4U
1998	1	3	22	1.2	8.5	268.31	id_4V
1995	1	9	15	1.8	22.2	269.41	id_4W
1983	1	18	8	1.0	11.2	270.91	id_4X
1996	1	4	0	1.5	14.7	271.71	id_4Y

1981	1	25	23	2.5	16.4	271.80	id_4Z
1987	1	16	15	1.9	18.5	272.00	id_50
1998	3	4	10	1.2	13.5	273.11	id_51
1998	2	19	11	2.1	20.8	273.70	id_52
1994	3	6	21	1.0	16.1	274.21	id_53
1995	1	17	10	1.8	16.1	275.41	id_54
1998	3	15	18	1.2	22.2	279.30	id_55
1983	1	14	17	1.6	12.3	279.60	id_56
1998	2	20	9	2.4	19.6	281.41	id_57
2005	12	29	23	1.5	18.5	282.50	id_58
1983	2	14	22	1.7	20.0	288.80	id_59
1983	3	6	18	2.6	17.9	289.20	id_5A
1983	2	16	11	1.8	22.2	290.91	id_5B
1998	2	2	10	1.7	24.4	291.61	id_5C
1983	1	17	3	1.3	12.3	292.11	id_5D
1998	2	6	19	2.1	16.4	295.10	id_5E
1983	1	16	14	1.5	16.7	295.20	id_5F
1998	2	10	0	1.7	15.2	295.71	id_5G
1998	2	5	16	2.1	19.2	296.10	id_5H
1998	2	4	21	2.2	22.2	296.90	id_5I
1983	1	15	21	1.6	13.5	310.80	id_5J
1983	1	15	17	1.7	9.8	316.31	id_5K

ANEJO B

SELECCIÓN DE CASOS MEDIANTE MAXDISS PROVENIENTES DEL PUNTO DE CONTROL 1

AÑO	MES	DÍA	HORA	HS (M)	TP (S)	DIR (º)	ID
1995	7	28	9	2.0665	8.0146	206.9279	id_01
1992	5	30	9	2.0778	10.2778	210.4181	id_02
1995	7	28	15	1.7954	8.1928	212.0211	id_03
1997	7	6	9	1.3172	6.107	212.6208	id_04
1992	7	2	5	1.6129	10.4779	212.9825	id_05
1995	8	6	3	1.3096	10.0855	213.0375	id_06
2001	6	8	7	1.3634	12.5782	213.3076	id_07
1981	8	8	20	1.7401	12.0084	213.9492	id_08
2002	8	8	3	1.5896	6.7573	215.135	id_09
2000	8	30	12	1.0183	9.3862	215.3182	id_0A
2008	9	6	11	1.9412	11.6151	216.1718	id_0B
2004	7	8	17	1.0695	12.4305	216.22	id_0C
2008	12	23	5	0.86584	11.1305	217.5007	id_0D
1985	8	9	15	1.8532	13.905	217.8419	id_0E
1995	7	28	3	2.1921	12.7295	218.7397	id_0F
1995	7	21	18	0.89964	13.5468	219.1035	id_0G
1981	7	15	14	1.6866	14.8928	219.1599	id_0H
2001	10	27	14	1.0587	5.5259	219.3062	id_0I
1988	7	7	15	1.2884	14.8928	220.6768	id_0J
1984	10	9	7	1.5145	17.676	220.7795	id_0K
2000	1	28	3	0.91059	15.3298	220.8832	id_0L
1992	8	31	14	1.6077	13.2071	221.5571	id_0M
1987	7	27	12	2.7073	15.3298	221.9889	id_0N
1993	5	23	2	2.4286	14.0916	222.0371	id_0O
1988	8	16	22	2.1387	15.1081	222.1412	id_0P
1991	8	3	22	1.2223	17.676	222.3958	id_0Q
1983	7	16	13	2.3557	18.3016	222.7901	id_0R
1985	6	4	11	1.0882	14.2834	223.727	id_0S
1995	7	23	10	0.90194	18.3016	224.0932	id_0T
1985	3	14	8	1.3866	19.3304	224.1048	id_0U
1988	8	15	11	2.4778	16.2885	224.7949	id_0V
1989	6	4	10	0.95937	22.264	225.713	id_0W
2008	1	6	14	1.4721	11.6151	227.2758	id_0X
2004	12	14	22	1.2379	13.0438	227.5267	id_0Y
1979	9	5	16	1.2271	20.485	227.6199	id_0Z
1993	5	21	7	2.2694	16.5478	227.7081	id_10
1985	9	12	12	1.8587	19.7001	227.8936	id_11
1995	12	12	15	0.7332	15.1081	228.8621	id_12
1985	9	23	22	1.5227	15.3298	228.8833	id_13

2002	11	26	11	1.1787	10.9038	228.993	id_14
1994	6	20	8	2.0563	17.676	229.0699	id_15
1995	4	27	10	1.8073	16.0374	229.0906	id_16
1986	5	11	11	1.0847	16.2885	231.0274	id_17
2001	9	3	5	0.75025	22.2641	231.1337	id_18
2004	3	13	15	0.78888	12.7295	231.1739	id_19
1979	10	24	22	1.3604	16.5478	231.7525	id_1A
1990	11	14	16	0.9842	20.0847	232.0834	id_1B
1986	4	16	1	0.73925	20.0848	232.3082	id_1C
1998	5	4	5	1.4329	13.3747	232.358	id_1D
1980	5	21	2	1.9796	15.5584	233.8159	id_1E
2005	12	10	1	0.79127	16.8157	234.1098	id_1F
1983	8	7	11	1.8786	17.9832	234.7007	id_1G
1999	9	2	1	1.1926	18.6318	236.4493	id_1H
1983	3	28	21	1.6695	13.7234	236.7478	id_1I
2005	3	22	2	1.0612	12.8847	236.8945	id_1J
1989	7	10	4	1.6884	17.9833	237.3042	id_1K
2005	1	19	5	0.97051	10.3768	238.5968	id_1L
1999	5	20	21	1.5368	16.8158	238.7854	id_1M
2006	6	17	23	1.565	20.0847	239.7967	id_1N
1998	12	10	16	0.88423	14.2834	239.8672	id_1O
1989	6	21	11	1.3901	18.3016	240.1047	id_1P
1981	2	27	17	1.2997	14.6838	240.4249	id_1Q
1988	11	18	0	1.0181	17.9832	241.306	id_1R
2003	11	14	22	0.86311	18.9745	242.199	id_1S
1998	5	28	23	1.0208	21.7903	243.1899	id_1T
1984	1	2	8	1.5381	12.0084	243.6149	id_1U
1998	1	22	5	1.296	12.5782	245.0647	id_1V
1993	4	25	23	1.1315	20.0847	245.1784	id_1W
1979	11	17	2	1.0747	14.8928	246.0542	id_1X
1983	8	5	22	1.2294	21.7903	246.1611	id_1Y
1981	4	25	19	0.82476	22.264	246.69	id_1Z
1993	3	1	4	1.1632	16.5478	247.4347	id_20
1989	2	26	17	1.5398	14.0916	248.3335	id_21
1997	11	12	1	1.7507	12.8847	251.5678	id_22
1983	3	10	19	1.3509	16.2885	252.1856	id_23
2007	11	30	6	0.73339	17.9832	252.4465	id_24
1998	1	3	23	1.1741	8.712	253.1759	id_25
1987	2	24	7	0.94898	20.0848	253.7671	id_26
1999	12	9	1	0.7	24.3902	254.0035	id_27
2004	1	7	20	0.77015	15.1081	254.0671	id_28
2005	1	19	15	1.0224	9.8108	254.2007	id_29
1980	2	23	16	1.6538	16.2885	254.2318	id_2A
1992	2	18	0	0.92804	12.5782	254.3575	id_2B
1997	9	30	15	1.1917	18.3016	254.8909	id_2C

