



FACULTAD DE INGENIERÍA

**“Análisis y modificación de las ecuaciones de equilibrio en planta
aplicada a cuatro playas de las zonas del Norte Chico y Central de Chile”**

Patricio Enrique Opazo Arriagada

Junio 2012



CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN

SELECCIÓN Y ESTUDIO DE PLAYAS EN EQUILIBRIO

OLEAJE OPERACIONAL EN PLAYAS DE ESTUDIO

DETERMINACION DE UNA ECUACIÓN DE EQUILIBRIO

ANÁLISIS A LA ECUACIÓN DE EQUILIBRIO PROPUESTA

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1 Introducción

- Generalidades

Definición de playa.

Concepto de playa en equilibrio.

Planta de Equilibrio.

Autor	Año	Características
Mashima	1961	Elipses.
Yasso	1965	Espirales Logarítmicas.
Vicheptan-Ho-Silvester	1969-1971-1972	Espirales Logarítmicas. Relaciones geometría-oleaje.
Hsu	1987	Proposición de Modelo Parabólico.
Hsu y Evans	1989	Modelo Parabólico dependiente de la oblicuidad del oleaje.
Hsu y Silvester	1990	Aplicación de modelos parabólicos a otras formas de playas.
Mc Cormick	1993	Proposición de Modelo Elíptico.
Tan y Chlew	1994	Validan Modelo de Hsu y Evans. (Incidencia oblicua del oleaje).
González	1995	Propone metodología de diseño de playas artificiales basado en el modelo de Hsu y Evans.

→ Costas de EE.UU.

→ Playas españolas

Motivación y fundamento de la investigación.

1 Introducción

- Objetivos

OBJETIVO GENERAL

Encontrar los coeficientes que conformen una ecuación de equilibrio que modele la forma en planta de playas de las zonas Central y Norte Chico de Chile y estudiar la aplicación de esta formulación en otros sectores del país, y en el diseño de playas artificiales.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

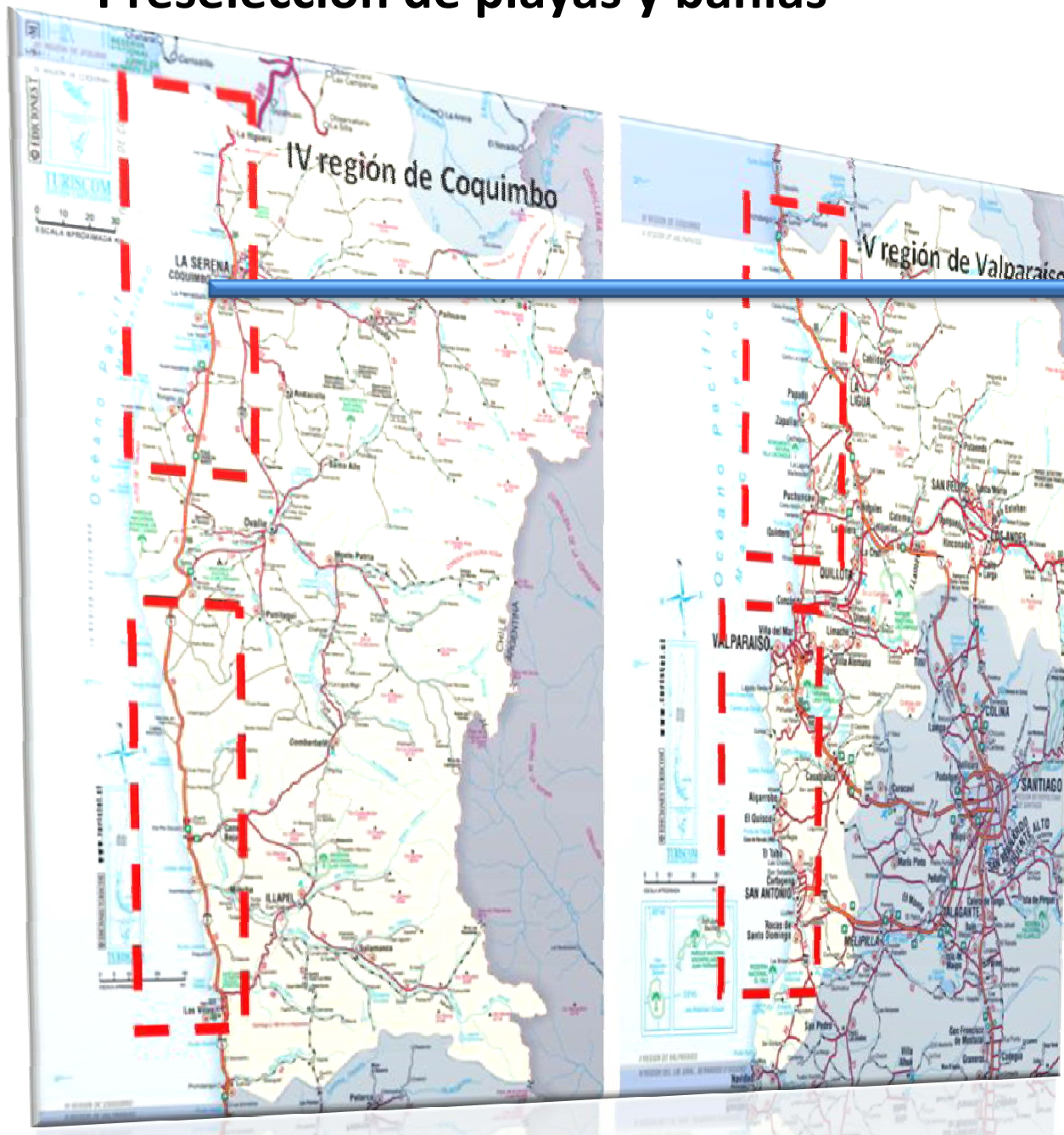
- **Identificar playas o bahías en equilibrio** en las zonas del Norte Chico y Central de Chile.
- **Estudiar variabilidad histórica de líneas de costa** para playas o bahías estudiadas.
- **Caracterizar el clima de oleaje** para cuatro playas o bahías seleccionadas.
- **Zonificar del transporte de sedimentos** en playas o bahías estudiadas.
- **Determinar el flujo medio de energía** del oleaje en playas estudiadas.
- **Aportar con una propuesta metodológica** para los estudios de playas en equilibrio aplicable a Chile.

