Universidad de Valparaíso
CHILE
Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil Oceánica

“Caracterización probabilística del oleaje en aguas someras en el litoral continental de Chile central”

Autor : Claudia Pizarro Silva.

Profesor guía : Matías Quezada Labra.

Comisión evaluadora : Patricio Winckler Grez,
Manuel Contreras López.

Contenidos

Introducción

Área de estudio

Objetivos

Alcances

Fundamento teórico

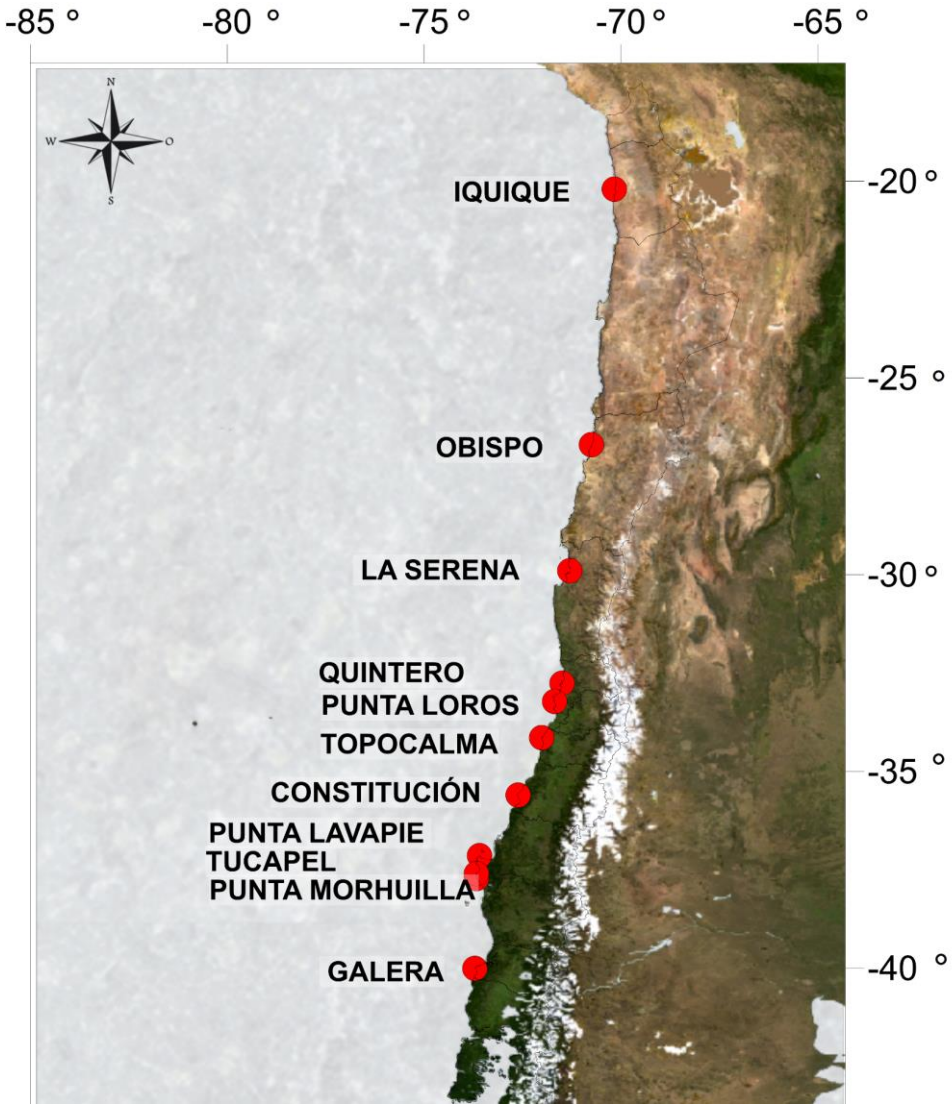
Metodología

Resultados

Conclusión

Introducción

Área de estudio



Localidad	Región	Estación	Estados de mar	Profundidad medición (m)
Iquique	Tarapacá	Invierno	248	19.2
Obispo	Atacama	Verano	250	11.6
La Serena	Coquimbo	Invierno	245	21.3
Quintero	Valparaíso	Verano-Otoño	395	18.6
Punta Loros	Valparaíso	Verano	1576	17.4
Topocalma	O'Higgins	Invierno	1001	15.6
Constitución	Maule	Primavera	1175	18
Punta Lavapié	Bio-Bio	Verano	1207	18.8
Tucapel	Bio-Bio	Invierno	1739	17.1
Punta Morhuilla	Bio-Bio	Verano	1749	16.8
Galera	Los Lagos	Verano	803	19.3

1 - 6 meses de medición

Nota: Cada estado de mar contiene 4096 datos.

Objetivos

GENERALES

- Caracterizar probabilísticamente el oleaje en aguas someras en el litoral continental de Chile central mediante el análisis de datos de campo recopilados instrumentalmente. Caracterizar probabilísticamente el oleaje en aguas someras en el litoral continental de Chile central mediante el análisis de datos de campo recopilados instrumentalmente

ESPECÍFICOS

- Procesar datos en software Wavesmon.
- Controlar la calidad de los datos considerando: inspección visual, valores inexistentes o *Gaps*, valores anómalos o *Outliers*, corregir la desnivelación y seleccionar la mejor señal.
- Determinar parámetros espectrales y estadísticos.
- Analizar la distribución que presentan las series de tiempo de desnivelaciones instantáneas, alturas de ola y períodos de ola.
- Analizar relación entre la altura significativa estadística (Hs) versus altura espectral (Hm0).

Alcances

- El estudio se realizó en el litoral continental de la costa de Chile, comprendido entre las latitudes 20° a 40° S, mediante mediciones en 11 puntos a lo largo de la costa, de tal modo que la representatividad de los análisis es puntual y no espacial.
- No se consideraron los eventos de “El Niño y La Niña”, correspondientes a fenómenos climáticos conocidos como Oscilación del Sur, debido a que las mediciones disponibles no proveen de series de tiempo lo suficientemente largas para dichos propósitos.
- Tampoco se consideraron estacionalidades (otoño, invierno, primavera o verano) en las campañas de medición.
- Además, no se consideraron las siguientes configuraciones de costa:
  - Zonas insulares.
  - Zonas abrigadas.
  - Zonas extremas desde Puerto Montt hacia el sur de Chile.

Fundamento teórico

- Distribución estadística
- Relación Hs/Hmo
- Desnivelaciones
- Alturas de ola
- Períodos

Distribución desnivelaciones

Distribución Normal

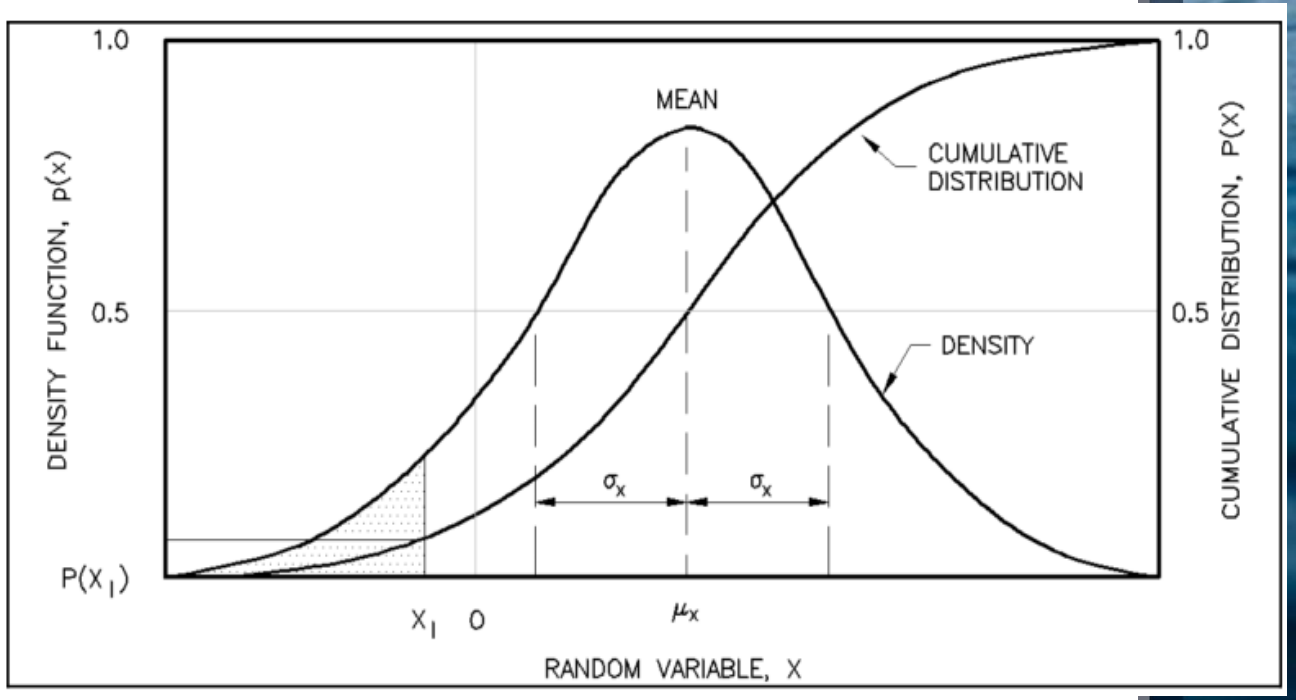
$$f(\eta) = \frac{1}{\eta_{rms}\sqrt{2\pi}} exp\left(-\frac{\eta^2}{2\eta_{rms}^2}\right)$$

desplazamiento vertical de la superficie libre.

$$\eta_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\eta_i}$$

Número de eventos

desplazamiento vertical medio cuadrático de la superficie libre



Distribución de alturas de olas

Función de distribución Rayleigh

Altura de ola

$$F(H) = Pr\{\underline{H} \leq H\} = 1 - exp\left(-\left(\frac{H}{H_{rms}}\right)^2\right)$$

Altura cuadrática media.

$$F_{\underline{H}}(H) = Pr\{\underline{H} \leq H\} = 1 - exp\left(-\frac{\pi}{4}\left(\frac{H}{\overline{H}}\right)^2\right)$$

Altura media

$$F_{\underline{H}}(H) = Pr\{\underline{H} \leq H\} = 1 - exp\left(-2.005\left(\frac{H}{H_s}\right)^2\right)$$

Altura significativa

Evolución

Glukhovskiy — 1966

Battjes y Stive — 1986

Klopman — 1996

Battjes y Groenendijk — 2000

Distribución de los períodos

Distribución de Bretschneider

Período

$$p(T) = 2.7\frac{T^3}{\bar{T}^4}exp^{-0.675\left(\frac{T}{\bar{T}}\right)^4}$$

Período medio

Distribución de Longuet-Higgins

$$p(T) = \frac{v^2T_{01}^2}{2(v^2T_{01}^2 + (T - T_{01})^2)^{\frac{3}{2}}}$$

$$\bar{T} = T_{01} = \frac{mo}{m1}$$

Distribución de Longuet-Higgins

Anchura espectral

$$L_{(v)} = \frac{1}{\frac{1}{2}\left[1 + (1 + v^2)^{\frac{1}{2}}\right]}$$

$$p(T) = \frac{L_{(v)}\bar{T}}{2vT^2}\left[1 + \frac{1}{v^2}\left(1 - \frac{\bar{T}}{T}\right)^2\right]^{-\frac{3}{2}}$$

1959 — 1975 — 1983

Relación Hs/Hmo

Thompson y Vincent | **1985**

$$\left(\frac{H_s}{H_{mo}}\right)_{máx} = exp\left(-0{,}02289\left(\frac{d}{gTp^2}\right)^{-0{,}43642}\right)$$

$$\left(\frac{H_s}{H_{mo}}\right)_{promedio} = exp\left(0{,}0029757\left(\frac{d}{gTp^2}\right)^{-0{,}720093}\right)$$

Donde:

H_s : Altura significativa o altura un tercio.

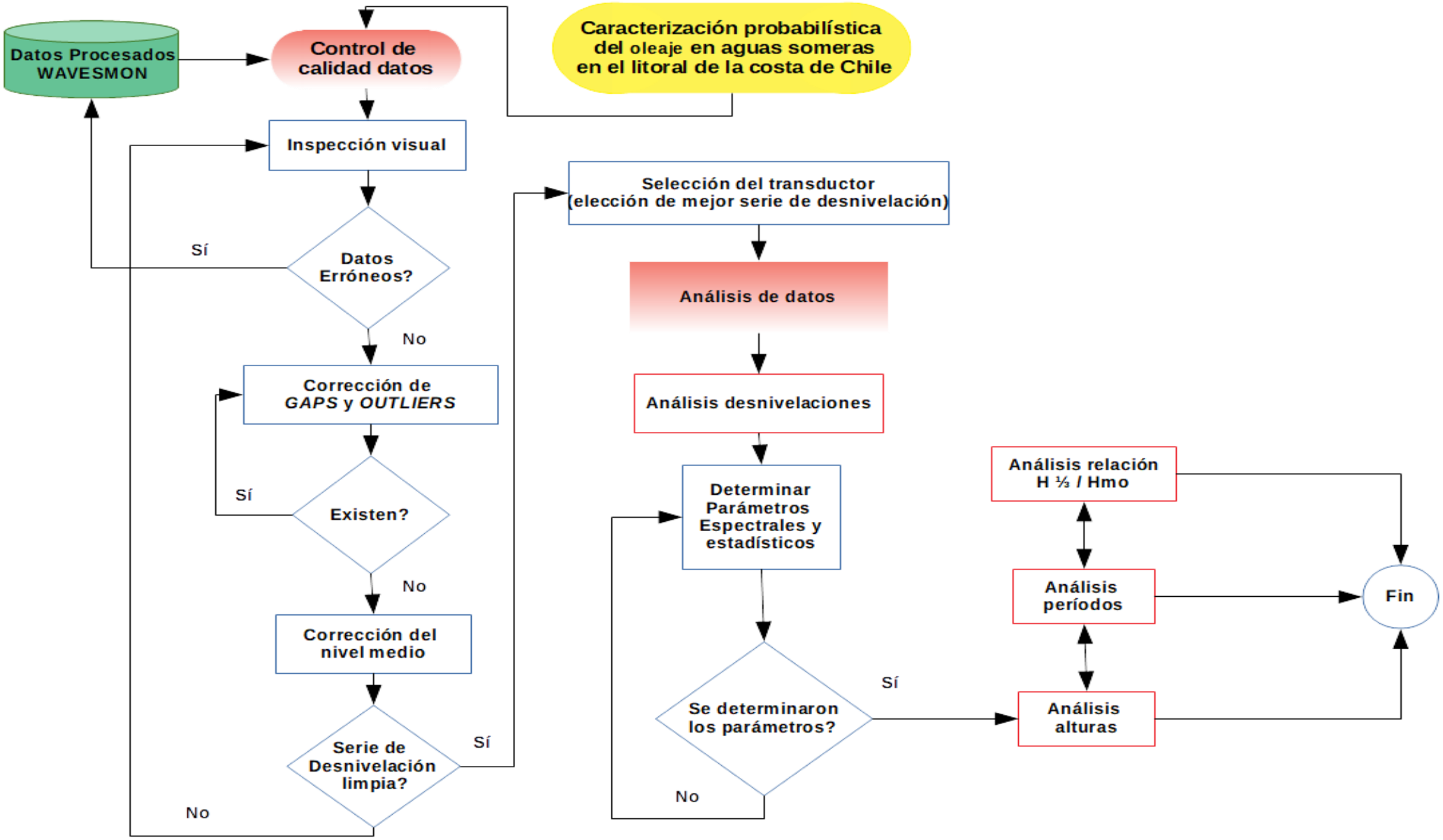
H_{mo} : Altura espectral.

Tp : Período peak.

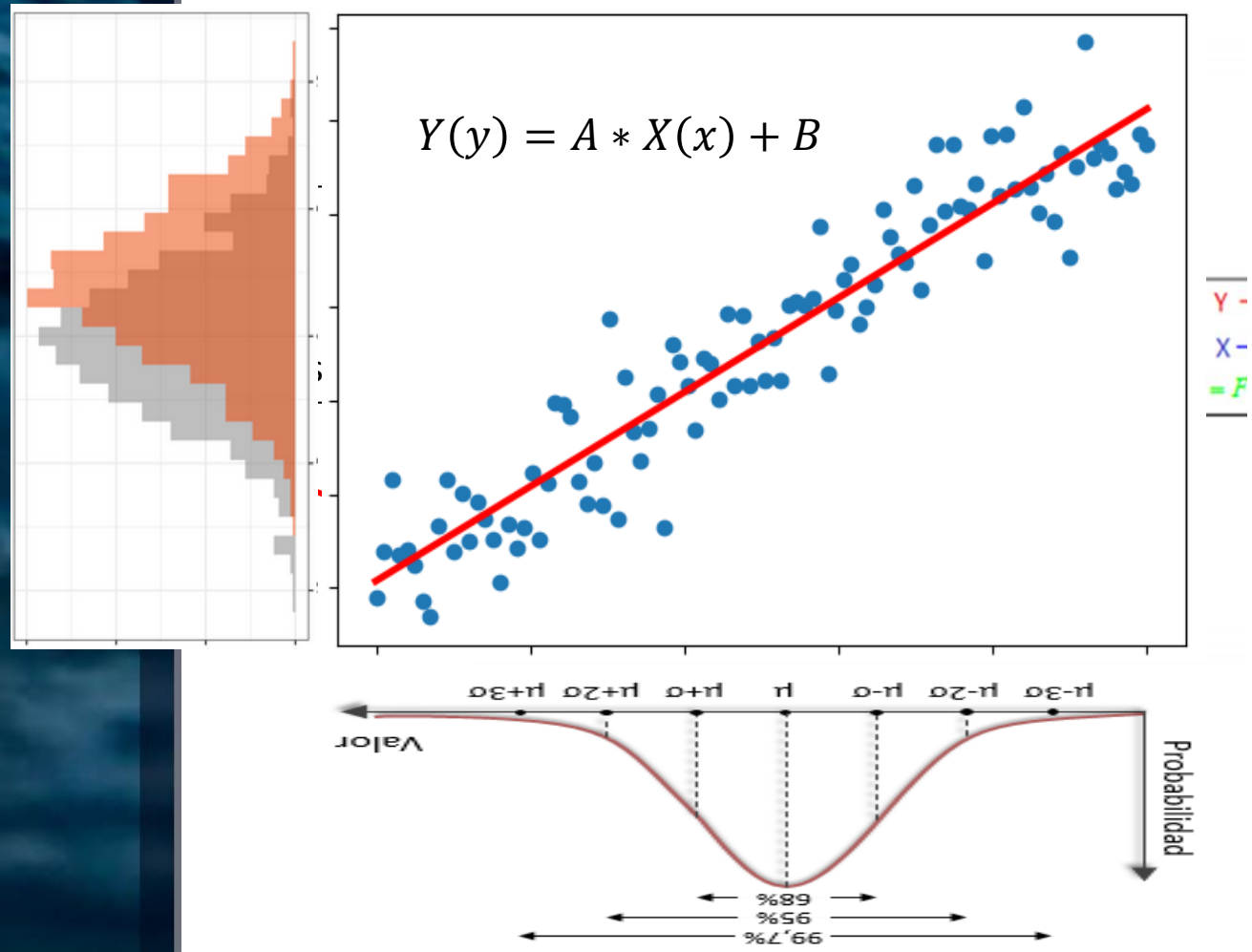
d : Profundidad.