1997	12	17	14	1.1264	12.7295	254.9796	id_2D
2002	12	28	13	0.91556	16.8157	255.6368	id_2E
1980	2	23	22	1.8749	16.5478	257.0574	id_2F
1993	2	15	17	1.3224	20.0847	258.1171	id_2G
1985	12	30	12	1.2662	14.2834	259.8032	id_2H
1980	2	26	8	1.7903	14.8928	260.2701	id_2I
1980	11	16	4	0.95975	14.2834	260.4633	id_2J
1986	3	16	11	1.6586	18.3016	261.3421	id_2K
1986	1	26	10	0.91658	24.3902	262.3906	id_2L
1995	12	28	8	1.0614	22.264	262.7628	id_2M
1980	2	25	16	2.0265	15.1081	262.7884	id_2N
1980	2	24	5	1.966	17.9832	262.8048	id_2O
1986	12	25	14	1.119	20.0848	263.9507	id_2P
1994	1	17	9	0.70832	20.485	264.7048	id_2Q
1998	1	3	10	1.1271	11.1306	265.2611	id_2R
2005	12	17	13	1.1072	16.5478	265.4043	id_2S
1986	2	28	22	1.2894	22.264	265.5955	id_2T
1983	1	23	21	1.454	14.2834	266.3002	id_2U
2008	2	21	1	1.4308	18.3016	266.3903	id_2V
1986	2	19	15	1.8202	19.7001	266.6384	id_2W
2002	11	3	1	0.81064	22.264	268.2186	id_2X
2003	1	17	17	1.3173	16.8157	269.0506	id_2Y
1995	1	17	21	1.5537	16.0374	270.9152	id_2Z
1980	2	5	2	0.95526	11.8743	271.0297	id_30
1983	1	14	16	1.5101	12.5782	272.3201	id_31
1998	1	3	2	1.3536	8.8528	272.5674	id_32
1994	3	7	7	0.90079	15.5584	272.7312	id_33
1993	12	19	3	1.584	20.485	272.7398	id_34
2006	2	10	8	1.2448	24.3902	273.1316	id_35
1994	1	23	8	0.91661	18.3016	273.6837	id_36
1992	1	18	9	1.1336	18.3016	274.6707	id_37
1981	1	25	20	2.1784	16.5478	274.8479	id_38
1998	3	4	4	1.0527	13.7234	274.9652	id_39
1998	2	22	23	1.7838	16.5478	275.1055	id_3A
1998	3	14	19	1.2622	12.8847	276.7232	id_3B
2004	1	21	23	1.3684	20.0848	277.4628	id_3C
1980	2	5	6	0.90252	20.485	277.6308	id_3D
2002	1	13	17	2.0782	18.6318	278.4083	id_3E
1995	12	25	12	1.303	15.3298	279.1327	id_3F
1983	3	7	21	1.9823	16.2885	279.8847	id_3G
1998	2	19	18	1.9196	21.7903	280.3688	id_3H
1986	3	2	5	1.6787	18.9745	280.5129	id_3I
1986	3	10	17	1.1623	20.485	281.0246	id_3J
1998	3	15	18	1.1182	22.264	281.5872	id_3K
1983	2	14	11	1.429	22.264	284.0513	id_3L

1997	2	15	10	1.3178	18.3016	284.7812	id_3M
2001	1	17	5	1.1043	16.2885	284.9158	id_3N
2006	1	1	14	1.8771	20.0847	285.2385	id_3O
1983	1	30	5	1.7637	24.3902	288.822	id_3P
2005	12	31	20	1.6825	22.264	288.8869	id_3Q
1983	1	31	1	2.2022	20.902	289.2396	id_3R
1983	3	6	18	2.3975	17.9832	289.4982	id_3S
1983	2	6	2	1.4213	13.7235	289.601	id_3T
1983	2	25	4	1.6379	17.3794	291.2651	id_3U
1998	2	2	20	2.0301	22.264	294.3097	id_3V
1983	1	16	13	1.3791	16.5478	294.5938	id_3W
1998	2	10	5	1.5609	15.1081	295.1167	id_3X
1998	2	11	16	1.5835	19.7001	295.3862	id_3Y
1998	2	9	19	1.7398	15.7942	295.4131	id_3Z
1998	2	4	1	2.1732	18.9745	295.6216	id_40
1998	2	4	21	2.3093	22.264	296.396	id_41
1998	2	12	18	1.8924	16.8157	296.5708	id_42
1998	2	12	0	1.7802	18.3016	297.8404	id_43
1983	1	17	0	1.2877	12.7295	299.8201	id_44
1983	1	15	4	1.5352	12.2864	300.1197	id_45
1983	1	15	18	1.6042	9.9921	304.5342	id_46
1995	7	28	9	2.0665	8.0146	206.9279	id_47
1992	5	30	9	2.0778	10.2778	210.4181	id_48
1995	7	28	15	1.7954	8.1928	212.0211	id_49
1997	7	6	9	1.3172	6.107	212.6208	id_4A
1992	7	2	5	1.6129	10.4779	212.9825	id_4B
1995	8	6	3	1.3096	10.0855	213.0375	id_4C
2001	6	8	7	1.3634	12.5782	213.3076	id_4D
1981	8	8	20	1.7401	12.0084	213.9492	id_4E
2002	8	8	3	1.5896	6.7573	215.135	id_4F
2000	8	30	12	1.0183	9.3862	215.3182	id_4G
2008	9	6	11	1.9412	11.6151	216.1718	id_4H
2004	7	8	17	1.0695	12.4305	216.22	id_4I
2008	12	23	5	0.86584	11.1305	217.5007	id_4J
1985	8	9	15	1.8532	13.905	217.8419	id_4K
1995	7	28	3	2.1921	12.7295	218.7397	id_4L
1995	7	21	18	0.89964	13.5468	219.1035	id_4M
1981	7	15	14	1.6866	14.8928	219.1599	id_4N
2001	10	27	14	1.0587	5.5259	219.3062	id_4O
1988	7	7	15	1.2884	14.8928	220.6768	id_4P
1984	10	9	7	1.5145	17.676	220.7795	id_4Q
2000	1	28	3	0.91059	15.3298	220.8832	id_4R
1992	8	31	14	1.6077	13.2071	221.5571	id_4S
1987	7	27	12	2.7073	15.3298	221.9889	id_4T
1993	5	23	2	2.4286	14.0916	222.0371	id_4U