2 Selección y estudio de playas en equilibrio

- Preselección de playas y bahías.
- Set fotográfico de playas seleccionadas.
- Estudio espacio-temporal.

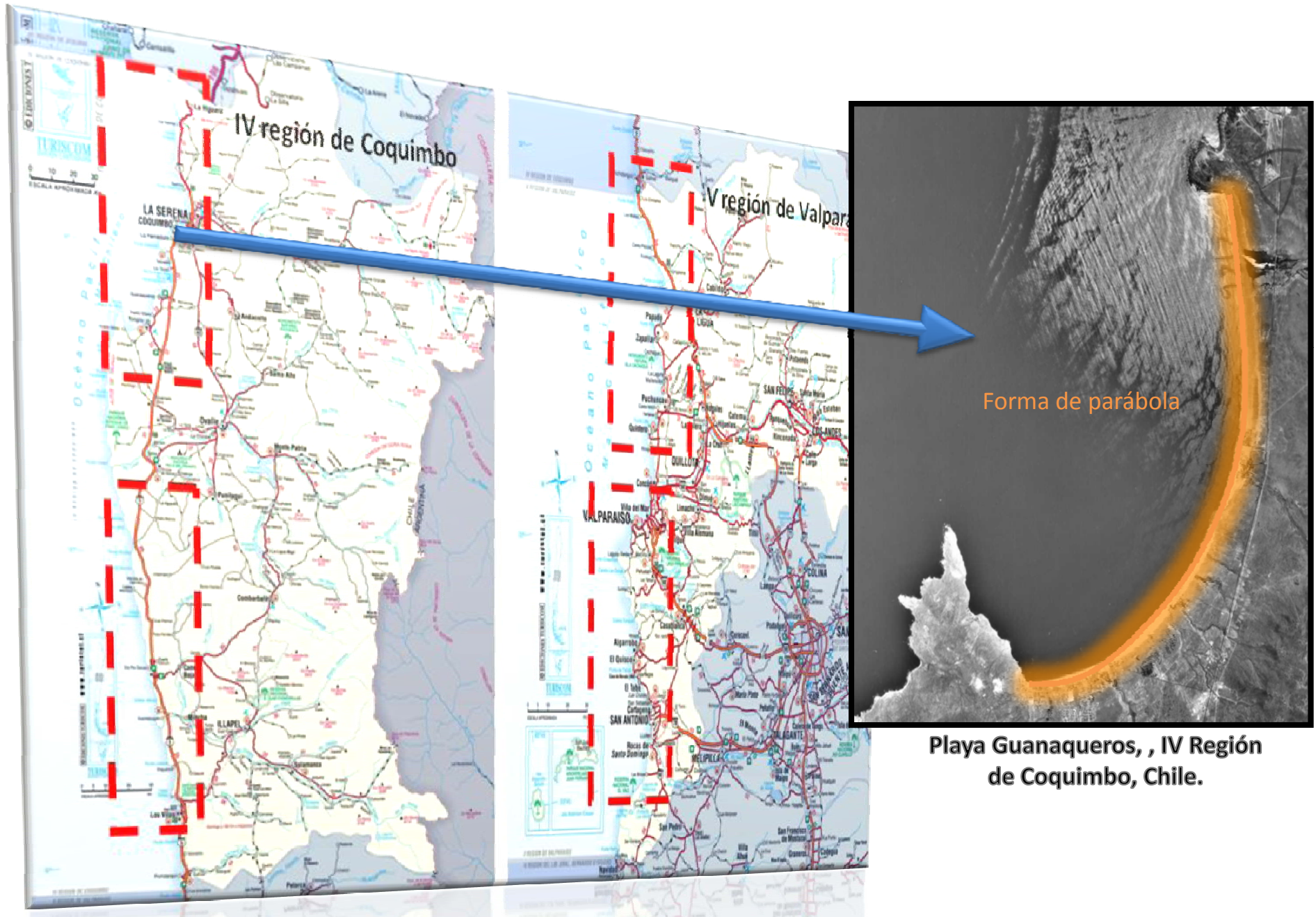


Preselección de playas y bahías

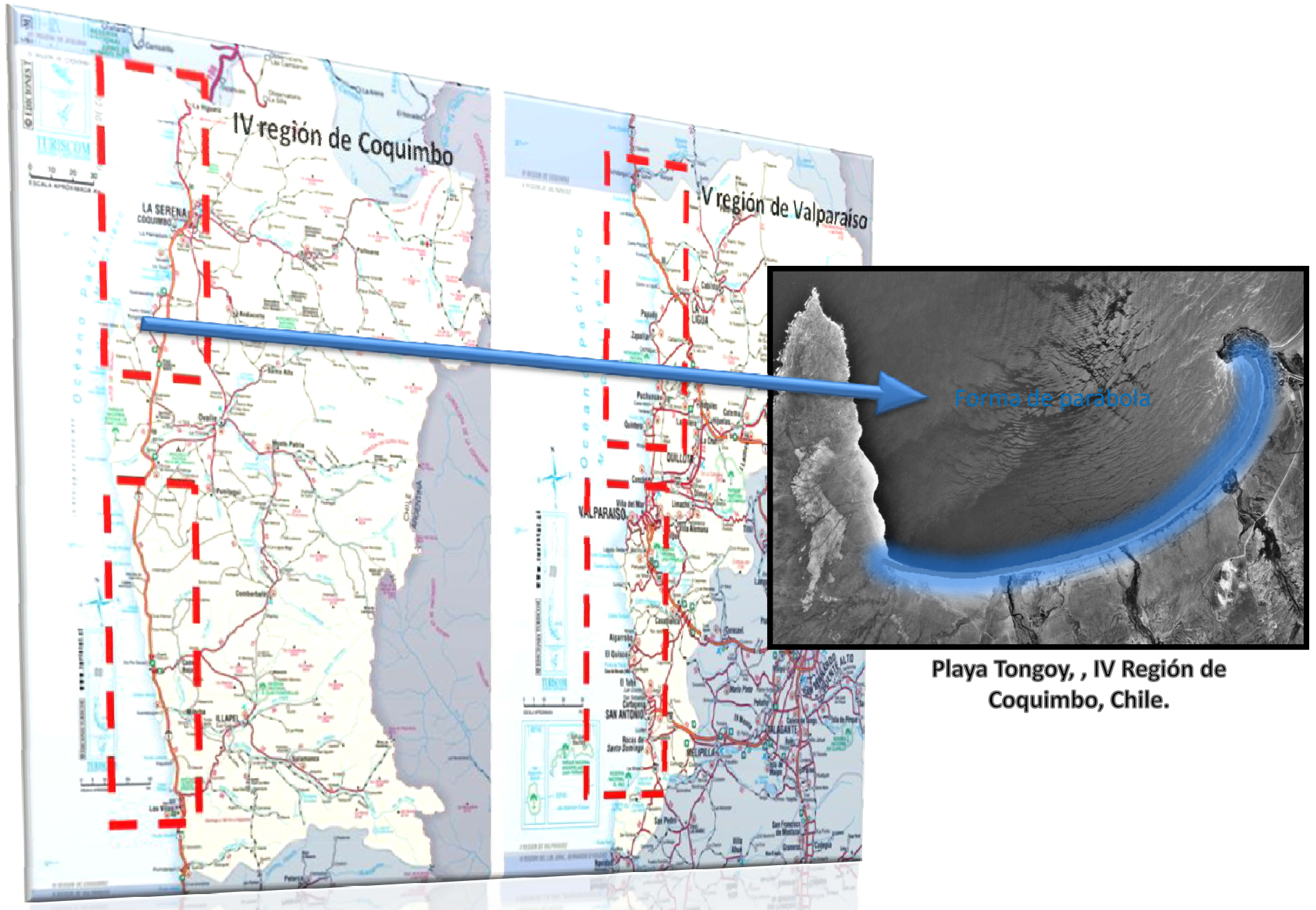


Playa La Serena, IV Región de Coquimbo, Chile.