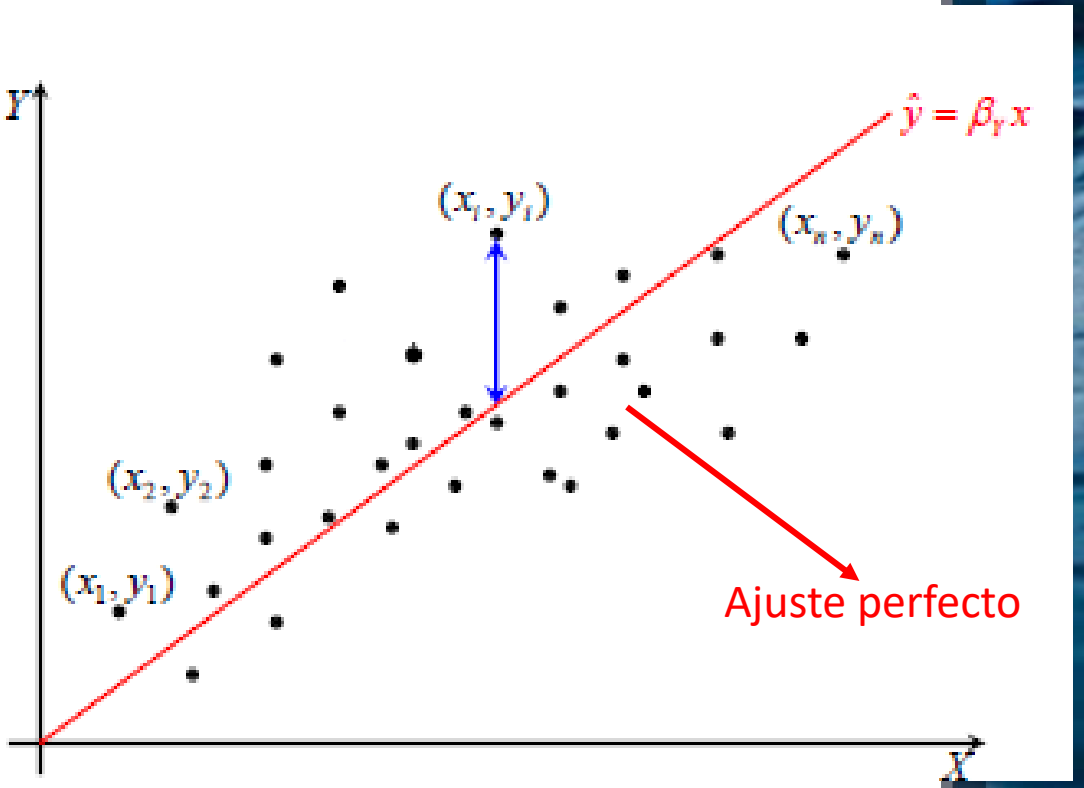
Para condiciones de asomeramiento y antes de la rotura la relación $\frac{H_s}{H_{mo}}$ puede ser mayor a 1 y puede alcanzar valores de 1,3 a 1,5.

Metodología

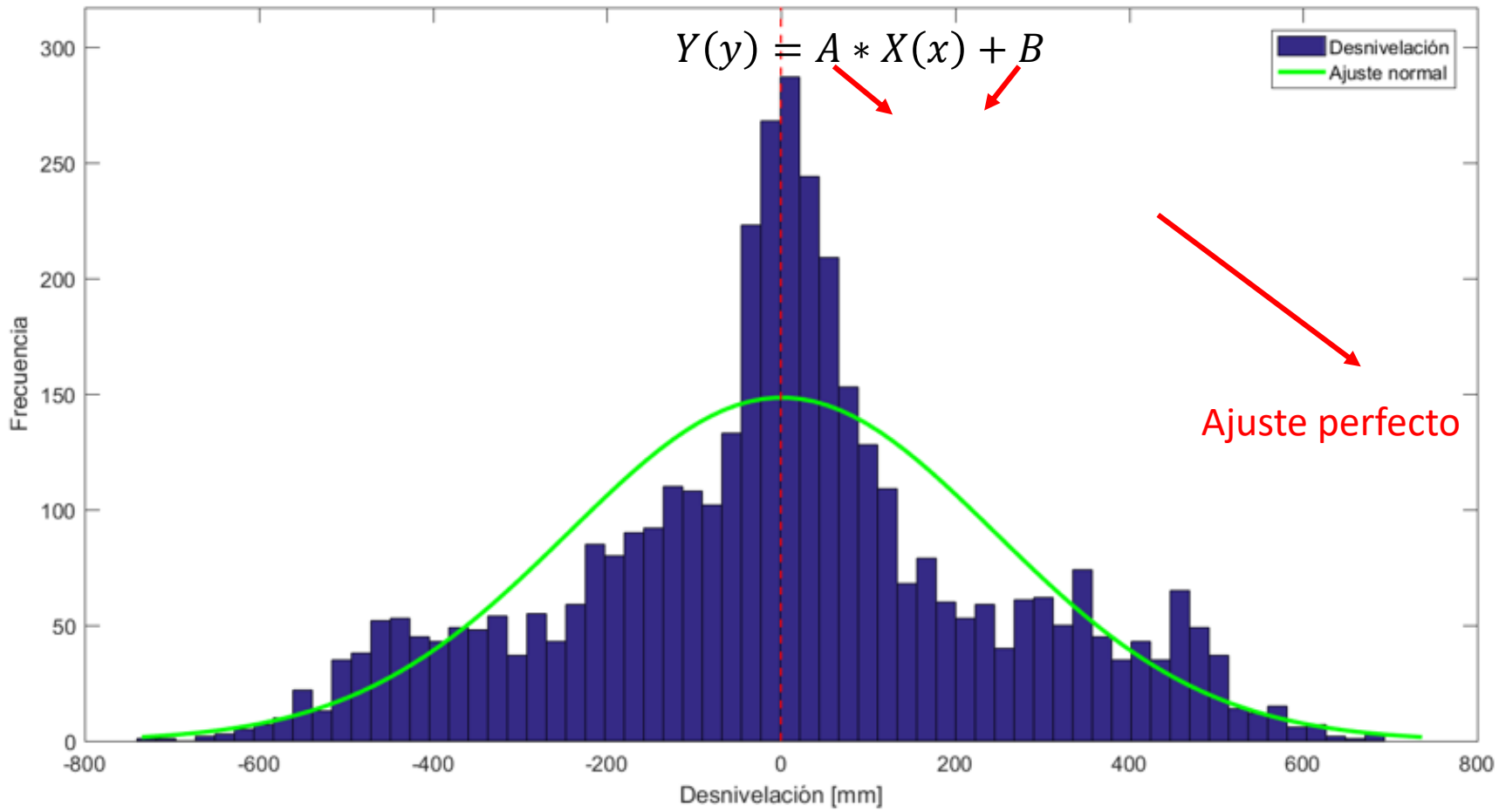


Análisis de las series de desnivelaciones instantáneas

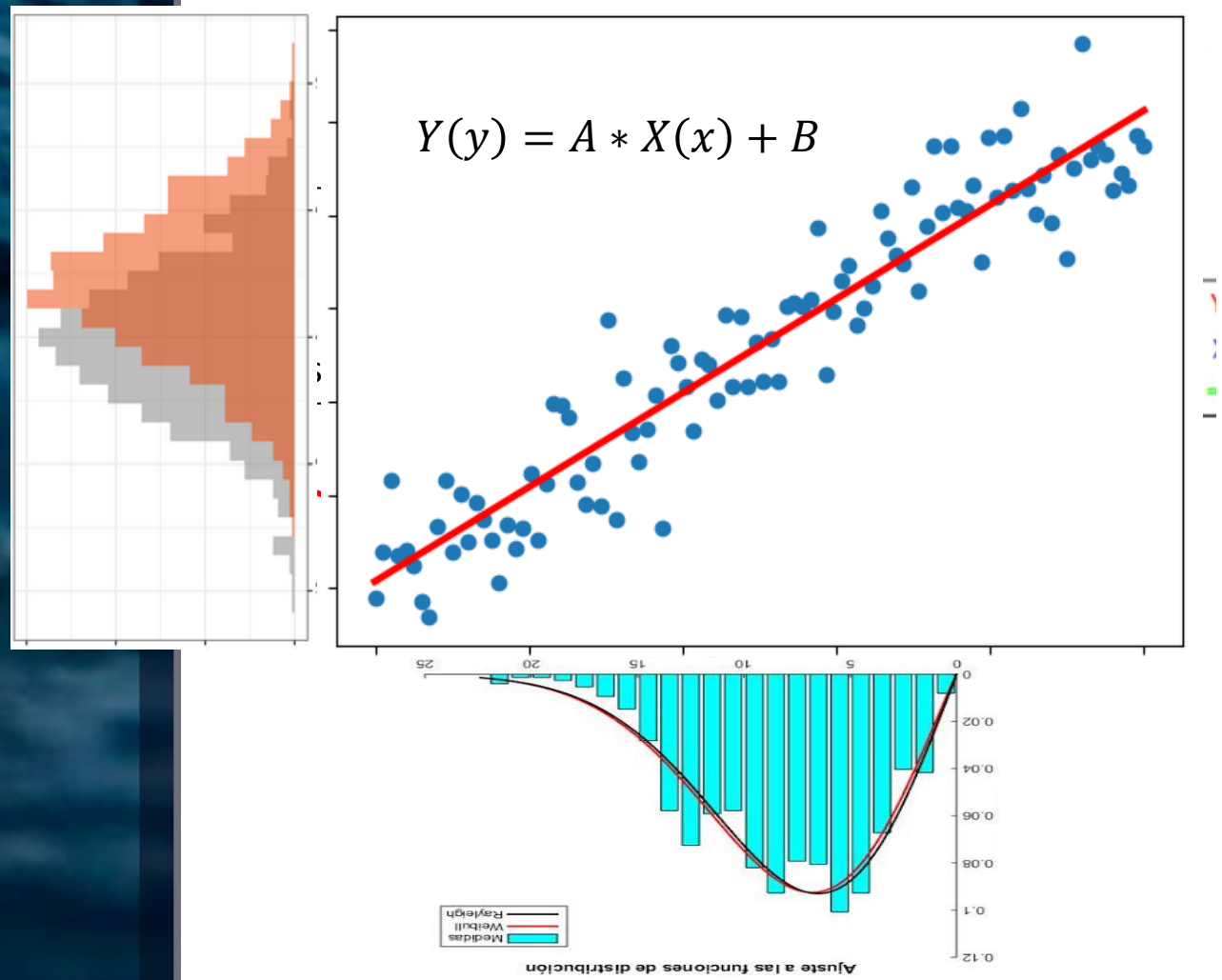




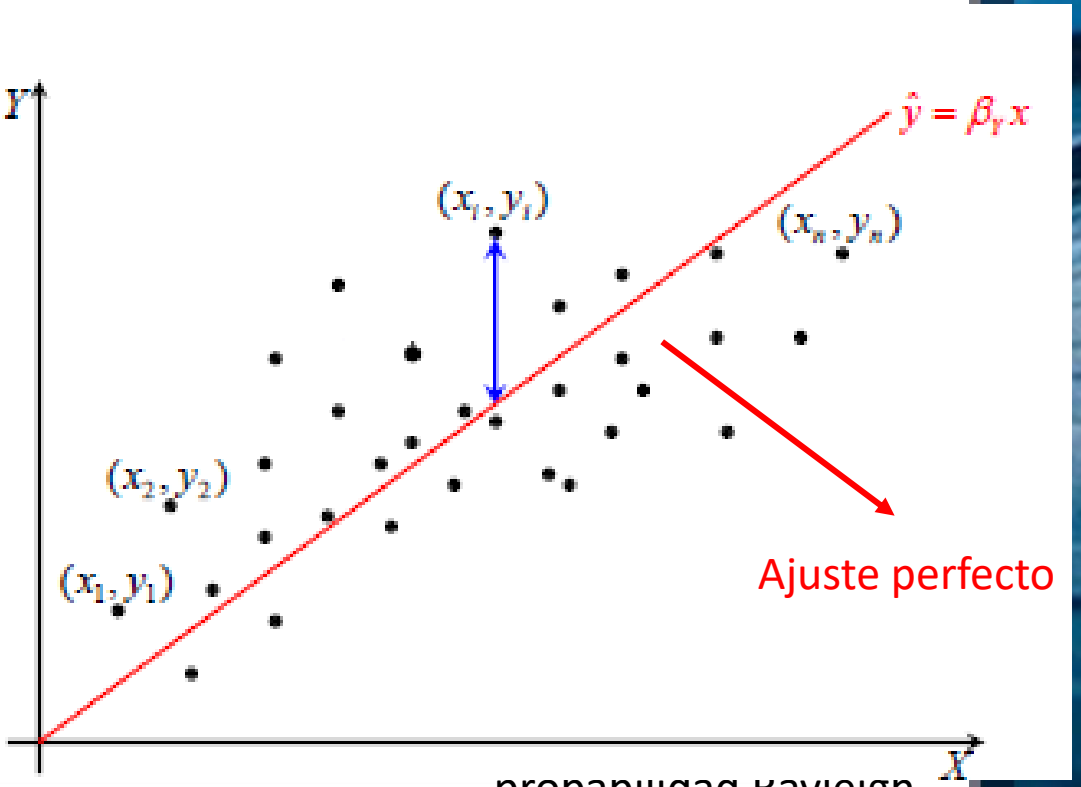
Análisis de las desnivelaciones y alturas de ola



Análisis de alturas de ola



$$Y(y) = A * X(x) + B$$



probabilidad Rayleigh
y Weibull

Análisis de los períodos

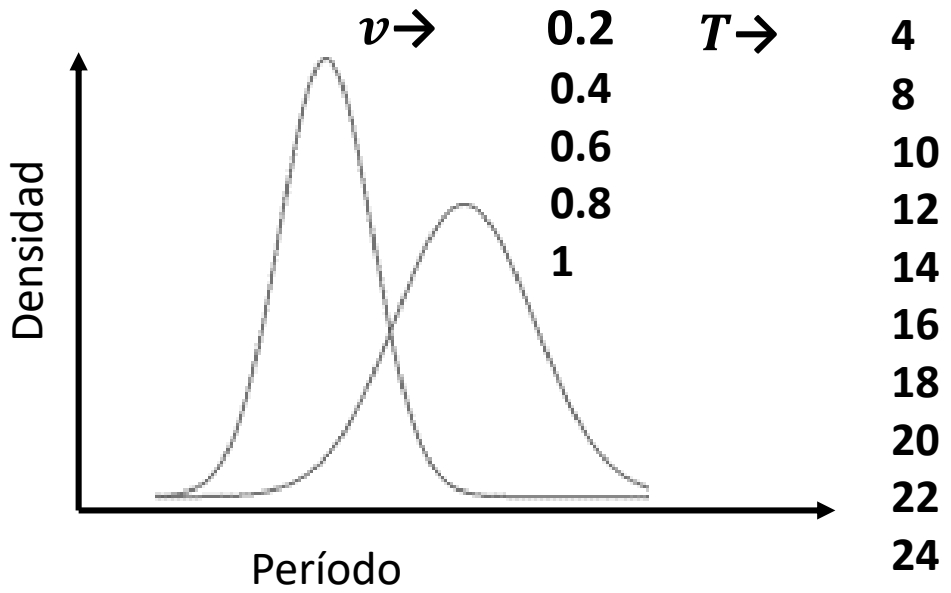
Distribución de Bretschneider	**1959**
Distribución de Longuet-Higgins	**1975**
Distribución de Longuet-Higgins	**1983**

Distribución de Bretschneider

Período

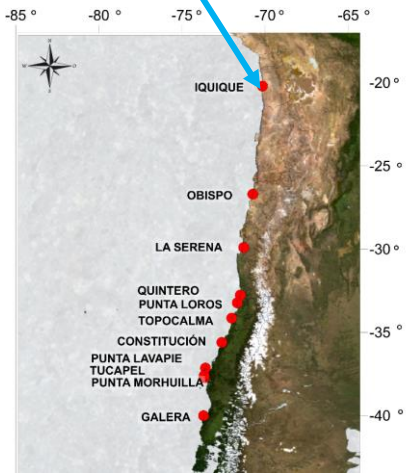
$$p(T) = 2.7\frac{T^3}{\bar{T}^4}exp^{-0.675\left(\frac{T}{\bar{T}}\right)^4}$$