1988	8	16	22	2.1387	15.1081	222.1412	id_4V
1991	8	3	22	1.2223	17.676	222.3958	id_4W
1983	7	16	13	2.3557	18.3016	222.7901	id_4X
1985	6	4	11	1.0882	14.2834	223.727	id_4Y
1995	7	23	10	0.90194	18.3016	224.0932	id_4Z
1985	3	14	8	1.3866	19.3304	224.1048	id_50
1988	8	15	11	2.4778	16.2885	224.7949	id_51
1989	6	4	10	0.95937	22.264	225.713	id_52
2008	1	6	14	1.4721	11.6151	227.2758	id_53
2004	12	14	22	1.2379	13.0438	227.5267	id_54
1979	9	5	16	1.2271	20.485	227.6199	id_55
1993	5	21	7	2.2694	16.5478	227.7081	id_56
1985	9	12	12	1.8587	19.7001	227.8936	id_57
1995	12	12	15	0.7332	15.1081	228.8621	id_58
1985	9	23	22	1.5227	15.3298	228.8833	id_59
2002	11	26	11	1.1787	10.9038	228.993	id_5A
1994	6	20	8	2.0563	17.676	229.0699	id_5B
1995	4	27	10	1.8073	16.0374	229.0906	id_5C
1986	5	11	11	1.0847	16.2885	231.0274	id_5D
2001	9	3	5	0.75025	22.2641	231.1337	id_5E
2004	3	13	15	0.78888	12.7295	231.1739	id_5F
1979	10	24	22	1.3604	16.5478	231.7525	id_5G
1990	11	14	16	0.9842	20.0847	232.0834	id_5H
1986	4	16	1	0.73925	20.0848	232.3082	id_5I
1998	5	4	5	1.4329	13.3747	232.358	id_5J
1980	5	21	2	1.9796	15.5584	233.8159	id_5K
2005	12	10	1	0.79127	16.8157	234.1098	id_5L
1983	8	7	11	1.8786	17.9832	234.7007	id_5M
1999	9	2	1	1.1926	18.6318	236.4493	id_5N
1983	3	28	21	1.6695	13.7234	236.7478	id_5O
2005	3	22	2	1.0612	12.8847	236.8945	id_5P
1989	7	10	4	1.6884	17.9833	237.3042	id_5Q
2005	1	19	5	0.97051	10.3768	238.5968	id_5R
1999	5	20	21	1.5368	16.8158	238.7854	id_5S
2006	6	17	23	1.565	20.0847	239.7967	id_5T
1998	12	10	16	0.88423	14.2834	239.8672	id_5U
1989	6	21	11	1.3901	18.3016	240.1047	id_5V
1981	2	27	17	1.2997	14.6838	240.4249	id_5W
1988	11	18	0	1.0181	17.9832	241.306	id_5X
2003	11	14	22	0.86311	18.9745	242.199	id_5Y
1998	5	28	23	1.0208	21.7903	243.1899	id_5Z
1984	1	2	8	1.5381	12.0084	243.6149	id_60
1998	1	22	5	1.296	12.5782	245.0647	id_61
1993	4	25	23	1.1315	20.0847	245.1784	id_62
1979	11	17	2	1.0747	14.8928	246.0542	id_63

1983	8	5	22	1.2294	21.7903	246.1611	id_64
1981	4	25	19	0.82476	22.264	246.69	id_65
1993	3	1	4	1.1632	16.5478	247.4347	id_66
1989	2	26	17	1.5398	14.0916	248.3335	id_67
1997	11	12	1	1.7507	12.8847	251.5678	id_68
1983	3	10	19	1.3509	16.2885	252.1856	id_69
2007	11	30	6	0.73339	17.9832	252.4465	id_6A
1998	1	3	23	1.1741	8.712	253.1759	id_6B
1987	2	24	7	0.94898	20.0848	253.7671	id_6C
1999	12	9	1	0.7	24.3902	254.0035	id_6D
2004	1	7	20	0.77015	15.1081	254.0671	id_6E
2005	1	19	15	1.0224	9.8108	254.2007	id_6F
1980	2	23	16	1.6538	16.2885	254.2318	id_6G
1992	2	18	0	0.92804	12.5782	254.3575	id_6H
1997	9	30	15	1.1917	18.3016	254.8909	id_6I
1997	12	17	14	1.1264	12.7295	254.9796	id_6J
2002	12	28	13	0.91556	16.8157	255.6368	id_6K
1980	2	23	22	1.8749	16.5478	257.0574	id_6L
1993	2	15	17	1.3224	20.0847	258.1171	id_6M
1985	12	30	12	1.2662	14.2834	259.8032	id_6N
1980	2	26	8	1.7903	14.8928	260.2701	id_6O
1980	11	16	4	0.95975	14.2834	260.4633	id_6P
1986	3	16	11	1.6586	18.3016	261.3421	id_6Q
1986	1	26	10	0.91658	24.3902	262.3906	id_6R
1995	12	28	8	1.0614	22.264	262.7628	id_6S
1980	2	25	16	2.0265	15.1081	262.7884	id_6T
1980	2	24	5	1.966	17.9832	262.8048	id_6U
1986	12	25	14	1.119	20.0848	263.9507	id_6V
1994	1	17	9	0.70832	20.485	264.7048	id_6W
1998	1	3	10	1.1271	11.1306	265.2611	id_6X
2005	12	17	13	1.1072	16.5478	265.4043	id_6Y
1986	2	28	22	1.2894	22.264	265.5955	id_6Z
1983	1	23	21	1.454	14.2834	266.3002	id_70
2008	2	21	1	1.4308	18.3016	266.3903	id_71
1986	2	19	15	1.8202	19.7001	266.6384	id_72
2002	11	3	1	0.81064	22.264	268.2186	id_73
2003	1	17	17	1.3173	16.8157	269.0506	id_74
1995	1	17	21	1.5537	16.0374	270.9152	id_75
1980	2	5	2	0.95526	11.8743	271.0297	id_76
1983	1	14	16	1.5101	12.5782	272.3201	id_77
1998	1	3	2	1.3536	8.8528	272.5674	id_78
1994	3	7	7	0.90079	15.5584	272.7312	id_79
1993	12	19	3	1.584	20.485	272.7398	id_7A
2006	2	10	8	1.2448	24.3902	273.1316	id_7B
1994	1	23	8	0.91661	18.3016	273.6837	id_7C

1992	1	18	9	1.1336	18.3016	274.6707	id_7D
1981	1	25	20	2.1784	16.5478	274.8479	id_7E
1998	3	4	4	1.0527	13.7234	274.9652	id_7F
1998	2	22	23	1.7838	16.5478	275.1055	id_7G
1998	3	14	19	1.2622	12.8847	276.7232	id_7H
2004	1	21	23	1.3684	20.0848	277.4628	id_7I
1980	2	5	6	0.90252	20.485	277.6308	id_7J
2002	1	13	17	2.0782	18.6318	278.4083	id_7K
1995	12	25	12	1.303	15.3298	279.1327	id_7L
1983	3	7	21	1.9823	16.2885	279.8847	id_7M
1998	2	19	18	1.9196	21.7903	280.3688	id_7N
1986	3	2	5	1.6787	18.9745	280.5129	id_7O
1986	3	10	17	1.1623	20.485	281.0246	id_7P
1998	3	15	18	1.1182	22.264	281.5872	id_7Q
1983	2	14	11	1.429	22.264	284.0513	id_7R
1997	2	15	10	1.3178	18.3016	284.7812	id_7S
2001	1	17	5	1.1043	16.2885	284.9158	id_7T
2006	1	1	14	1.8771	20.0847	285.2385	id_7U
1983	1	30	5	1.7637	24.3902	288.822	id_7V
2005	12	31	20	1.6825	22.264	288.8869	id_7W
1983	1	31	1	2.2022	20.902	289.2396	id_7X
1983	3	6	18	2.3975	17.9832	289.4982	id_7Y
1983	2	6	2	1.4213	13.7235	289.601	id_7Z
1983	2	25	4	1.6379	17.3794	291.2651	id_80
1998	2	2	20	2.0301	22.264	294.3097	id_81
1983	1	16	13	1.3791	16.5478	294.5938	id_82
1998	2	10	5	1.5609	15.1081	295.1167	id_83
1998	2	11	16	1.5835	19.7001	295.3862	id_84
1998	2	9	19	1.7398	15.7942	295.4131	id_85
1998	2	4	1	2.1732	18.9745	295.6216	id_86
1998	2	4	21	2.3093	22.264	296.396	id_87
1998	2	12	18	1.8924	16.8157	296.5708	id_88
1998	2	12	0	1.7802	18.3016	297.8404	id_89
1983	1	17	0	1.2877	12.7295	299.8201	id_8A
1983	1	15	4	1.5352	12.2864	300.1197	id_8B
1983	1	15	18	1.6042	9.9921	304.5342	id_8C