Período medio



$v\rightarrow$	$T\rightarrow$
0.2	4
0.4	8
0.6	10
0.8	12
1	14
	16
	18
	20
	22
	24

1959



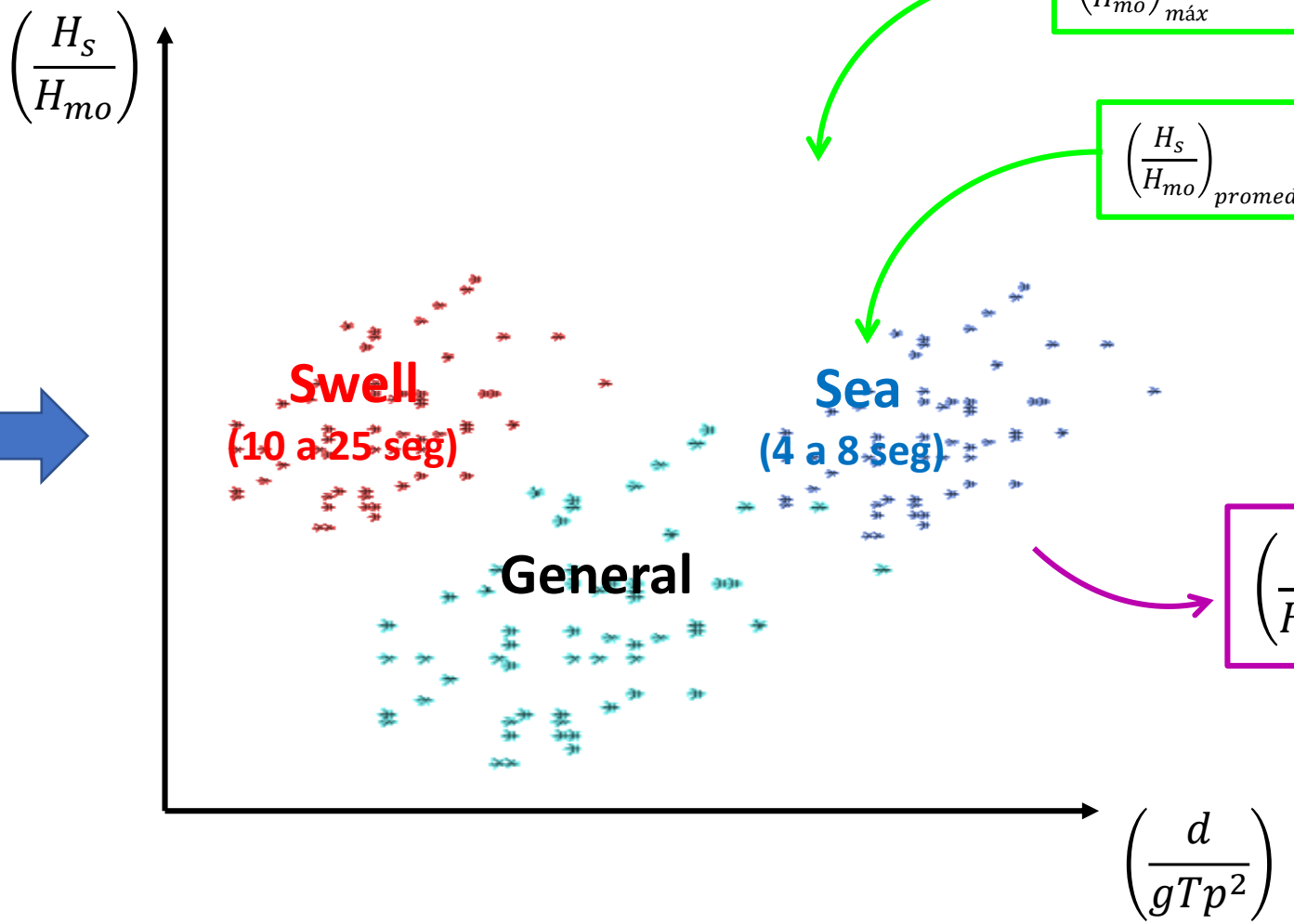
Análisis de la relación Hs/Hmo

Thompson y Vincent

$$\left(\frac{H_s}{H_{mo}}\right)_{máx} = exp\left(-0{,}02289\left(\frac{d}{gTp^2}\right)^{-0{,}43642}\right)$$

$$\left(\frac{H_s}{H_{mo}}\right)_{promedio} = exp\left(0{,}0029757\left(\frac{d}{gTp^2}\right)^{-0{,}720093}\right)$$

Esquema



$$\left(\frac{H_s}{H_{mo}}\right) = exp\left(A\left(\frac{h}{gTp^2}\right)^{-B}\right)$$

Resultados

Desnivelaciones

SERIES DE TIEMPO DE DESNIVELACIONES INSTANTÁNEAS

Alturas de ola

Alturas de ola general

Alturas de ola Sea

Alturas de ola Swell

Períodos

Relación Hs/Hmo

Análisis Desnivelaciones

Ajuste lineal			Ajuste perfecto
Parámetros ajuste		Coeficiente de determinación	Suma de los errores al cuadrado
A	B		
0.993	0.005	98.9	6.404

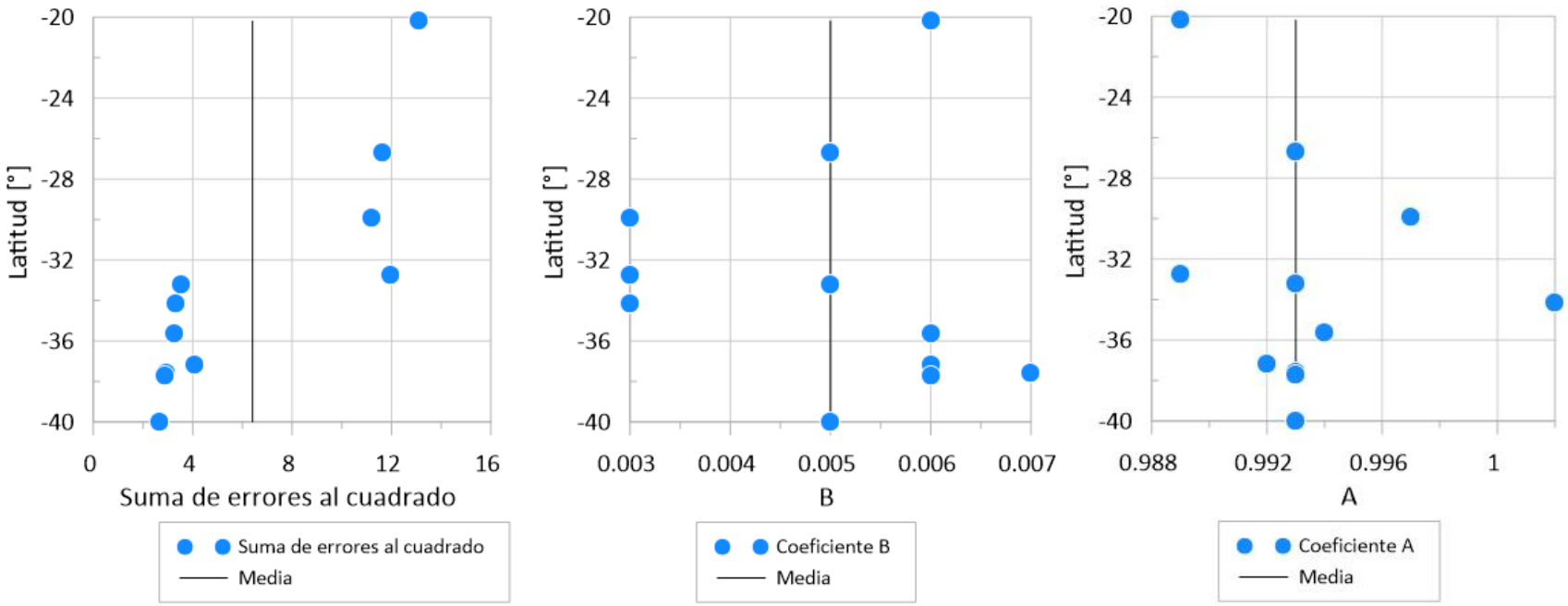
Papeles probabilísticos

$$h(x) = g(y) \longrightarrow Y(y) = A * X(x) + B$$

probabilidad empírica — probabilidad Normal

$$A = 1 \; y \; B = 0$$

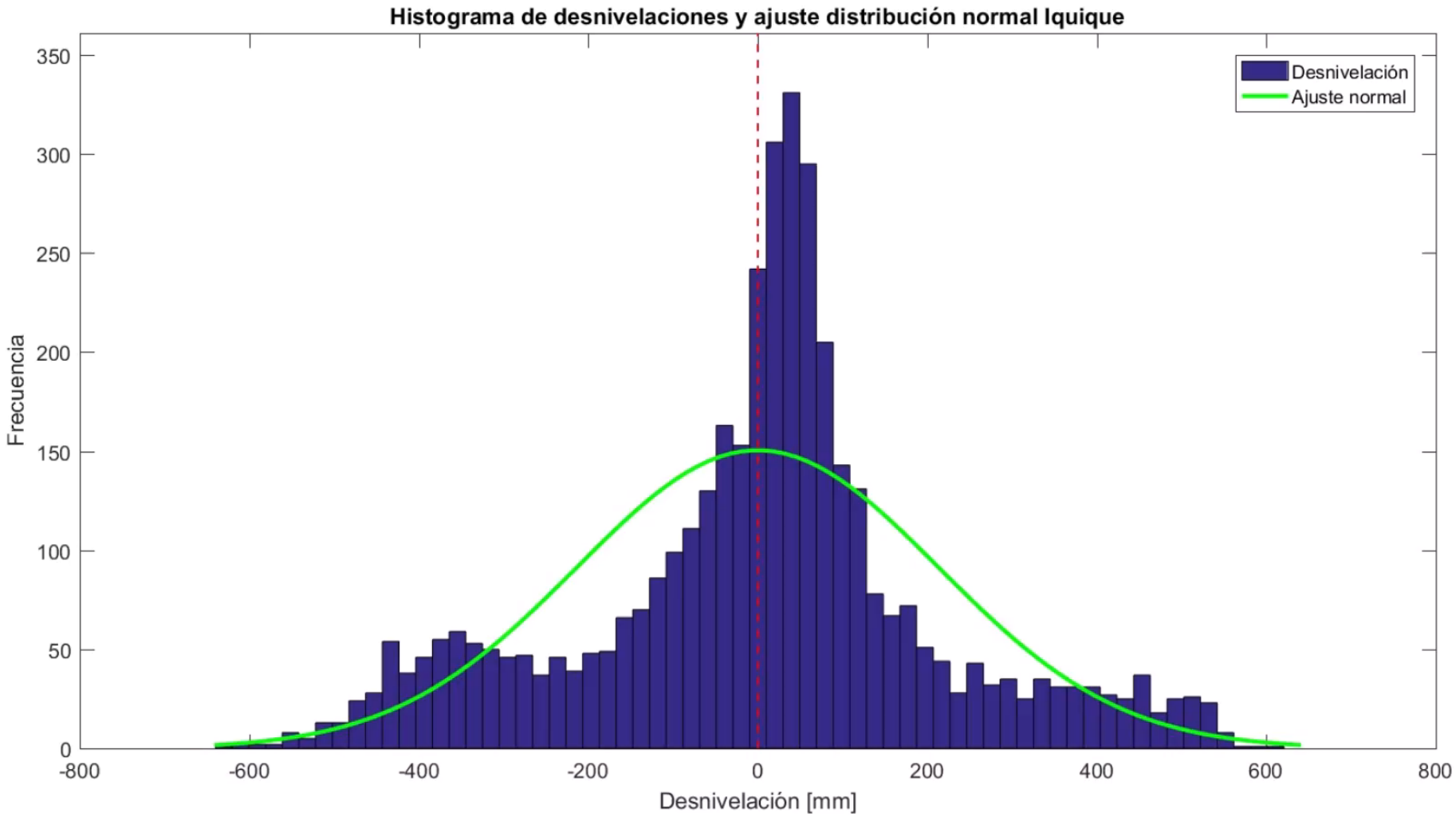
"Las familias están relacionadas"



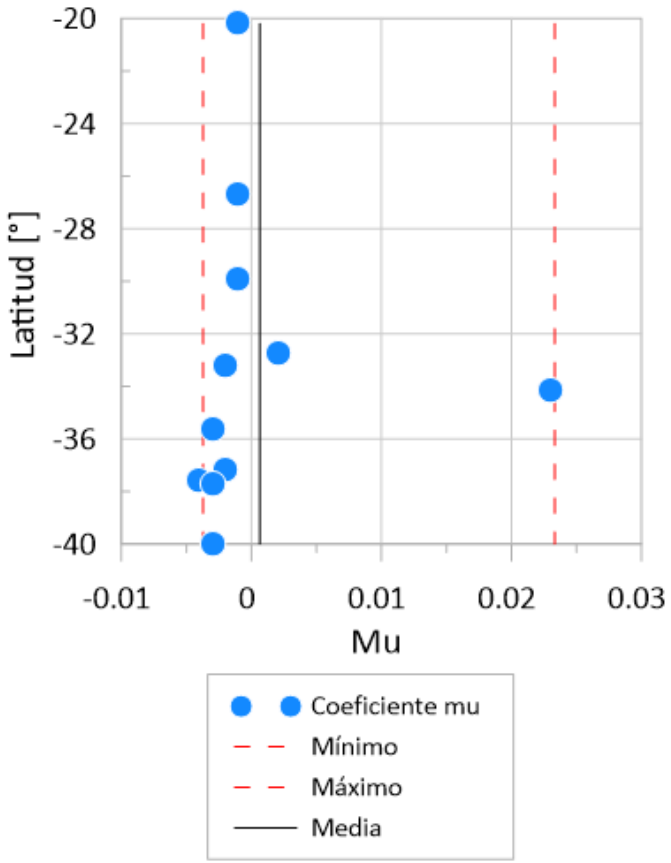
Ajuste Normal

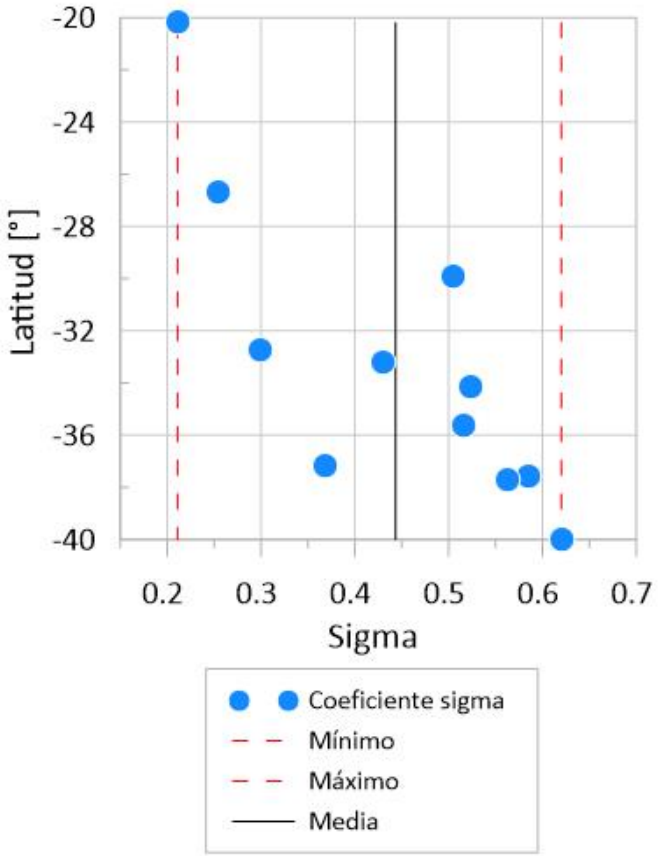
SSE: es una medida del error entre probabilidades

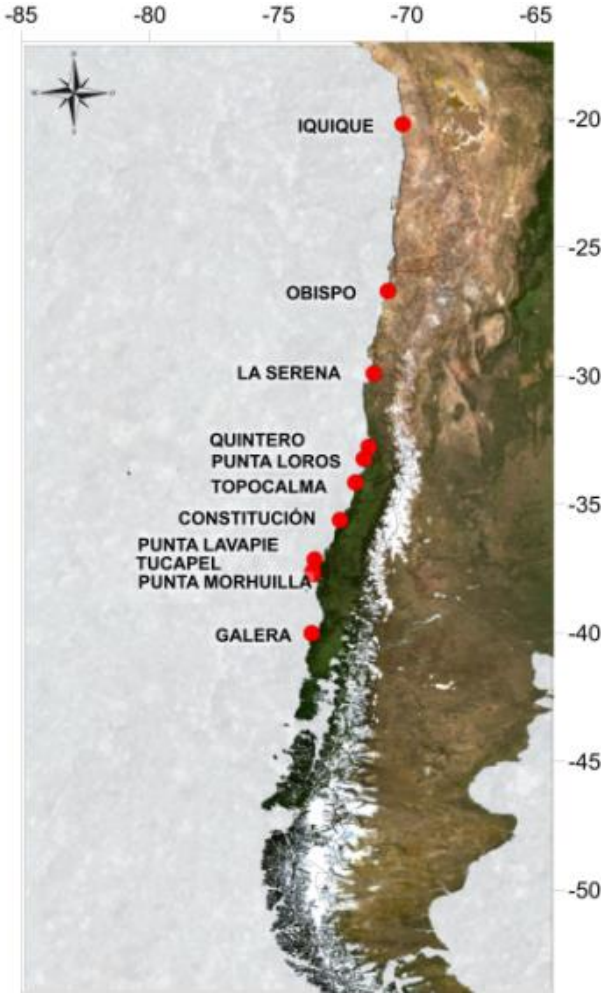
Ajuste Normal y datos empíricos



Análisis Desnivelaciones





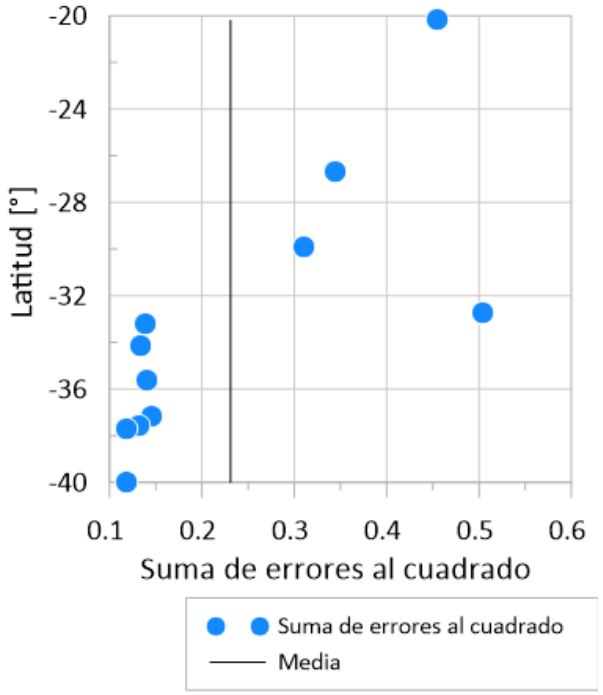


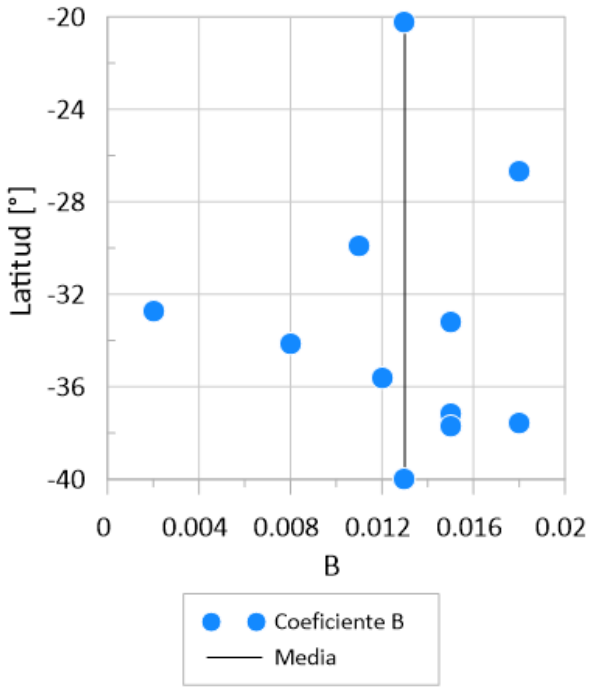
Función de distribución Normal promedio para representar las series de tiempo de desnivelación instantáneas