ANEJO C

CÁLCULO DE RUN UP EMPÍRICO POR PERFIL

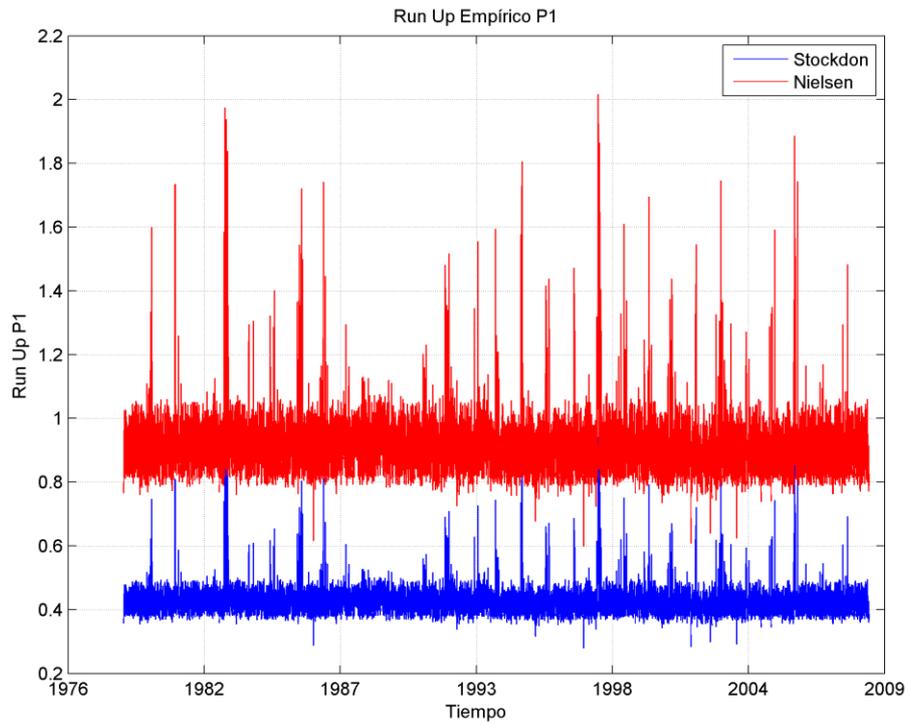


Figura 1.- Run Up empírico para el Perfil de inundación 1

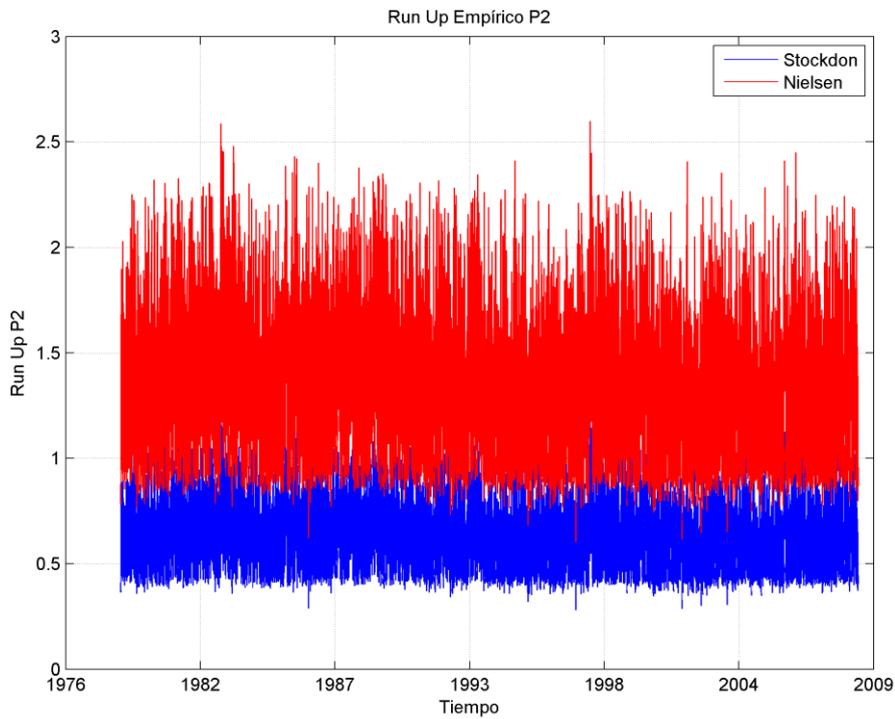


Figura 2.- Run Up empírico para el Perfil de Inundación 2

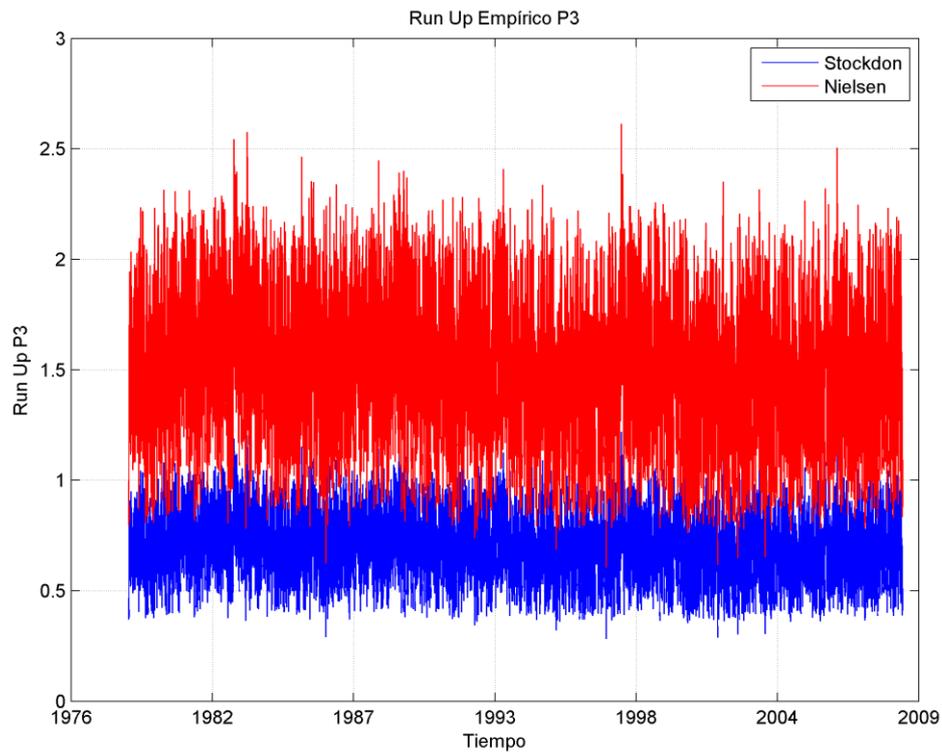


Figura 3.- Run Up empírico para el Perfil de Inundación 3