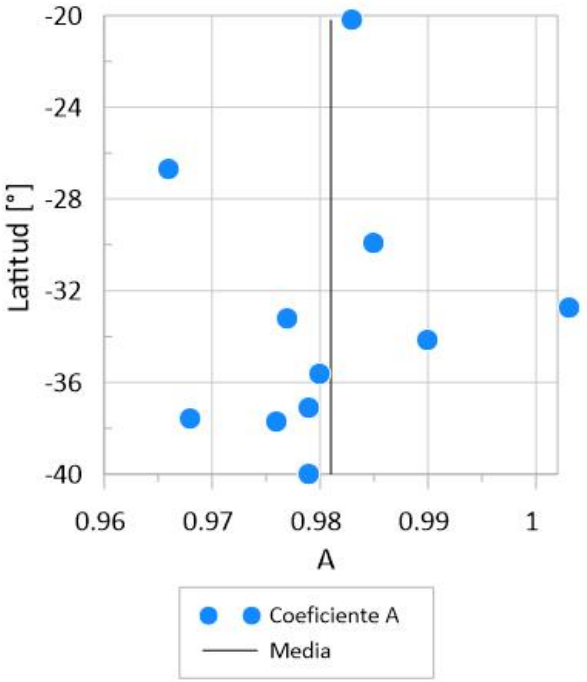
$$f(\eta/0.001,0.443) = \frac{1}{0.443\sqrt{2\pi}} exp^{\left(\frac{-(\eta-0.001)^2}{2*(0.443)^2}\right)}$$

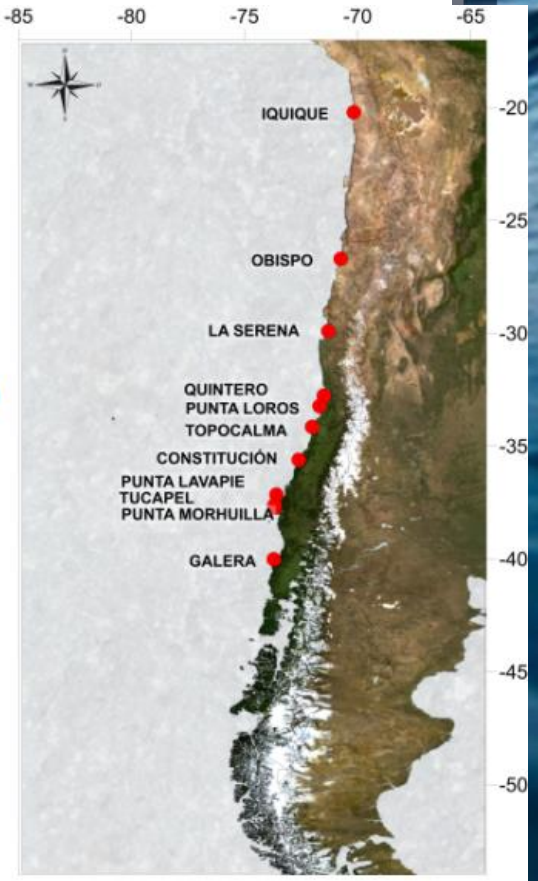
Análisis alturas de ola general

Ajuste lineal						Ajuste perfecto	
Parámetros ajuste				Coeficiente de determinación		Suma de los errores al cuadrado	
Rayleigh		Weibull		Rayleigh	Weibull	Rayleigh	Weibull
A	B	A	B				
0.986	0.010	0.981	0.013	98.8%	99.3%	0.601	0.231





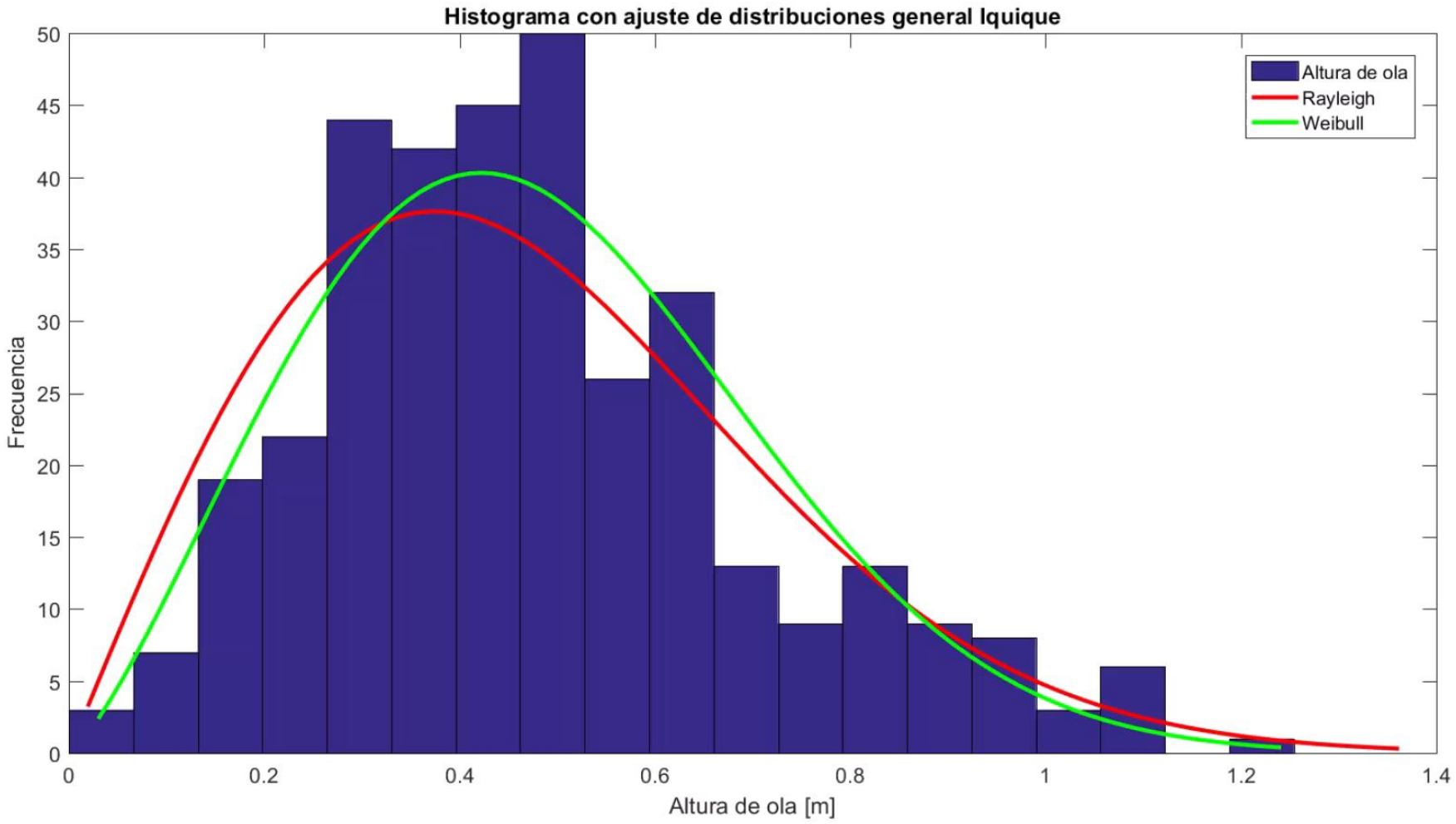




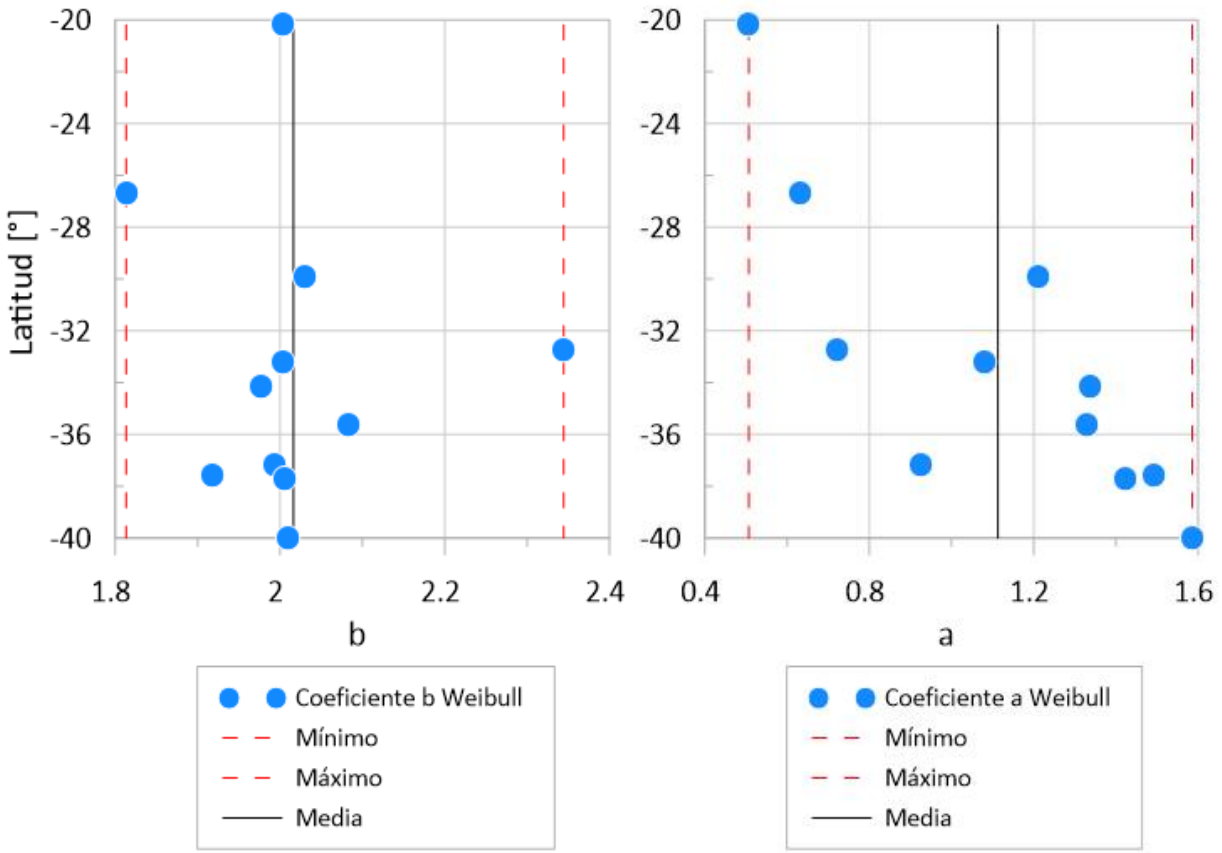
Ajuste Weibull

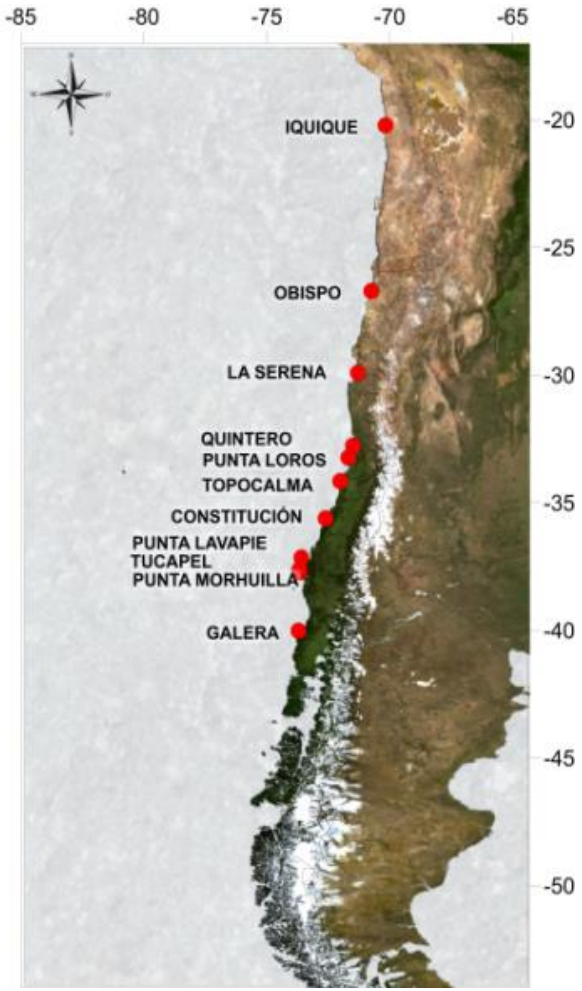
Análisis alturas de ola general

Ajuste Rayleigh y Weibull versus datos empíricos



Análisis alturas de ola general



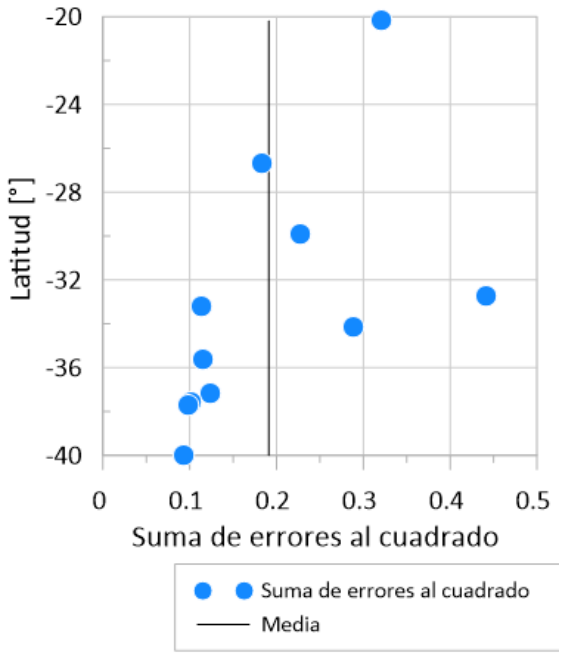


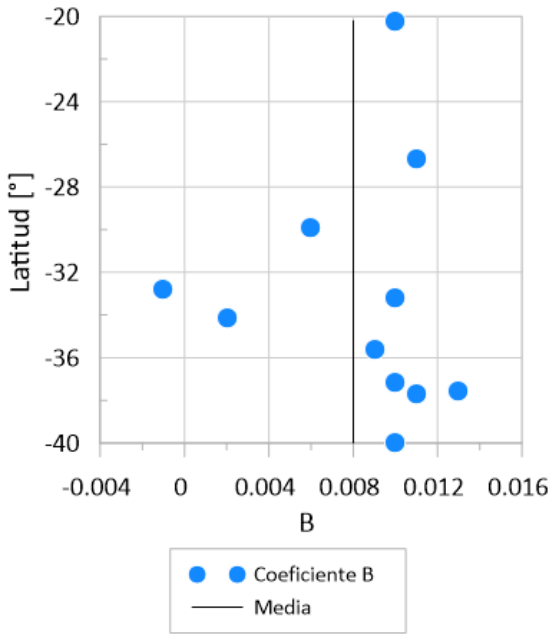
Función de distribución Weibull promedio para representar las alturas de ola en forma general

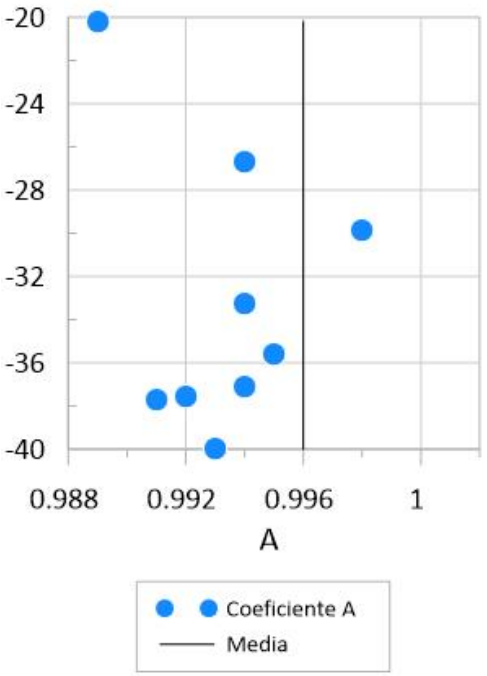
$$f(H/1.113\ ,2.016\ ) = \frac{2.016}{1.113}\left(\frac{H}{1.113}\right)^{2.016\ -1} exp^{-\left(\frac{H}{1.113}\right)^{2.016}}$$

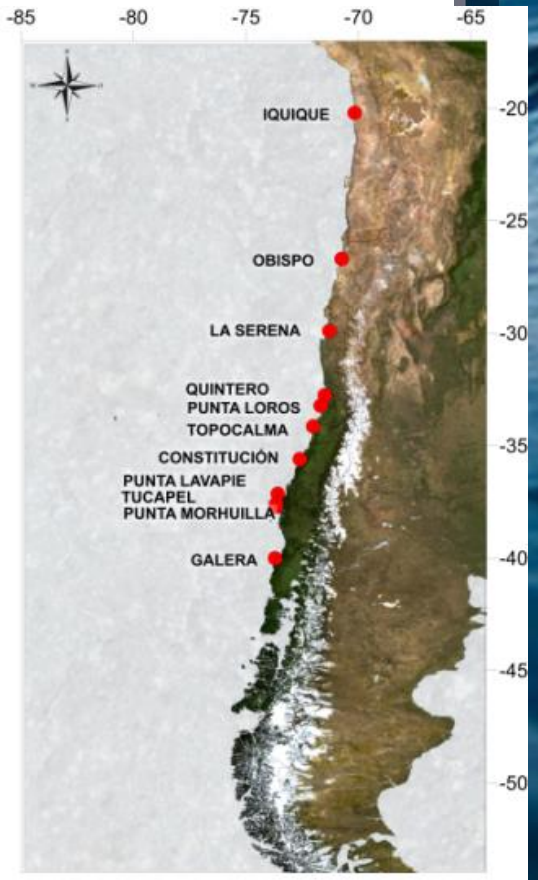
Análisis alturas de ola Sea

	Ajuste lineal						Ajuste perfecto	
	Parámetros ajuste				Coeficiente de determinación		Suma de los errores al cuadrado	
	Rayleigh		Weibull					
Tipo oleaje	A	B	A	B	Rayleigh	Weibull	Rayleigh	Weibull
Sea	1.024	-0.013	0.996	0.008	0.984	0.990	0.539	0.191