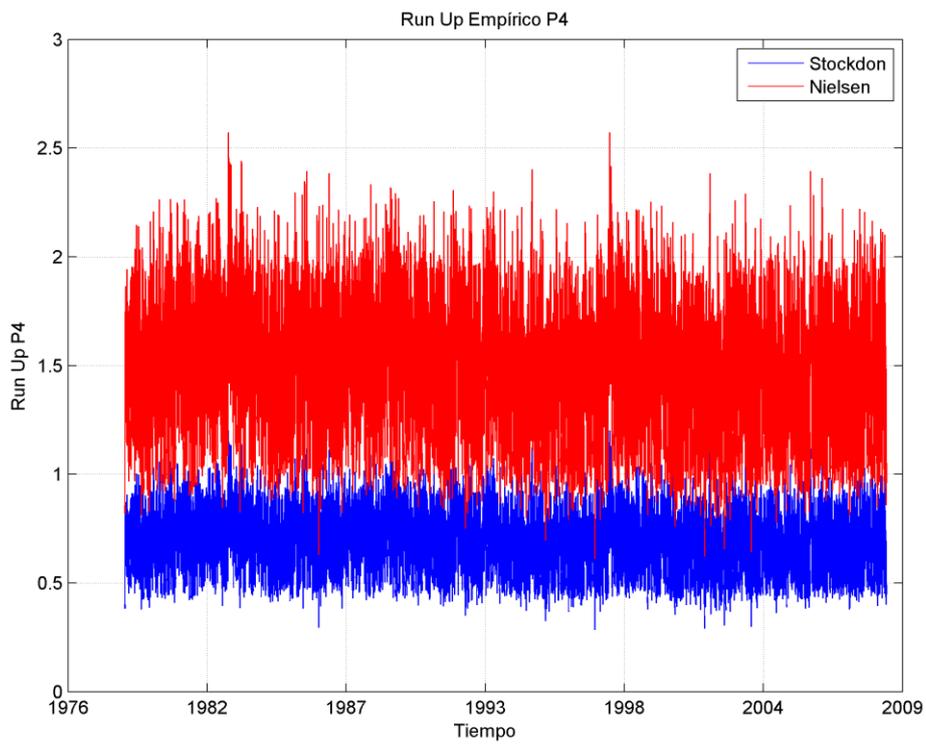


Figura 4.- Run Up empírico para el Perfil de Inundación 4

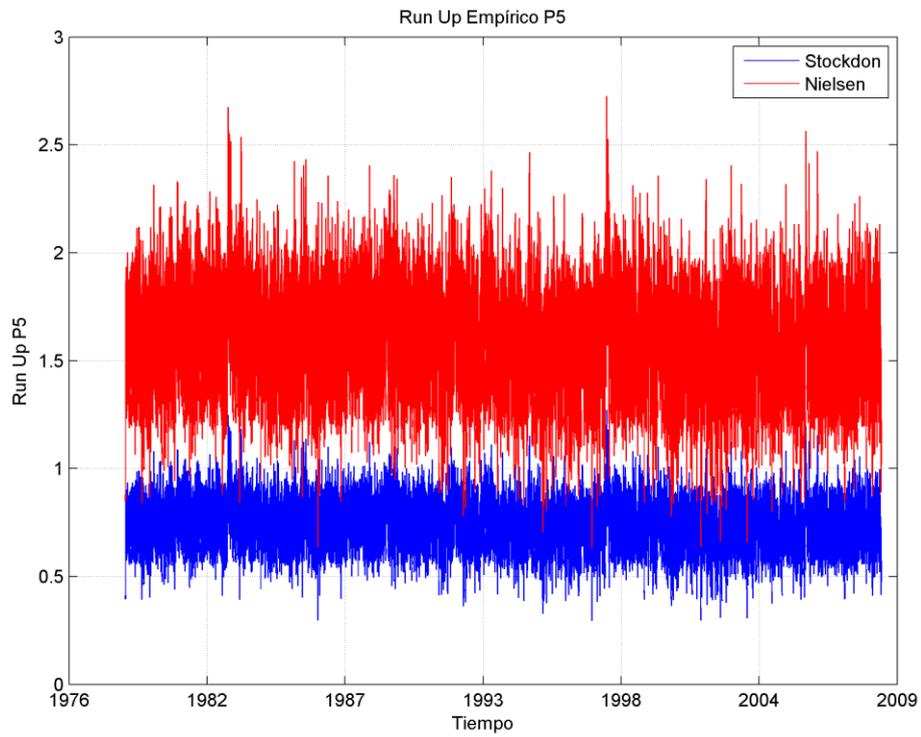


Figura 5.- Run Up empírico para el Perfil de Inundación 5

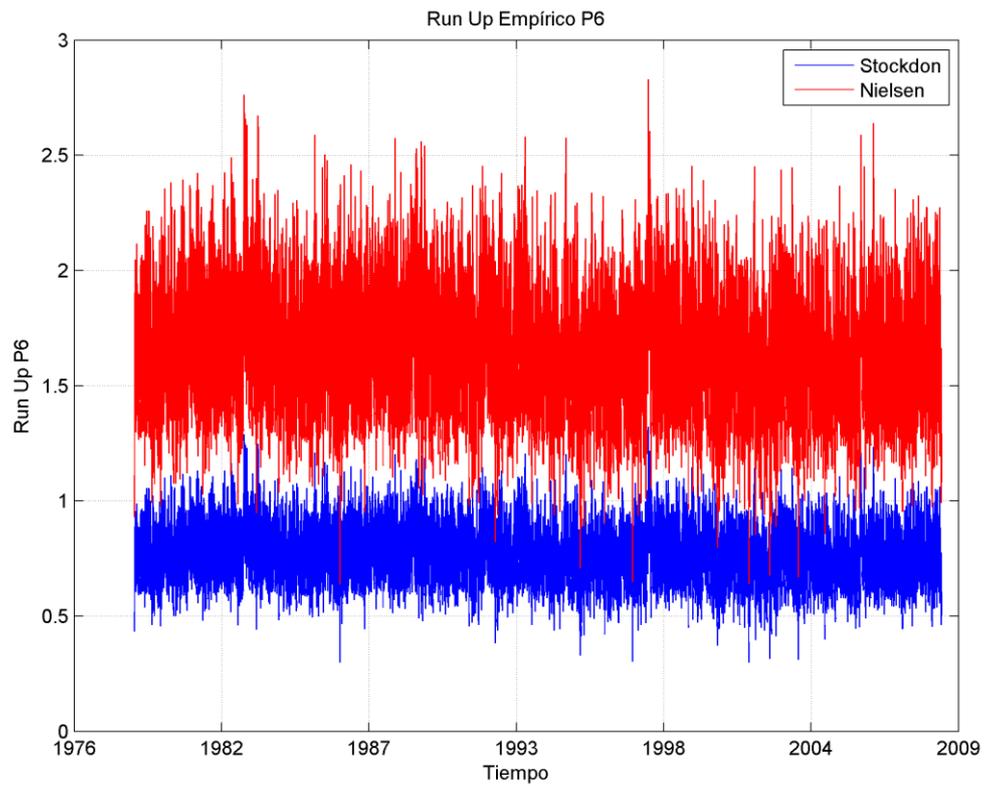


Figura 6 Run Up empírico para el Perfil de Inundación 6

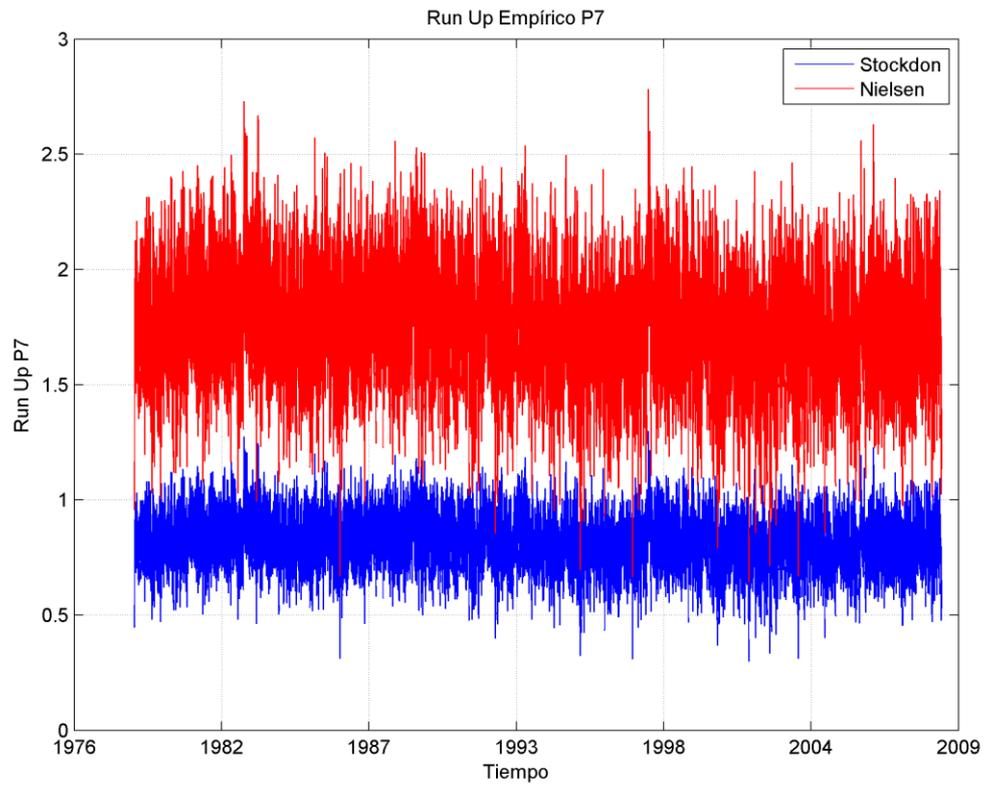


Figura 7.- Run Up empírico para el Perfil de Inundación 7

ANEJO D

COTAS DE INUNDACIÓN EMPÍRICA DE CADA PERFIL

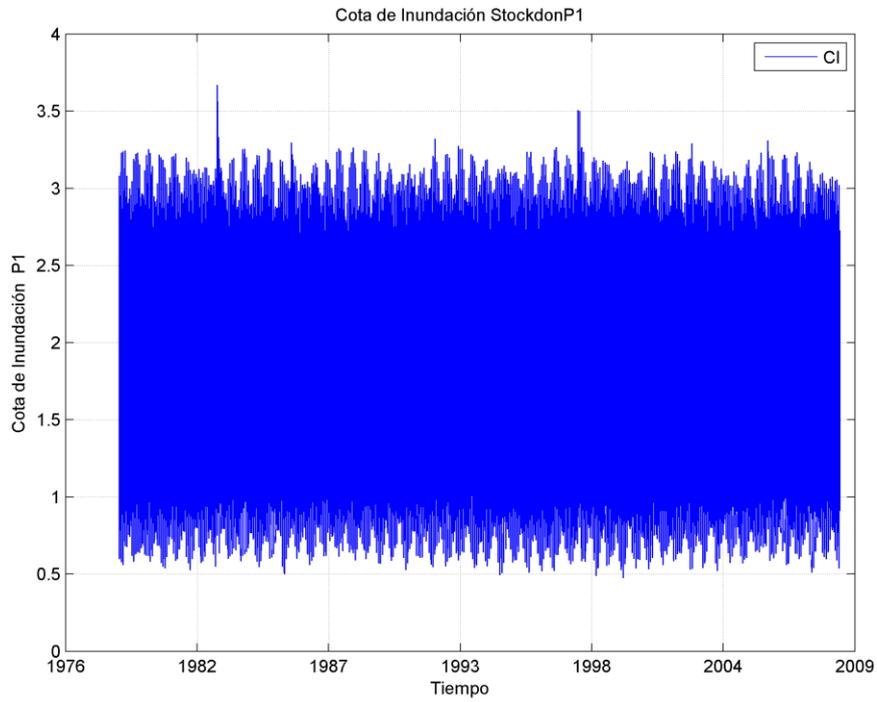


Figura 1.- Cota de Inundación Perfil 1

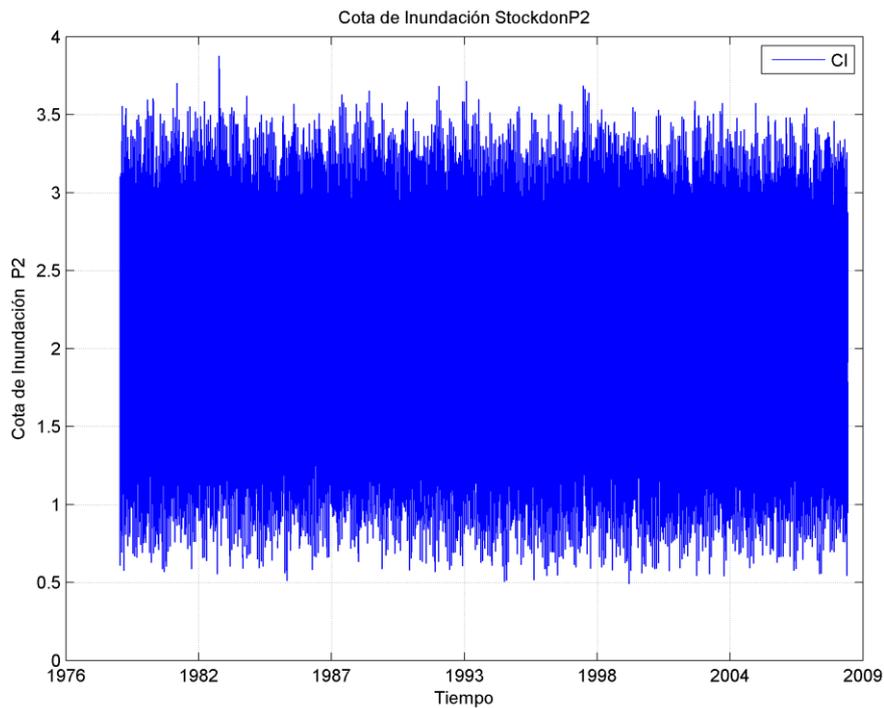


Figura 2. Cota de Inundación Perfil 2

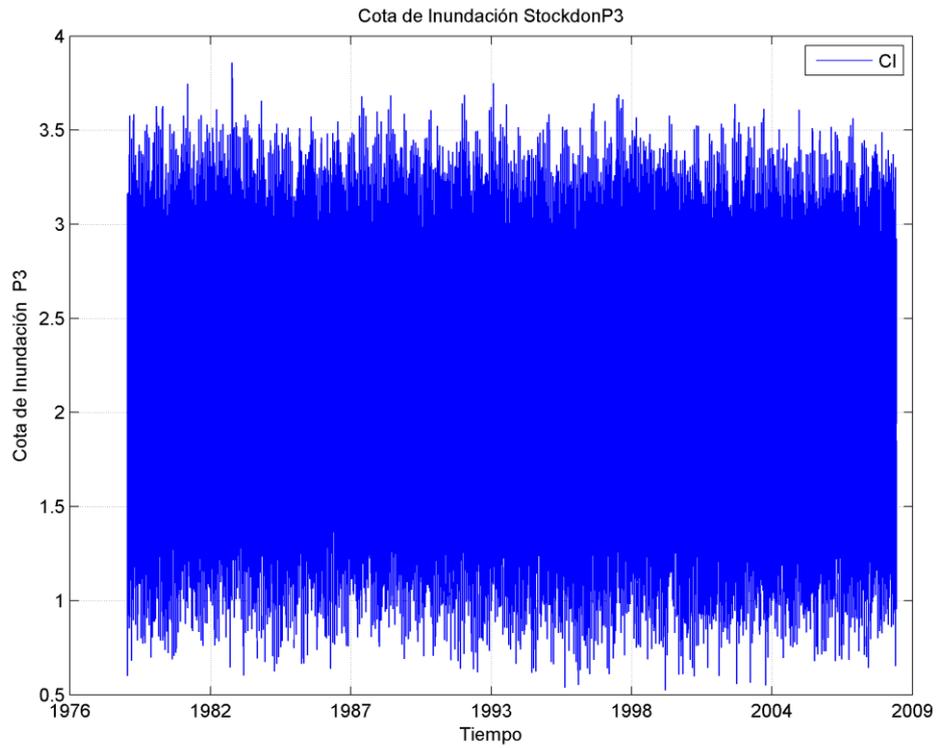


Figura 3.- Cota de Inundación Perfil 3