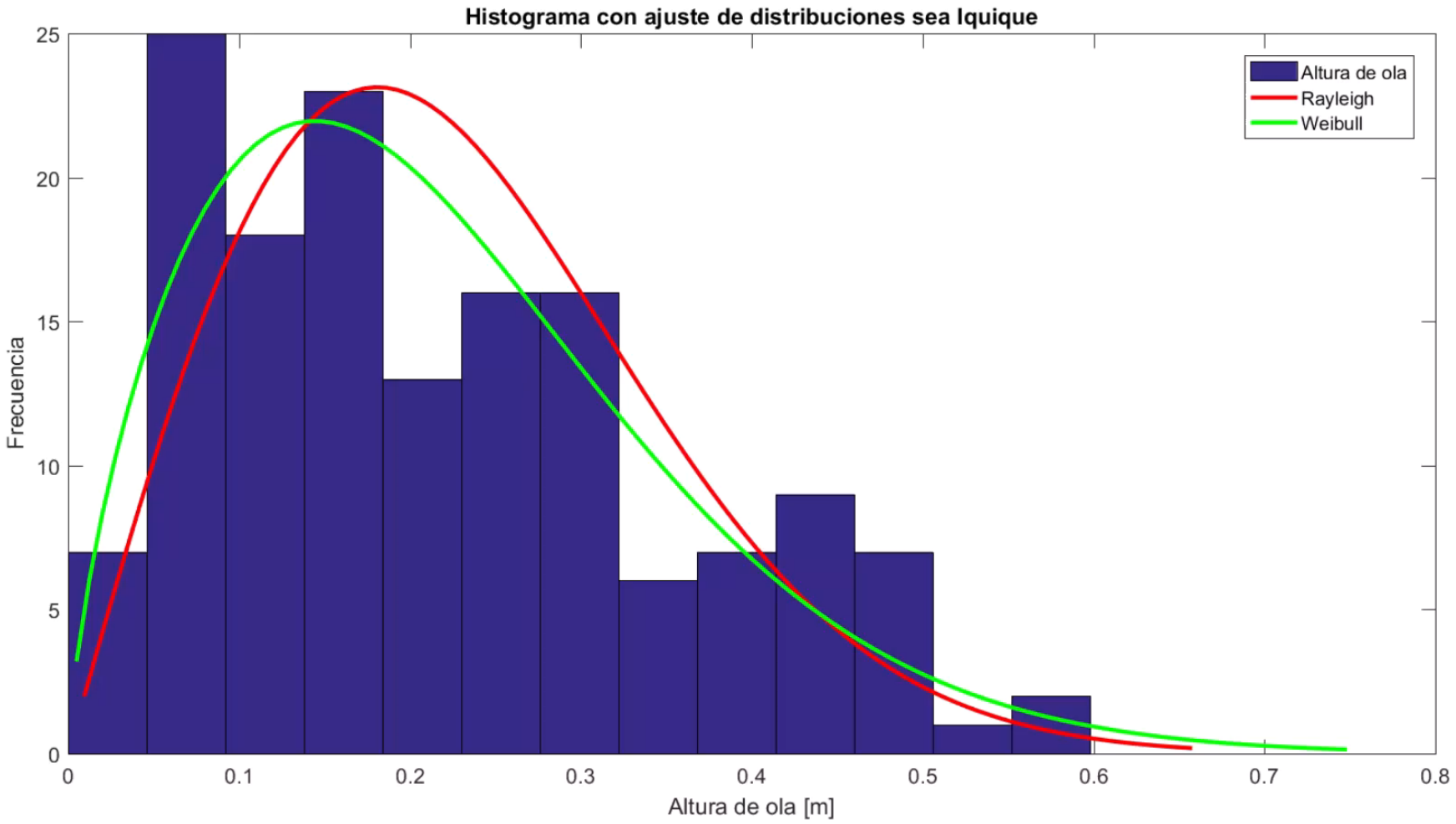




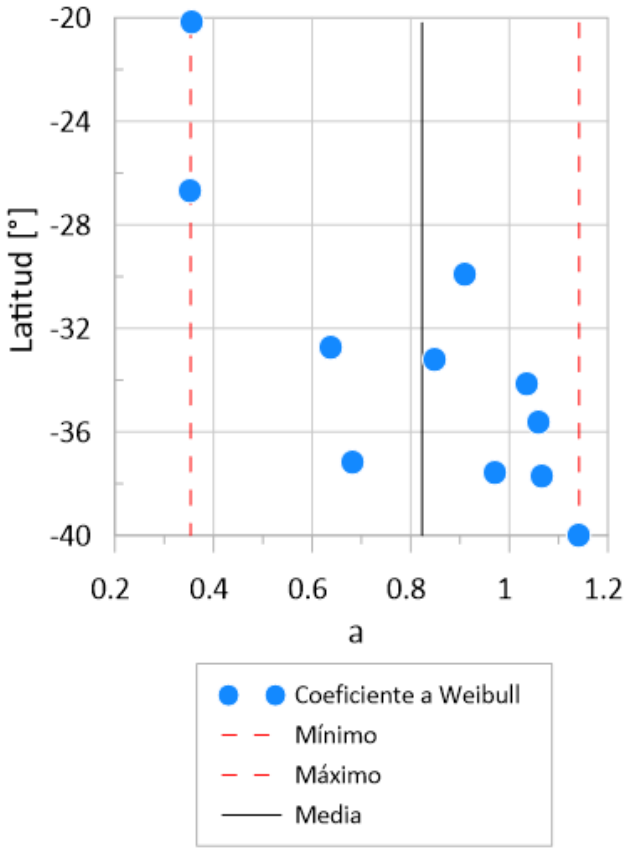
Ajuste Weibull

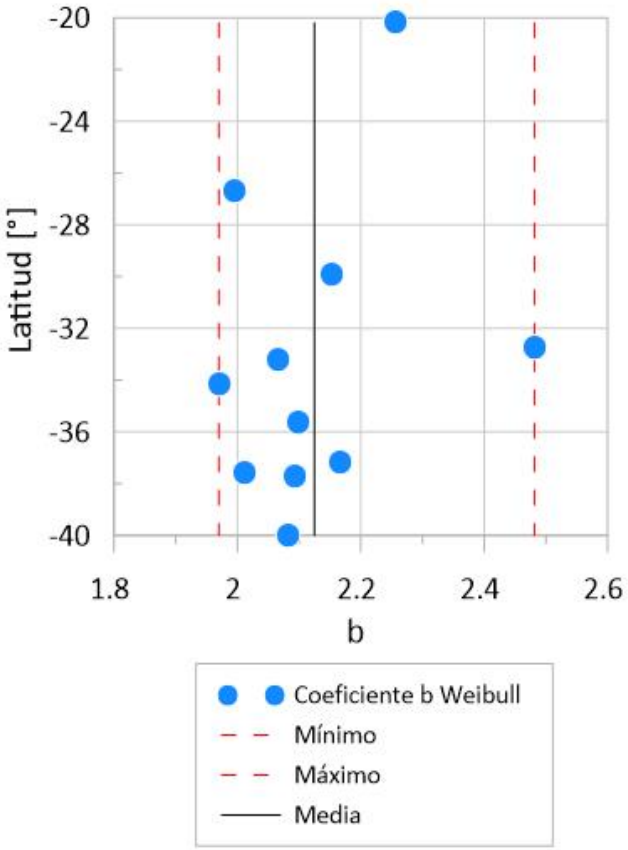
Análisis alturas de ola Sea

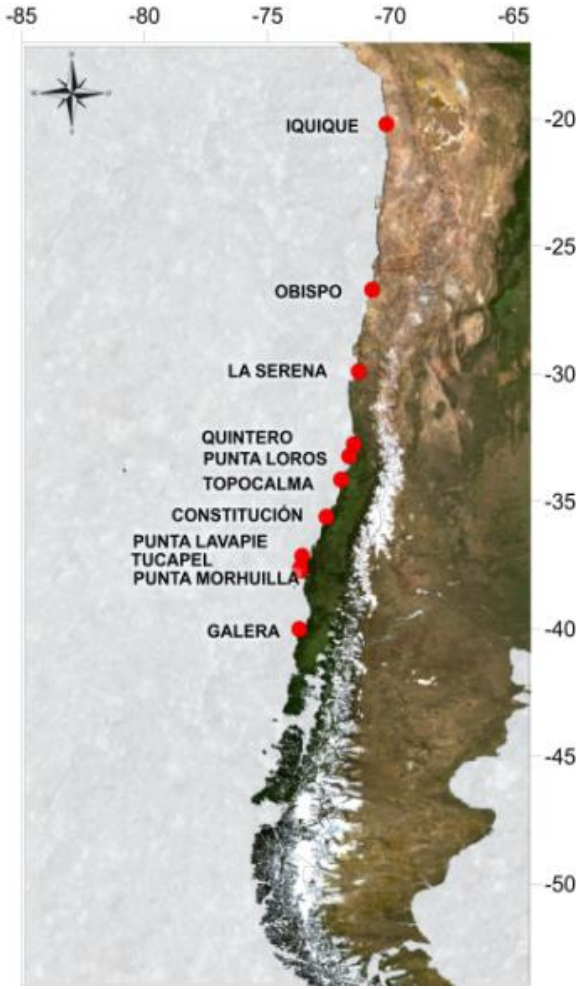
Ajuste Rayleigh y Weibull versus datos empíricos



Análisis alturas de ola Sea





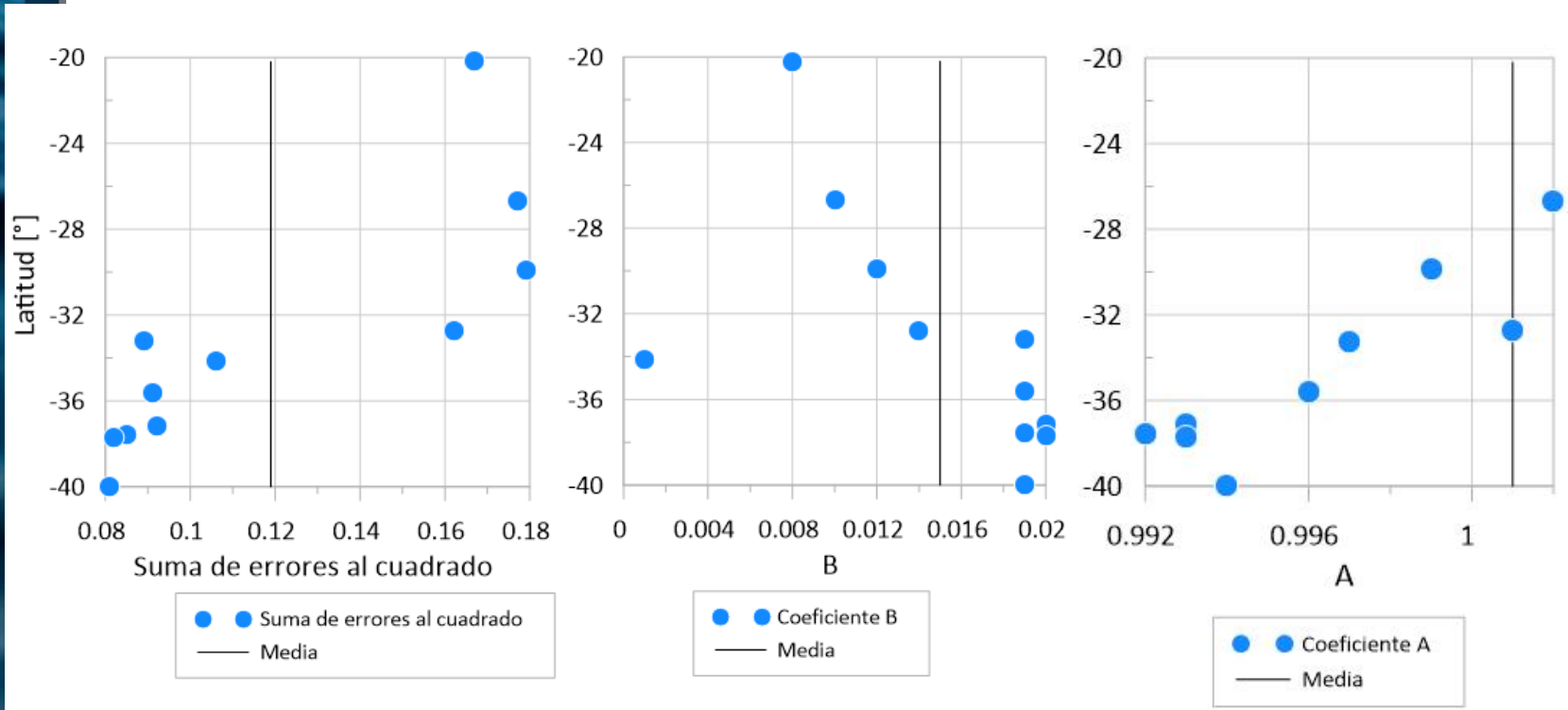


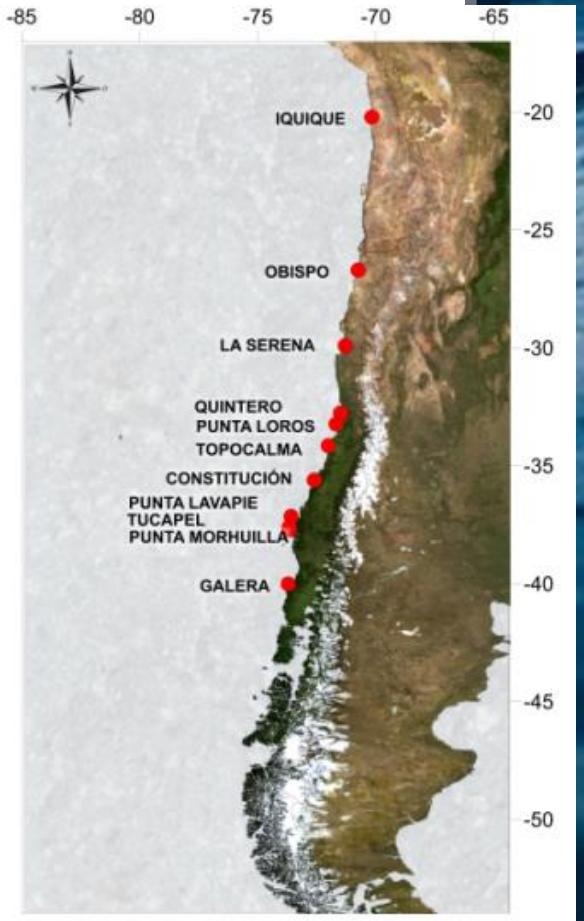
Función de distribución Weibull promedio para representar las alturas de ola por tipo de oleaje Sea

$$f(H/0.823\ \ ,2.125) = \frac{2.125}{0.823}\left(\frac{H}{0.823}\right)^{2.125\ -1} exp^{-\left(\frac{H}{0.823}\right)^{2.125}}$$

Análisis alturas de ola Swell

	Ajuste lineal						Ajuste perfecto	
	Parámetros ajuste				Coeficiente de determinación		Suma de los errores al cuadrado	
	Rayleigh		Weibull					
Tipo oleaje	A	B	A	B	Rayleigh	Weibull	Rayleigh	Weibull
Swell	1,441	-0,322	1,001	0,015	0,967	0,983	1,027	0,119

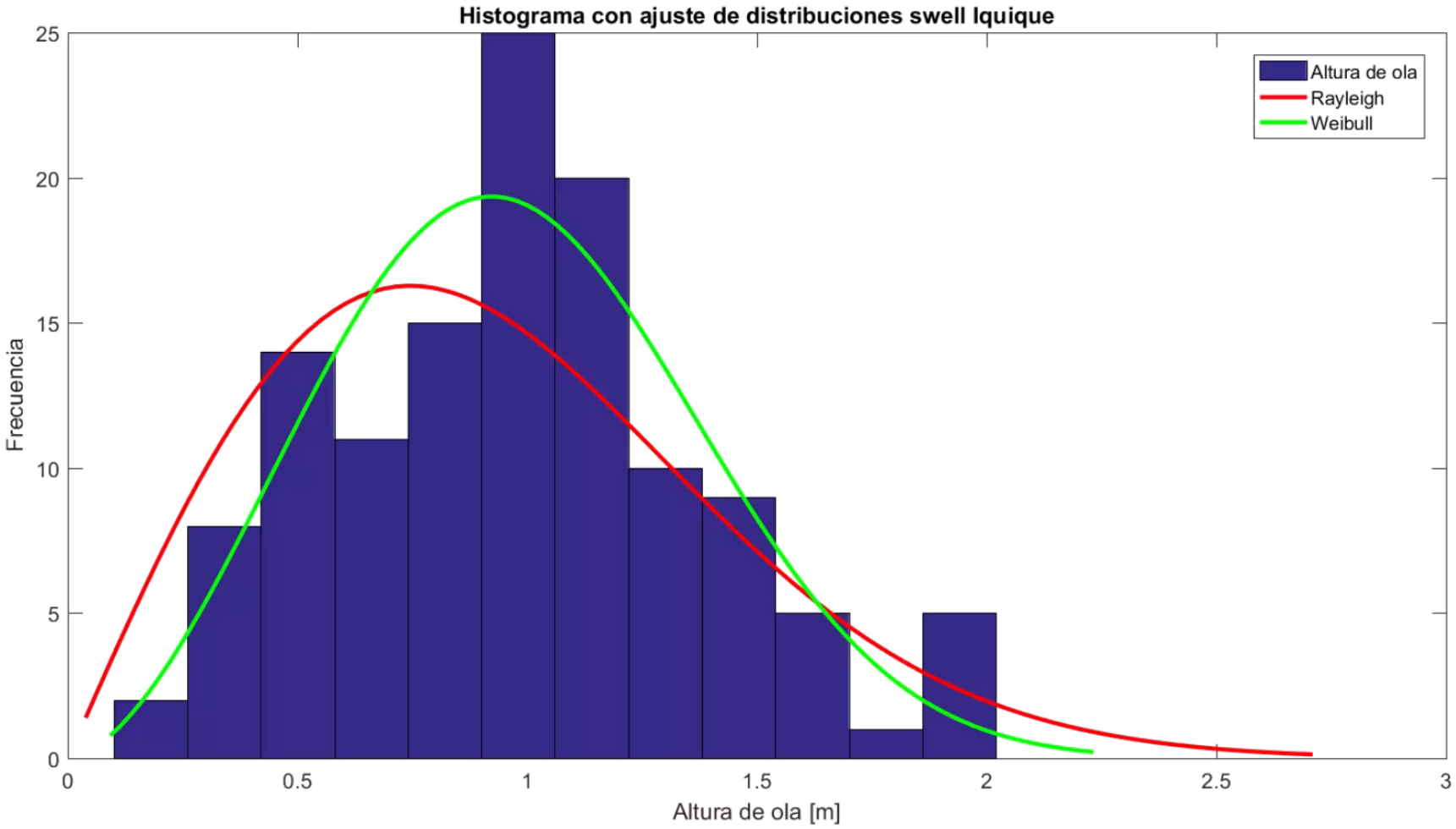




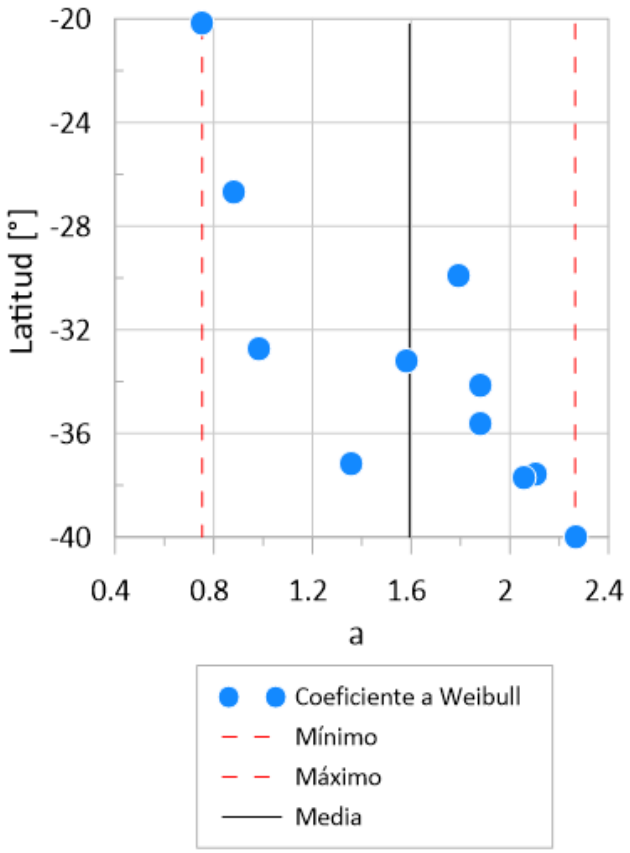
Ajuste Weibull

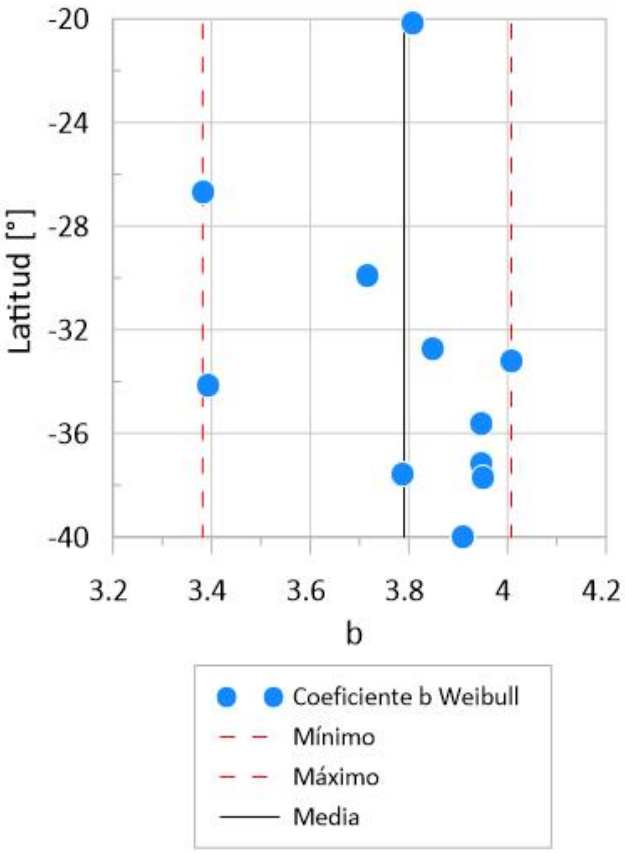
Análisis alturas de ola Swell

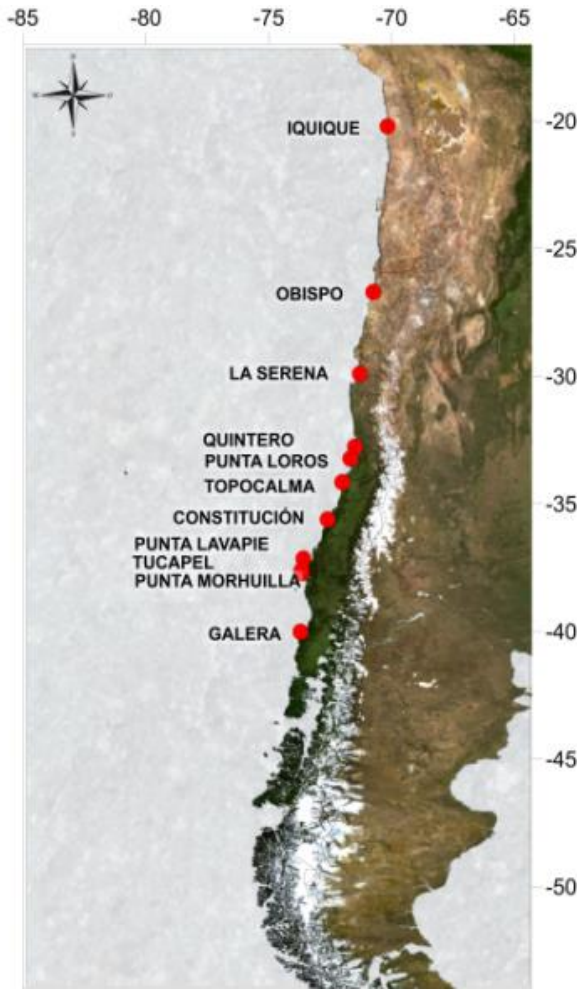
Ajuste Rayleigh y Weibull versus datos empíricos



Análisis alturas de ola Swell





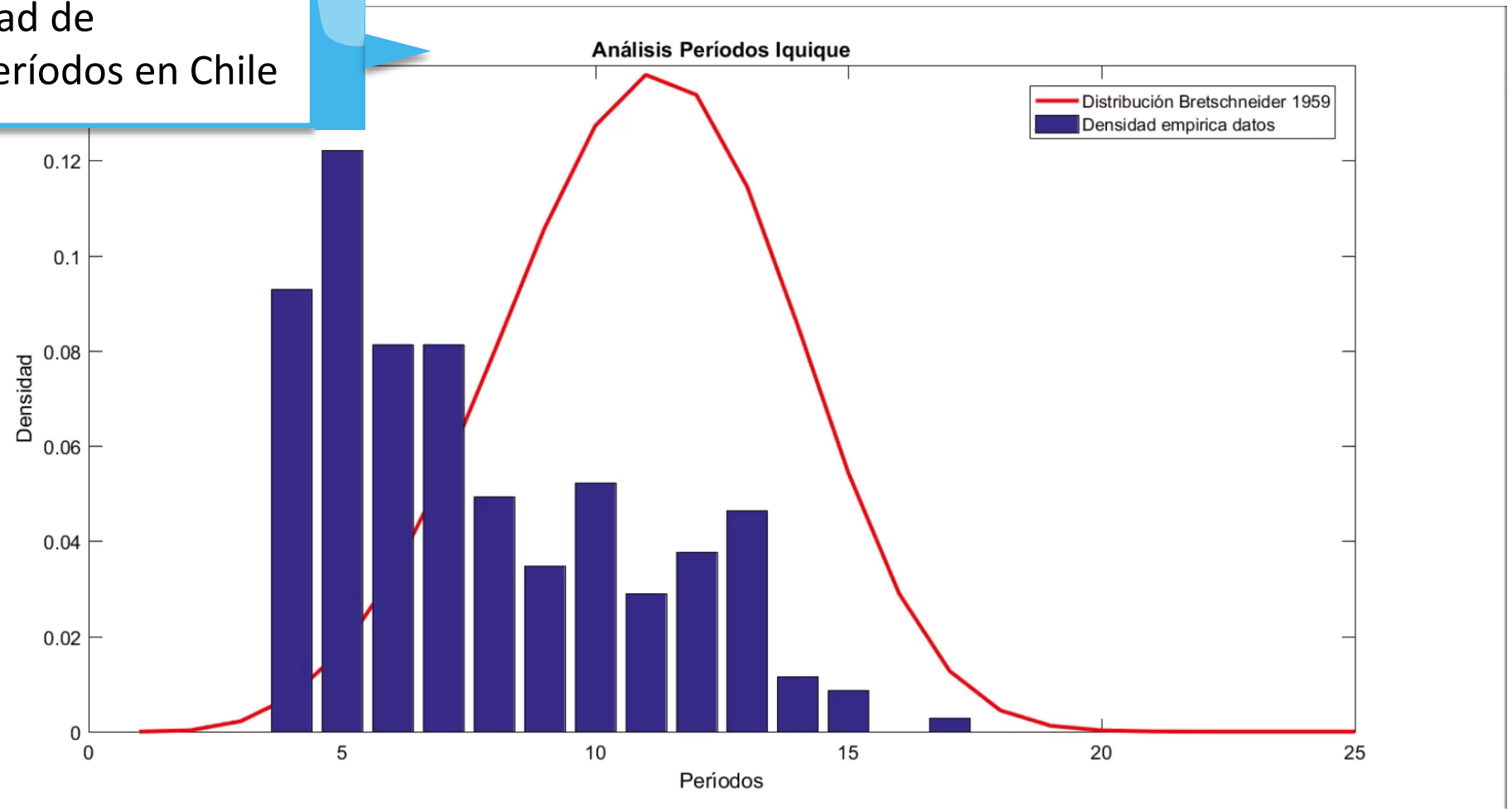


Función de distribución Weibull promedio para representar las alturas de ola por tipo de oleaje Swell

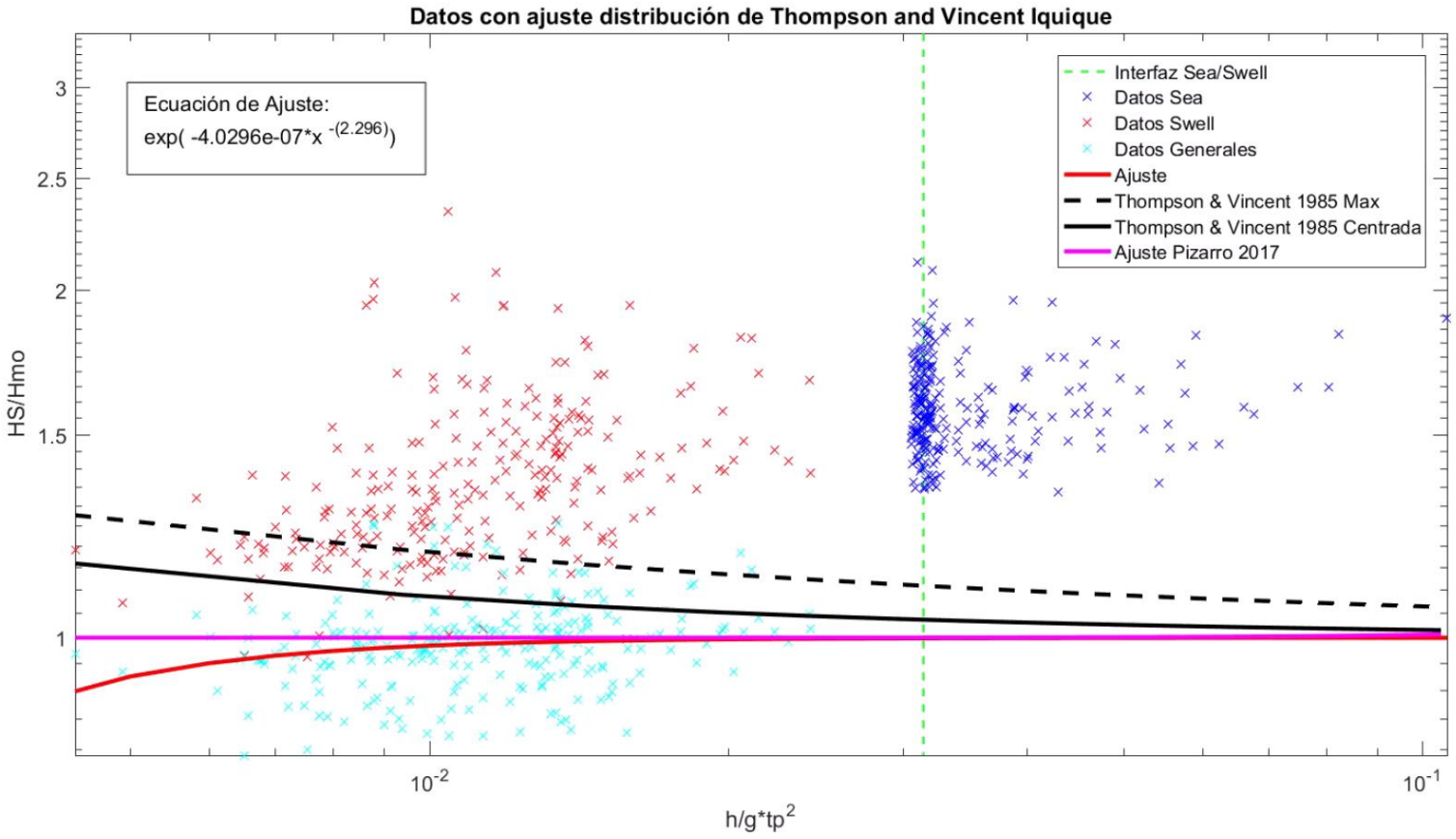
$$f(H/1.593\ ,3.790\,)\frac{3.790}{1.593}\left(\frac{H}{1.593}\right)^{3.790\ -1}\ exp^{-\left(\frac{H}{1.593}\right)^{3.790}}$$

Períodos

Evaluación densidad de Bretschneider y períodos en Chile



Relación Hs/Hmo



$$\left(\frac{H_s}{H_{mo}}\right) = exp\left(A\left(\frac{h}{gTp^2}\right)^{-B}\right)$$

$$\left(\frac{H_s}{H_{mo}}\right) = exp\left(1.8208\left(\frac{h}{gTp^2}\right)^{-(-2.4658)}\right)$$

Conclusión

Desnivelaciones

- Las desnivelaciones instantáneas se distribuyen de forma Normal en aguas someras.
- En los casos donde la distribución Normal no se ajustó, fue a consecuencia de la presencia de una onda larga no mareal.

Períodos

- La distribución de Bretschneider sobreestimó los datos de campo en las localidades estudiadas.
- Para distribuciones de forma bimodal, esta distribución se ajusta de buena manera para el oleaje tipo *Swell.*

Discusión y trabajos futuros

Alturas de ola

- La mejor distribución de alturas de ola es la distribución de Weibull en aguas someras para las localidades estudiadas.
- Tanto *Sea* o *Swell*, la distribución Weibull presentó un mejor ajuste a los datos de campos.

Relación Hs/Hmo

$$\left(\frac{H_s}{H_{mo}}\right) = exp\left(1.8208\left(\frac{h}{gTp^2}\right)^{-(-2.4658)}\right)$$

Discusión y trabajos futuros

Procesamiento estadístico

Análisis en el dominio de la probabilidad

Aplicando la distribución de Rayleigh se puede establecer que:

$$H_{1/3} = 1.60 \times \overline{H}$$
$$H_{1/3} = 1.42 \times H_{rms}$$

$$H_{1/10} = 2.03 \times \overline{H}$$
$$H_{1/10} = 1.80 \times H_{rms}$$
$$H_{1/10} = 1.27 \times H_{1/3}$$

$$H_{1/100} = 2.66 \times \overline{H}$$
$$H_{1/100} = 2.36 \times H_{rms}$$

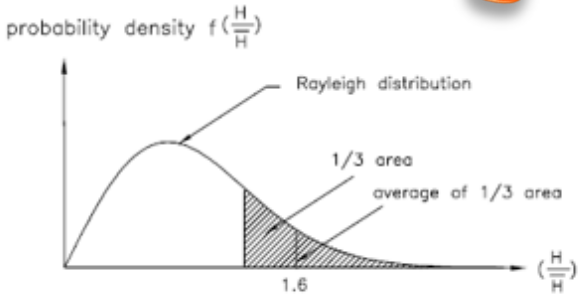


Fig.5. Relation between H_s and $\overline{H}$.

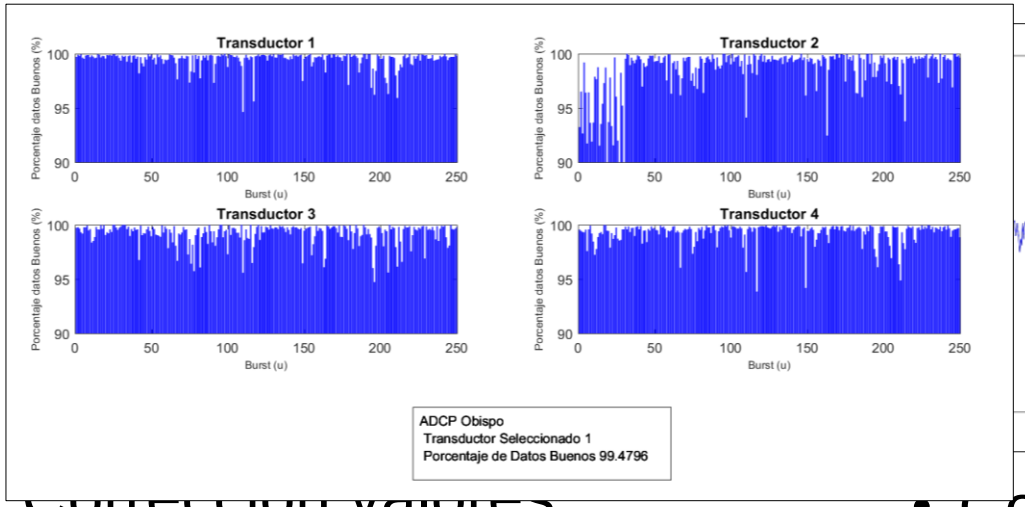
$$E(H_{max}) \cong \frac{H_{1/3}}{2}\sqrt{2\ln(N)} \quad N > 100$$

FIN

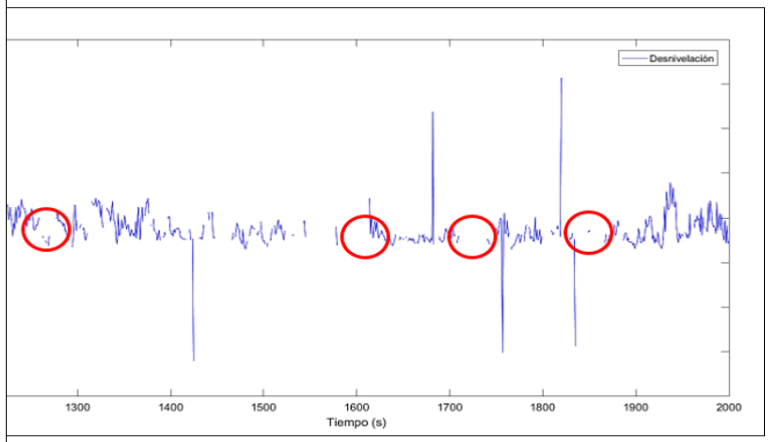
PREGUNTAS

Control de calidad

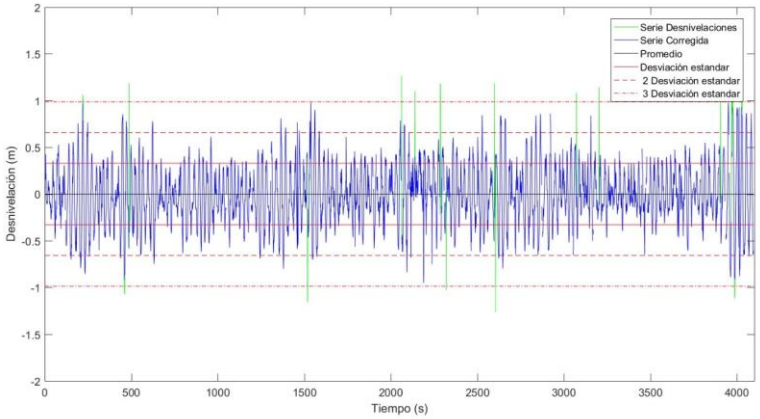
- Inspección visual
- Selección del transductor