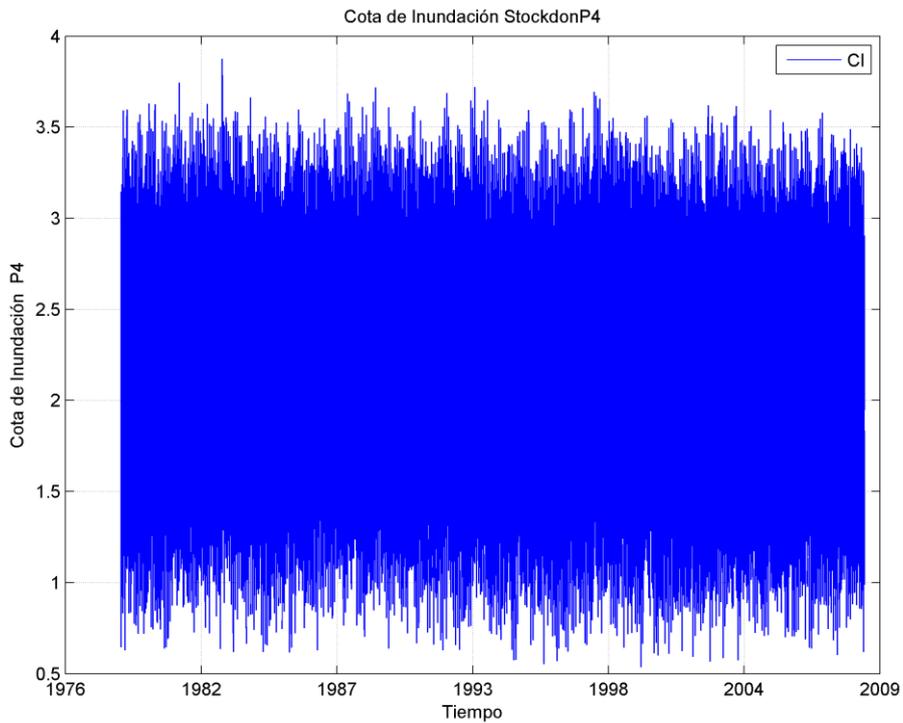


Figura 4.- Cota de Inundación Perfil 4

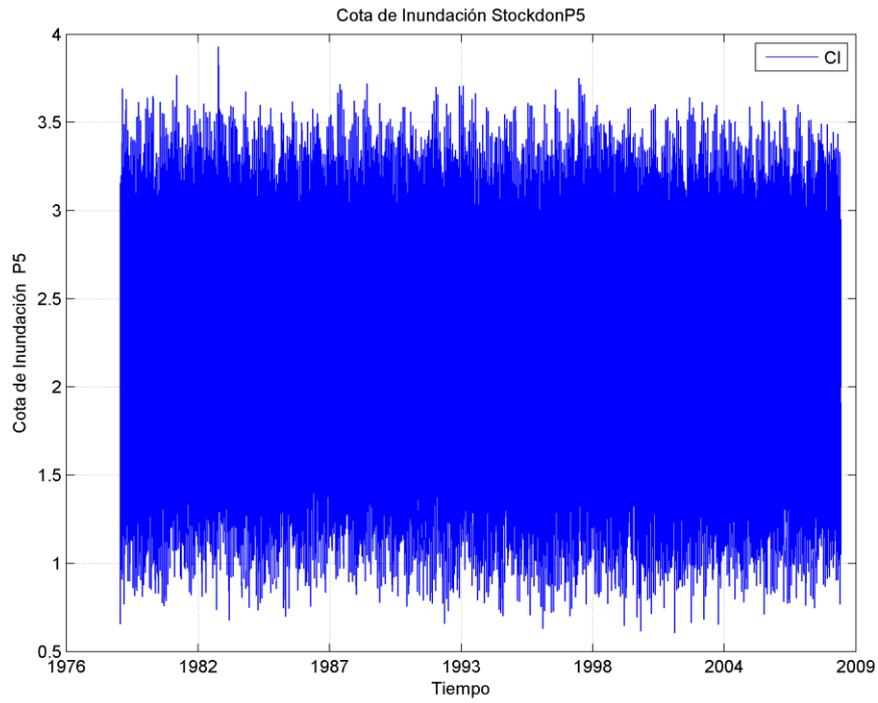


Figura 5.- Cota de Inundación Perfil 5

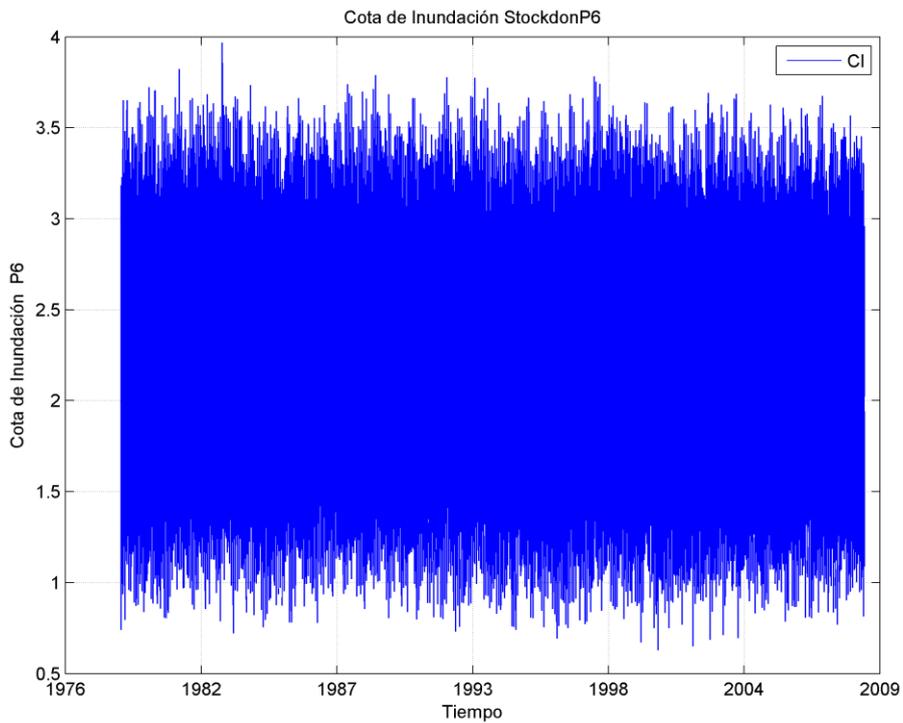


Figura 6 Cota de Inundación Perfil 6

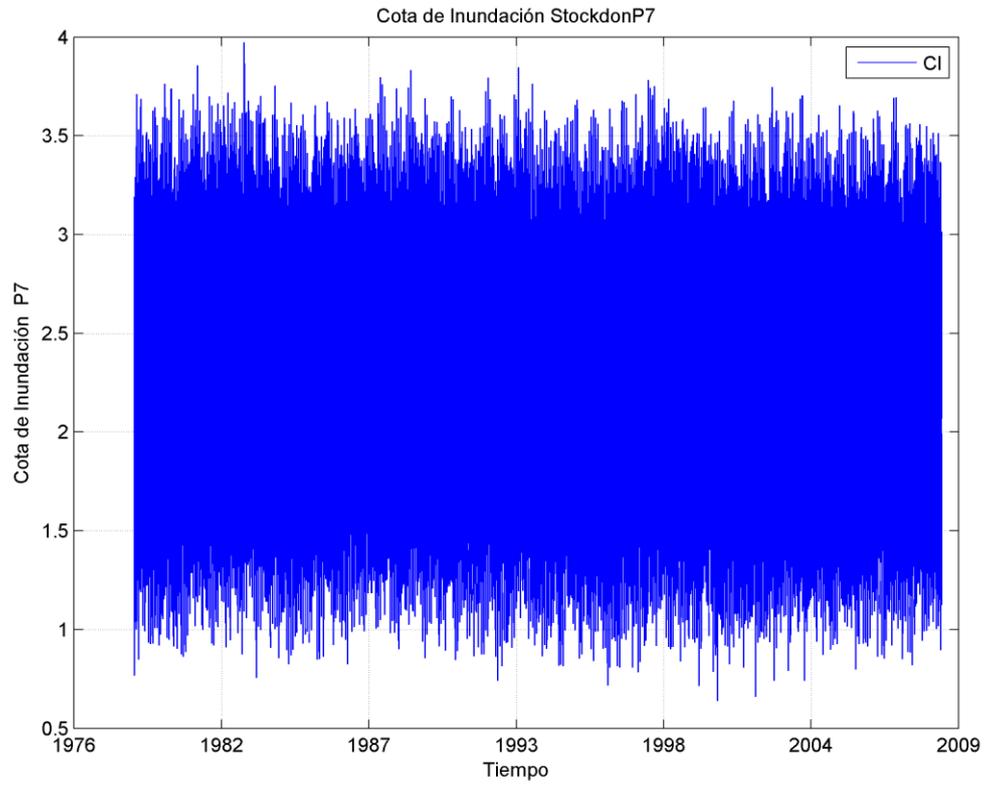


Figura 7.- Cota de Inundación Perfil 7