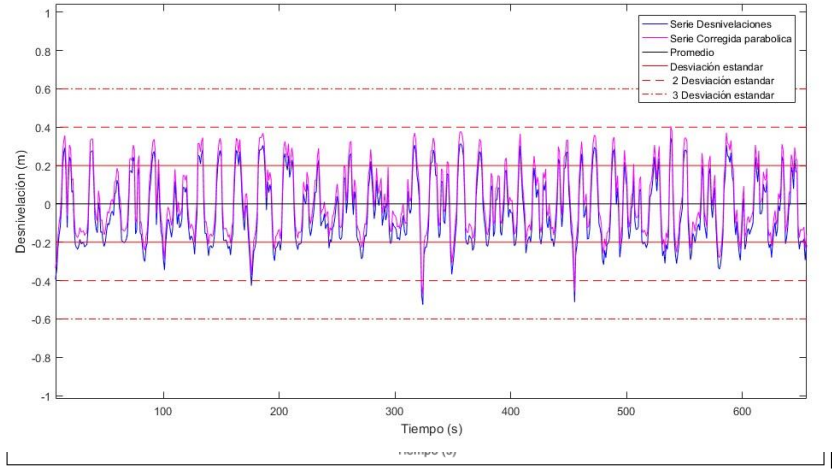
- Corrección valores anómalos o OUTLIERS



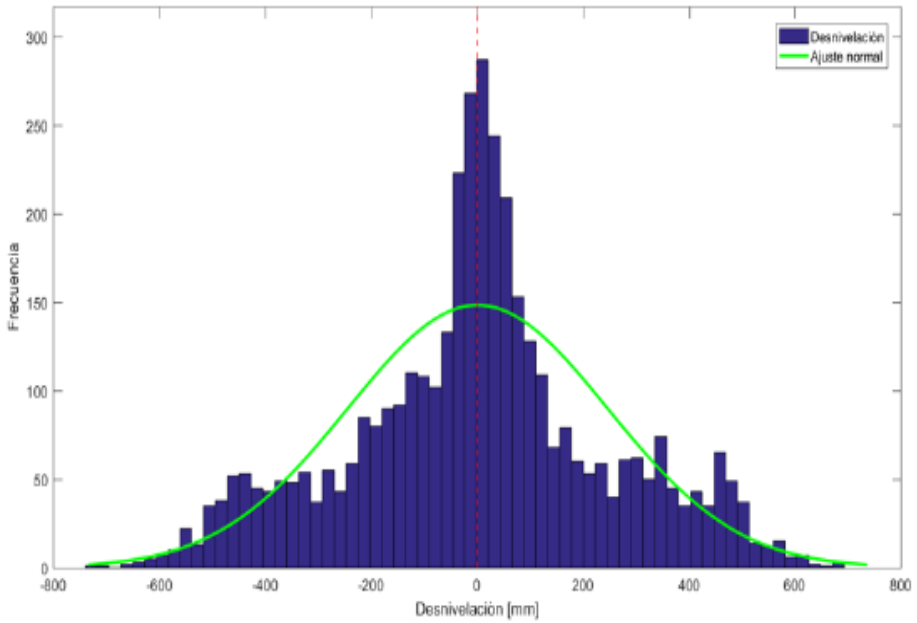
- Corrección valores inexistentes o GAPS



- Corrección nivel medio



Análisis de las series de desnivelaciones instantáneas



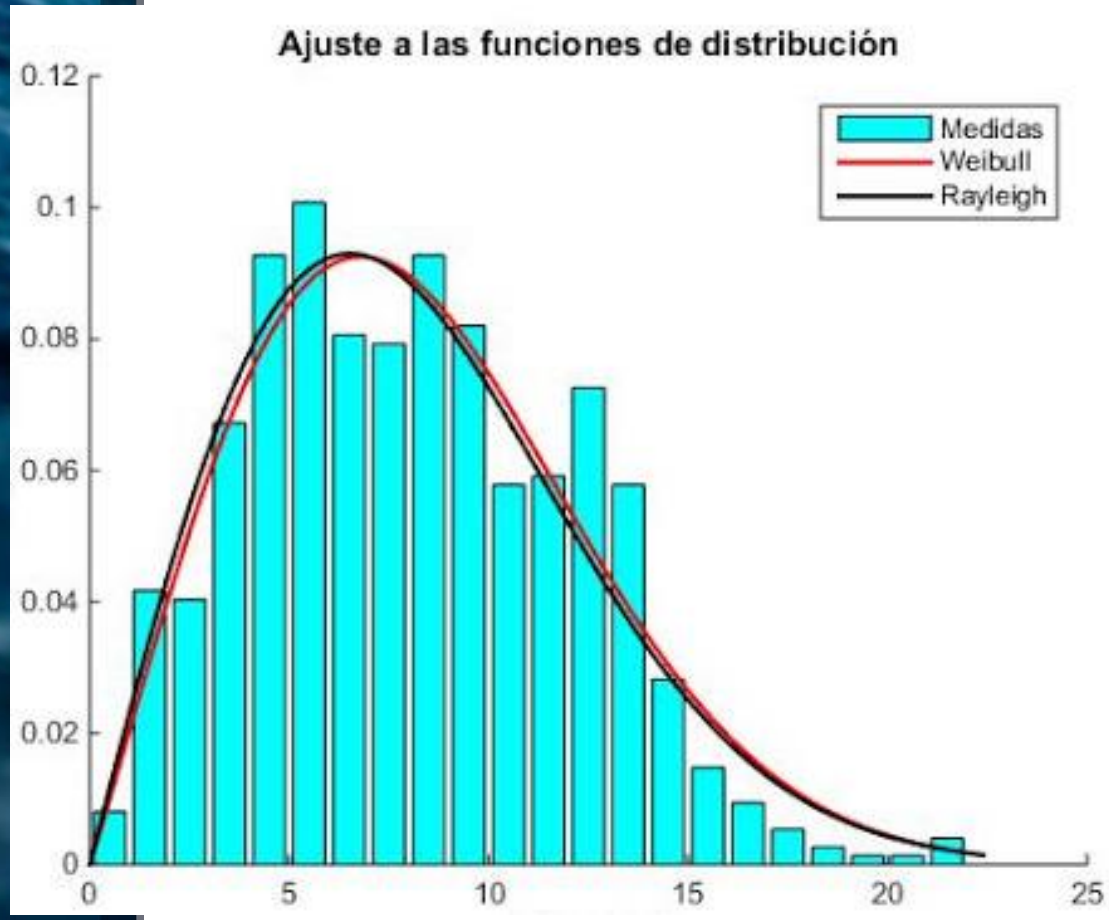
desnivelación

coeficiente mu

$$f(\eta/\mu,\sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} exp\left(\frac{-(\eta-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

Ccoeficiente sigma

Análisis de alturas de ola



Alturas de ola

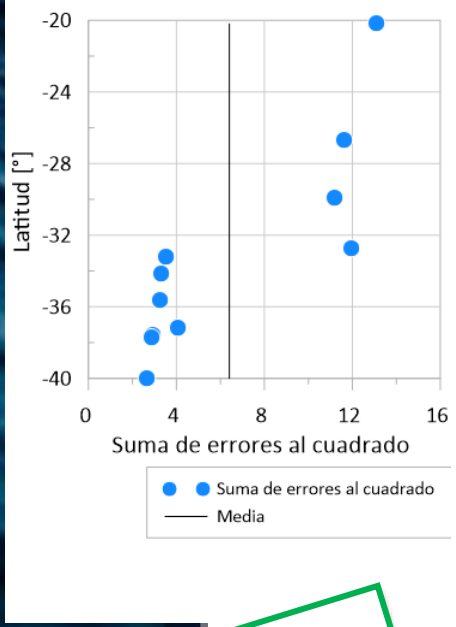
<u>Rayleigh</u> $$f(H/b) = \frac{1}{b^2} exp^{\left(\frac{-H^2}{2b^2}\right)}$$

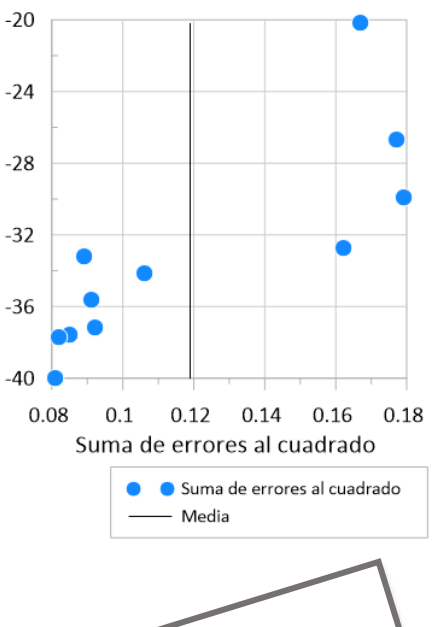
Coeficiente

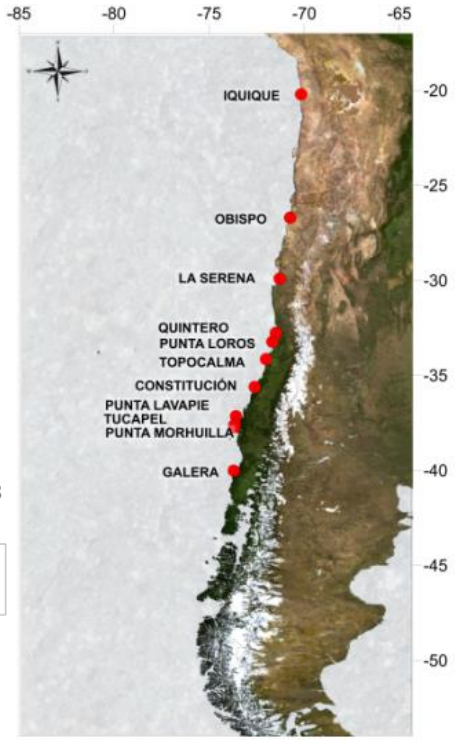
Alturas de ola

<u>Weibull</u> $$f(H/a,b) = \frac{b}{a}\left(\frac{H}{a}\right)^{b-1} exp^{-\left(\frac{H}{a}\right)^b}$$

Coeficientes





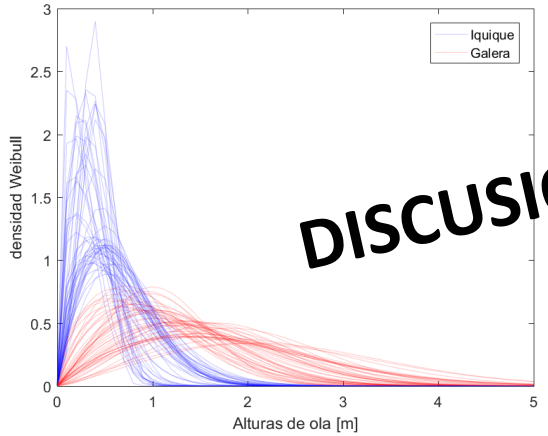


Análisis Desnivelaciones

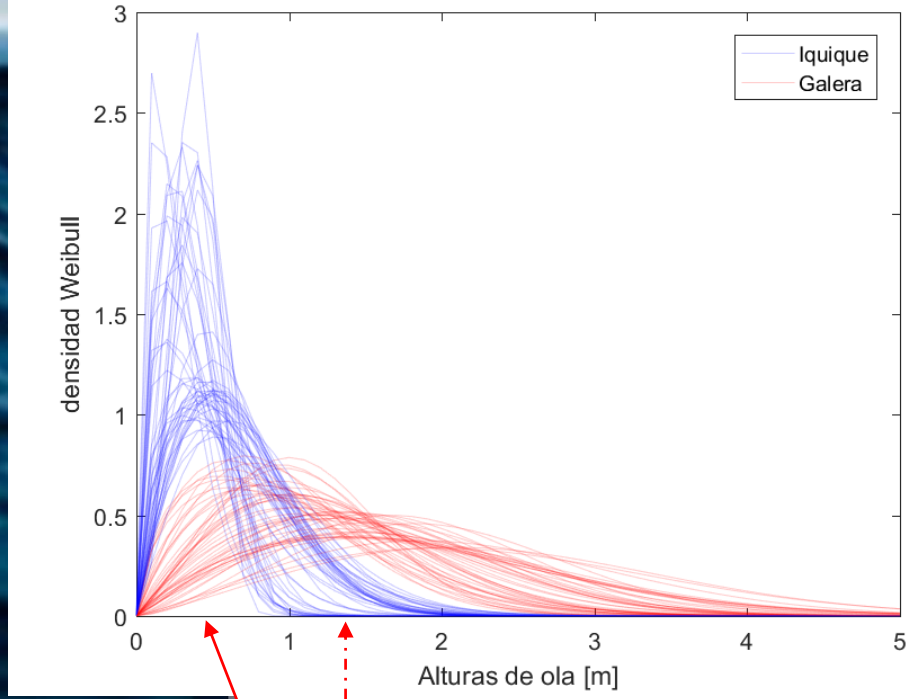
Análisis alturas de ola general

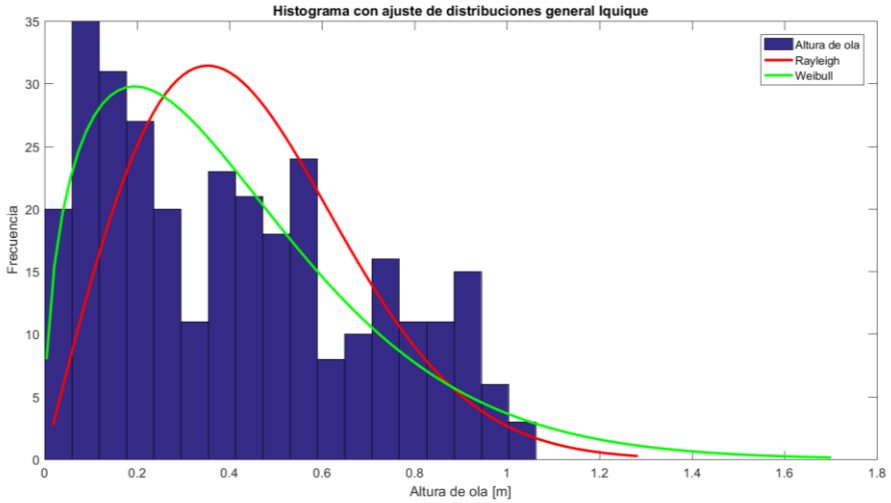
Análisis alturas de ola Sea

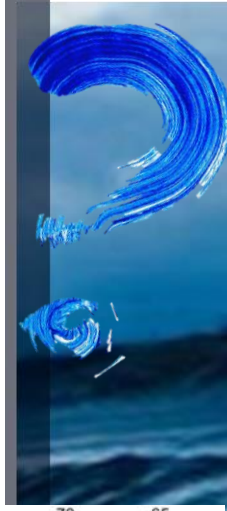
Análisis alturas de ola Swell



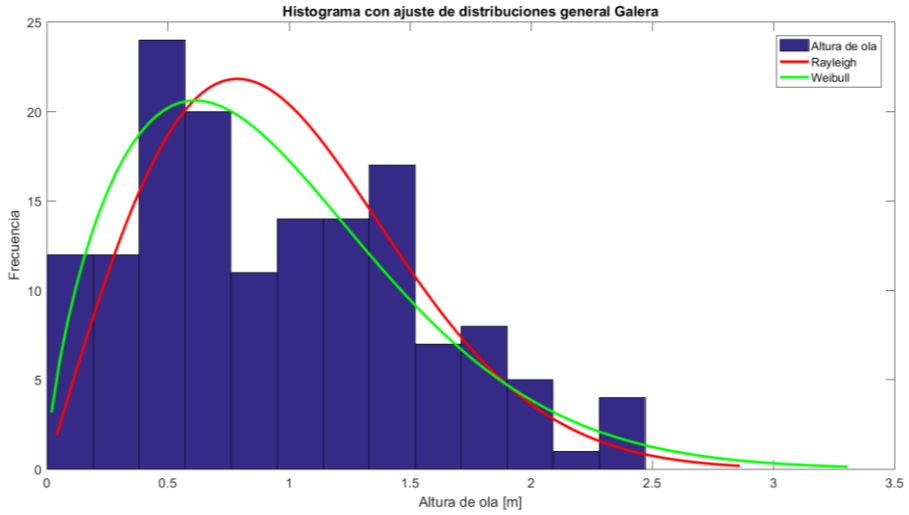
DISCUSIÓN??????

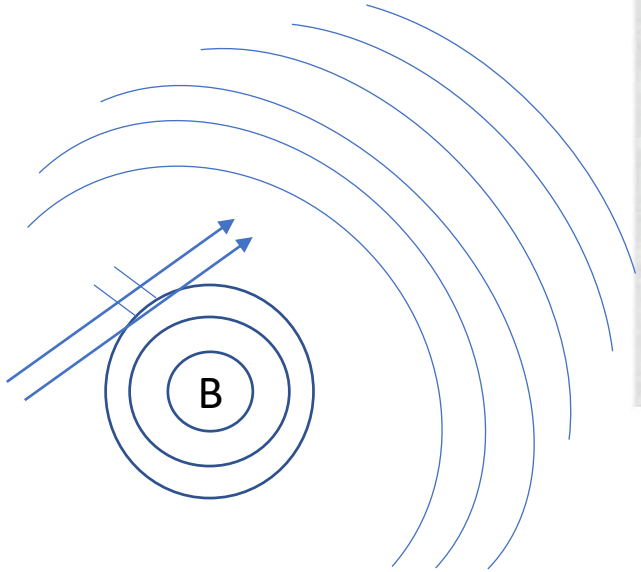


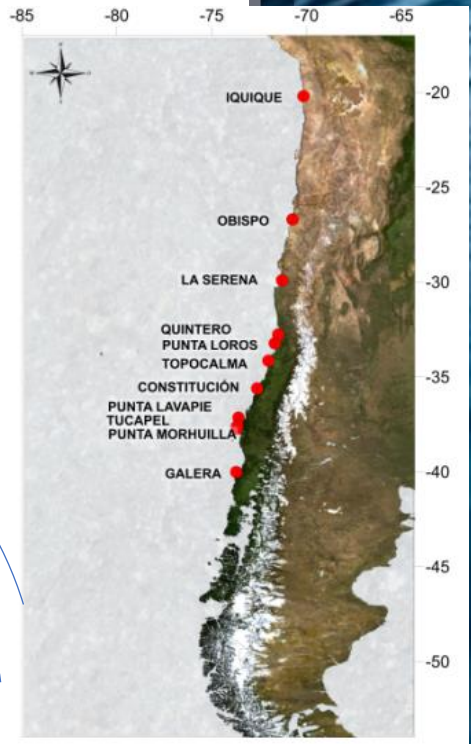




Localidad	Coeficientes		
	Probabilidad Rayleigh	Probabilidad Weibull	
	b	a	b
Iquique	0.367	0.507	2.003
Obispo	0.461	0.632	1.813
La Serena	0.874	1.210	2.029
Quintero	0.504	0.722	2.344
Punta Loros	0.767	1.082	2.003
Topocalma	0.954	1.338	1.976
Constitución	0.936	1.329	2.083
Punta Lavapié	0.658	0.924	1.993
Tucapel	1.069	1.492	1.918
Punta Morhuilla	1.011	1.424	2.005
Galera	1.126	1.586	2.010
Máx.	1.126	1.586	2.344
Mín.	0.367	0.507	1.813
Media	0.793	1.113	2.016



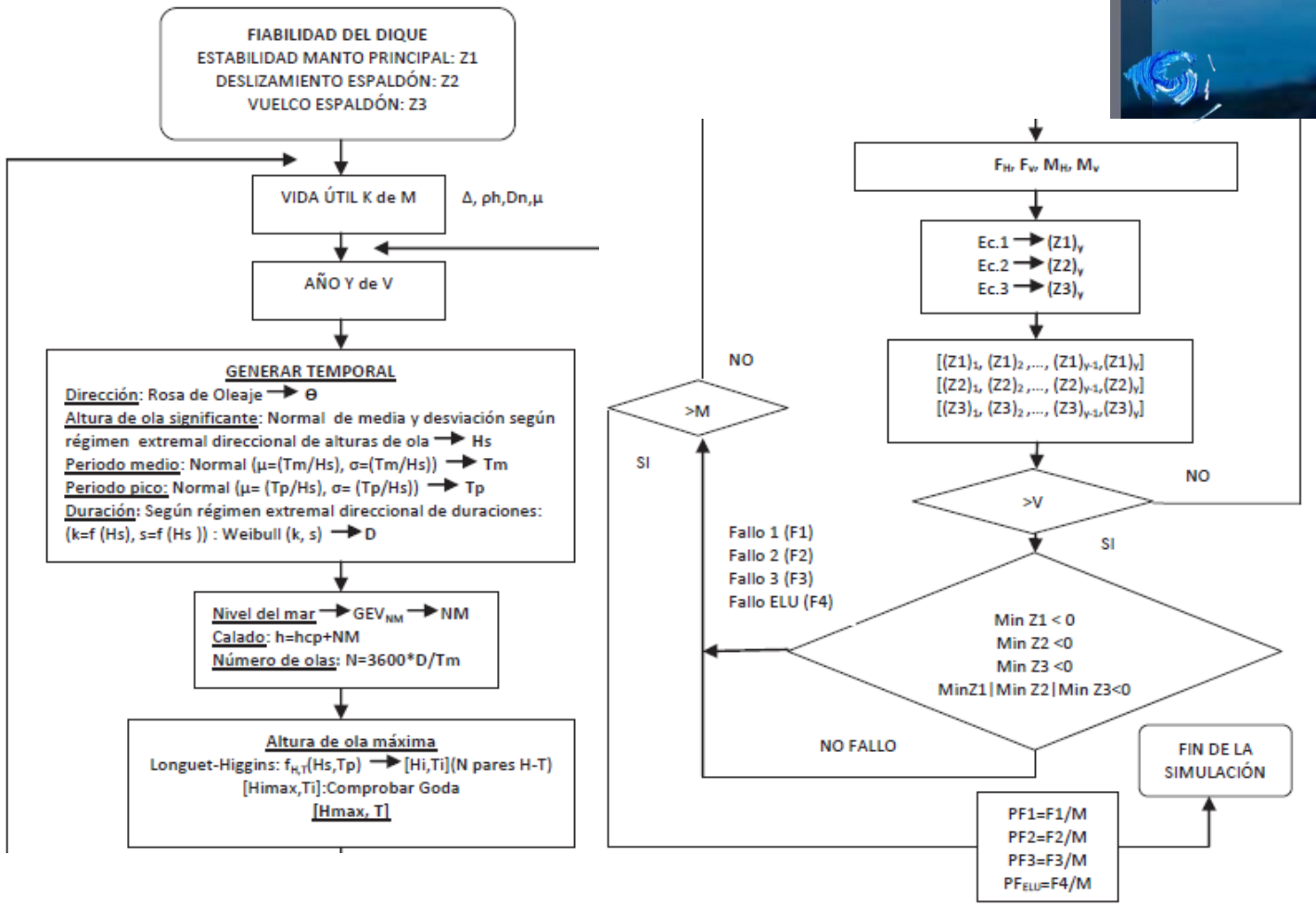


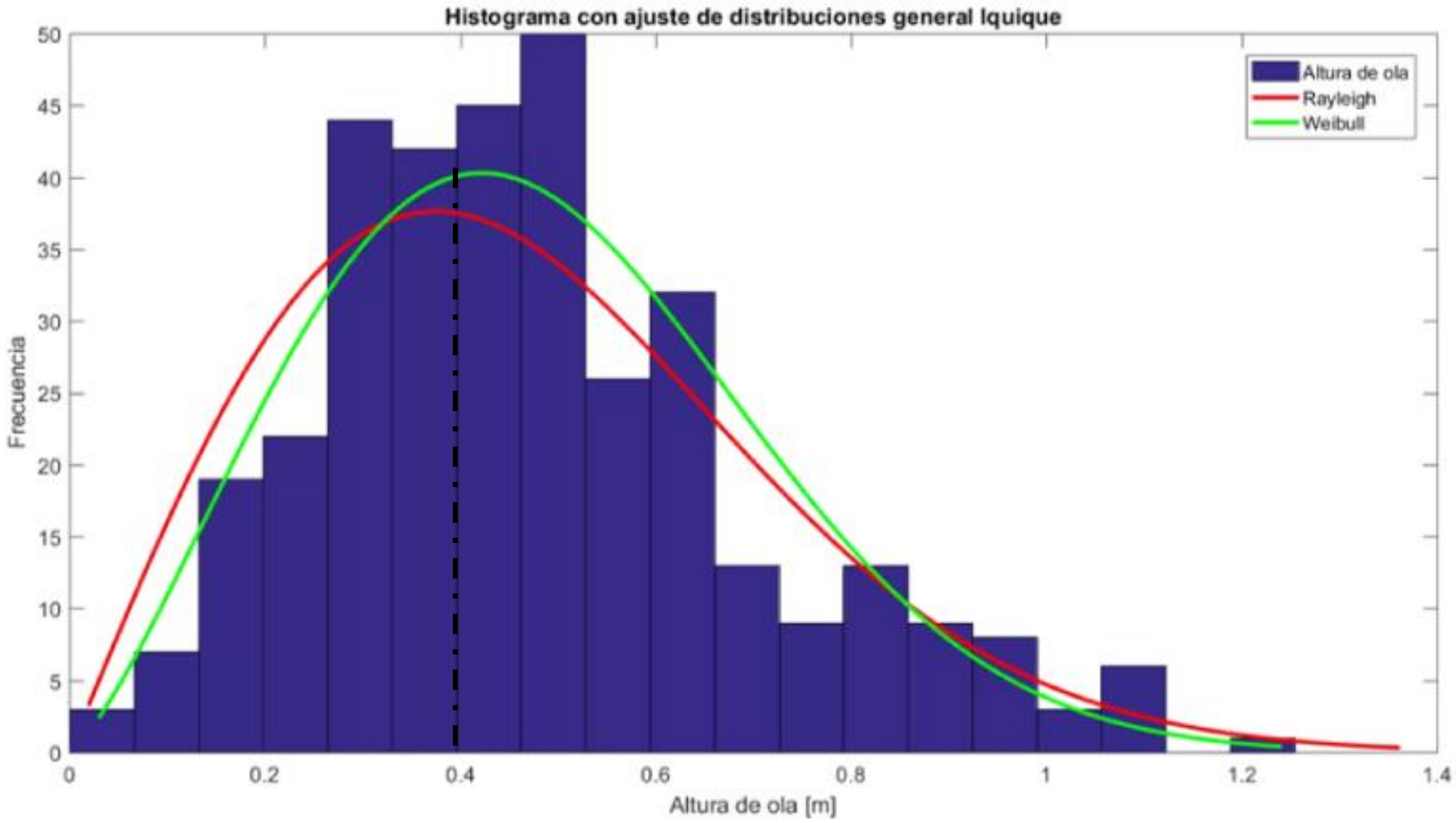


ROM 0.0, plantea con carácter general un tratamiento sistemático de la incertidumbre inherente a todos los factores de proyecto (la acción climática entre otros) y a los modelos de comportamiento funcional, estructural y geotécnico (ecuaciones de verificación) de la obra.

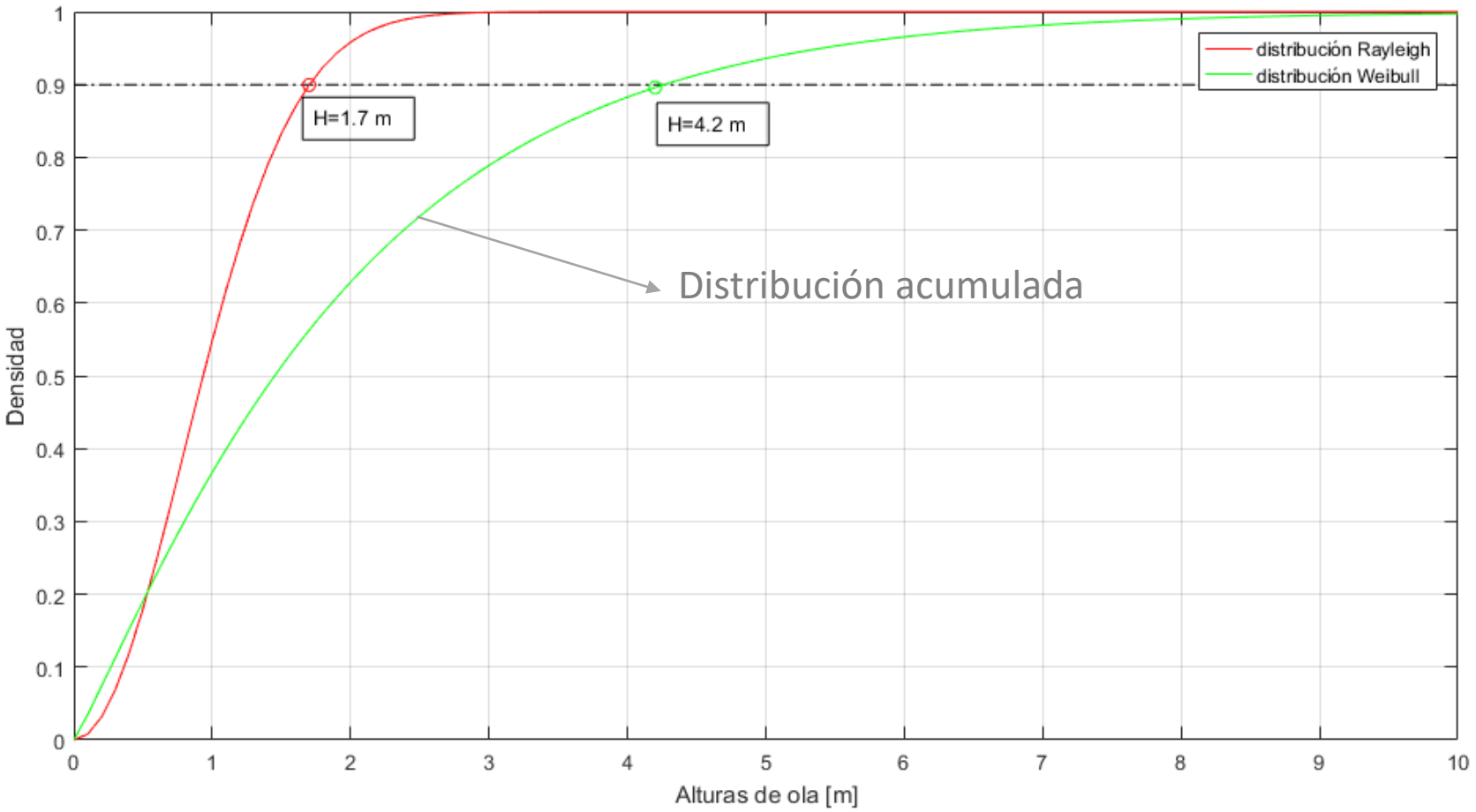
En función de este enfoque, la ROM 0.0 propone establecer la idoneidad de un diseño con un planteamiento probabilista, mediante la evaluación de las probabilidades de ocurrencia de los diferentes modos de fallo a lo largo de la vida útil de la obra y su comparación con las fiabilidades (probabilidades de no fallo) mínimas admisibles derivadas del carácter de la obra desde el punto de vista económico, social y ambiental.

En el marco conceptual de ROM 0.0, el fallo de una obra o instalación, se produce por la conjunción de variables de diseño: climáticas, resistentes y funcionales. Por ello, la no excedencia del oleaje de cálculo de ROM 0.2-90, no garantiza la seguridad frente al fallo, ya que este puede producirse también con oleaje inferior al de cálculo, si las variables de resistencia, que son también aleatorias, toman valores menores que los adoptados en un análisis determinista.




Histograma con ajuste de distribuciones general Iquique
Altura de ola
Rayleigh
Weibull
Frecuencia
Altura de ola [m]
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4

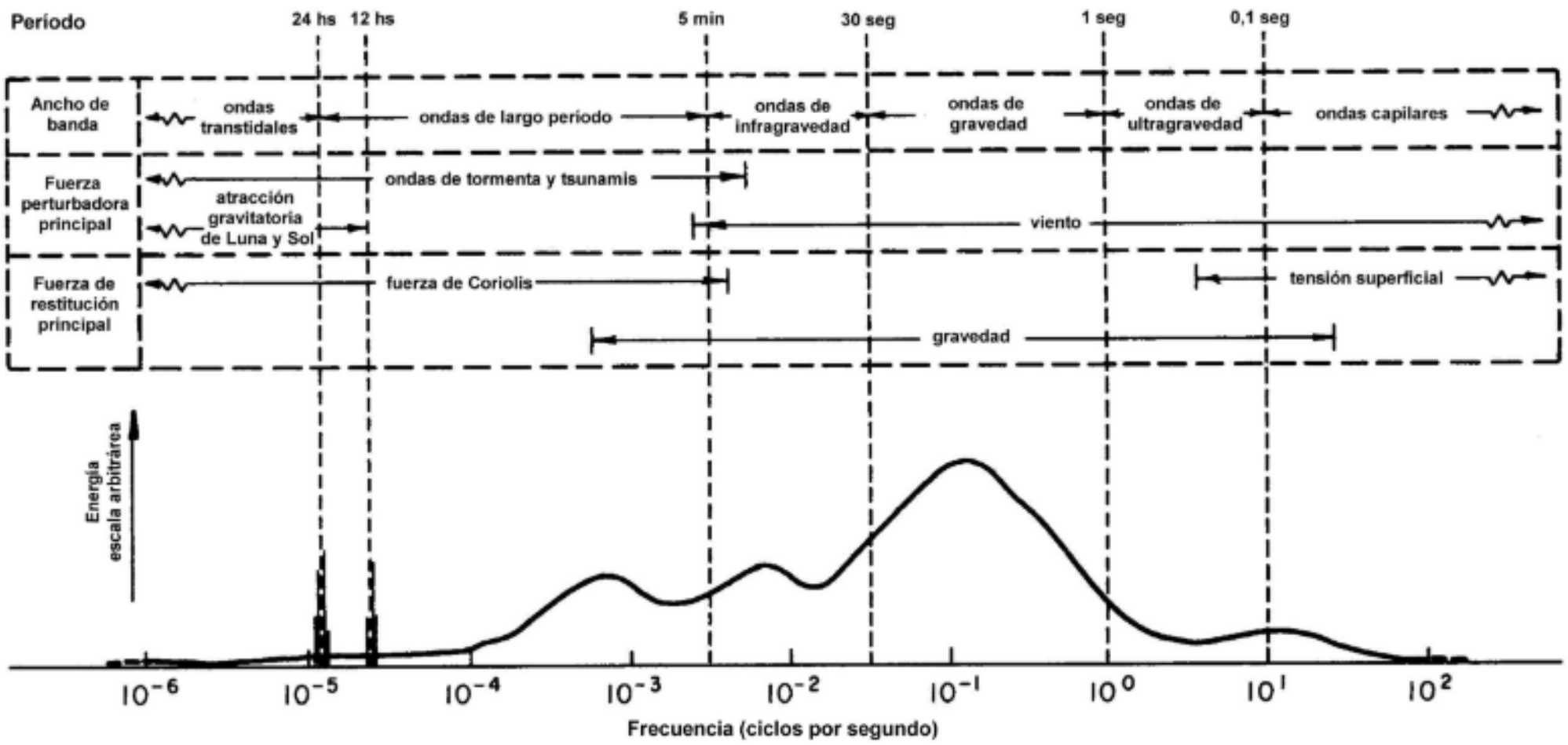
Comparación de alturas



$$f(H/0.793) = \frac{1}{0.793^{2}} exp^{\left(\frac{-H^{2}}{2*0.793^{2}}\right)}$$

$$f(H/1.113, 2.016) = \frac{2.016}{1.113}\left(\frac{H}{1.113}\right)^{2.016-1} exp^{-\left(\frac{H}{1.113}\right)^{2.016}}$$

Localidades



Dentro de las ondas largas se encuentran las seiches que tienen períodos comprendidos entre 1min y las 2hs. Las seiches son perturbaciones que ingresan en la plataforma desde el océano abierto, encontrando en la misma una geometría que le permita resonar. Es probable que intervengan en la formación de las seiches las variaciones de la presión atmosférica producidas por el paso de frentes en aguas de la plataforma, fuertes trenes de olas, o a actividad sísmica.