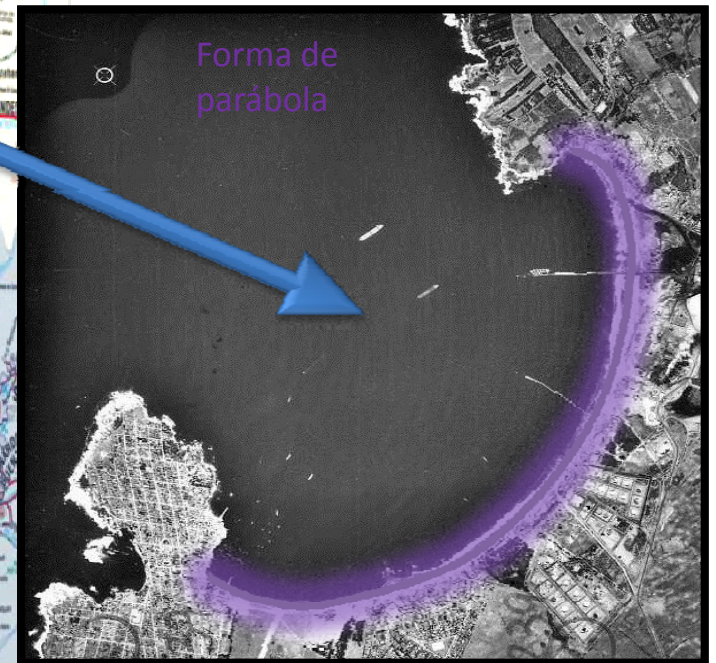
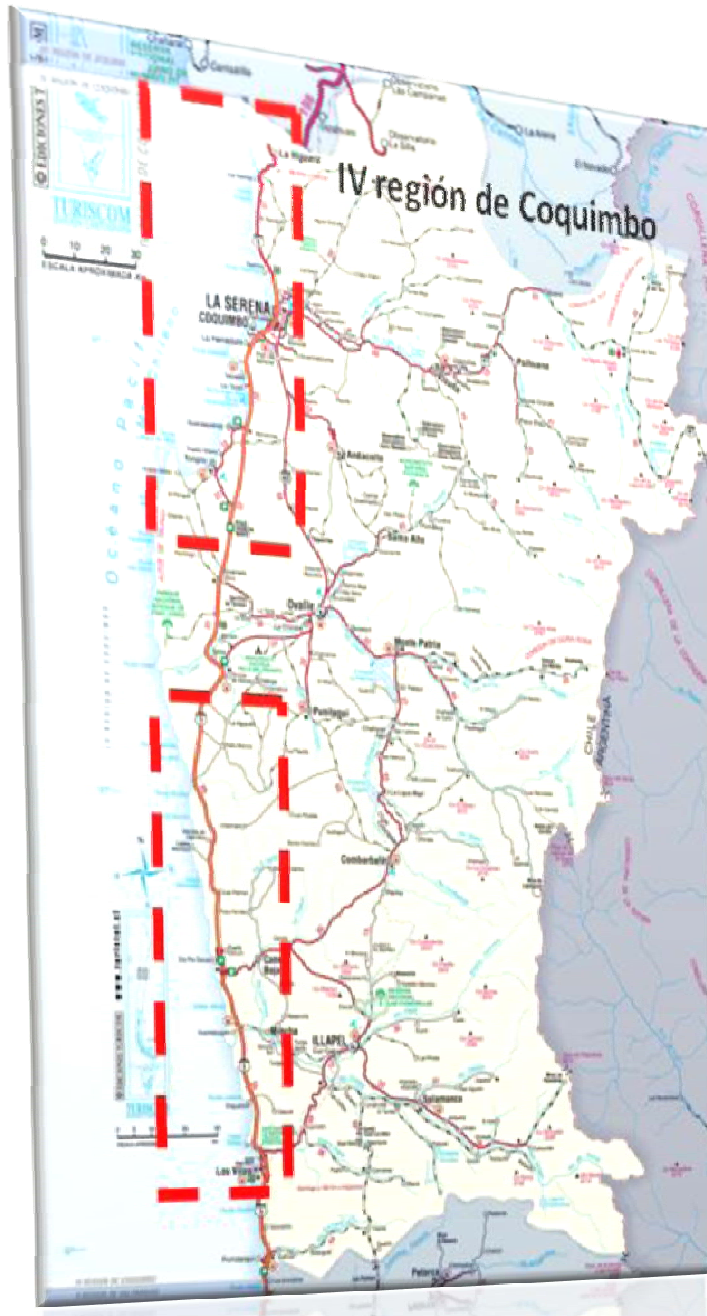
Preselección de playas y bahías



Preselección de playas y bahías



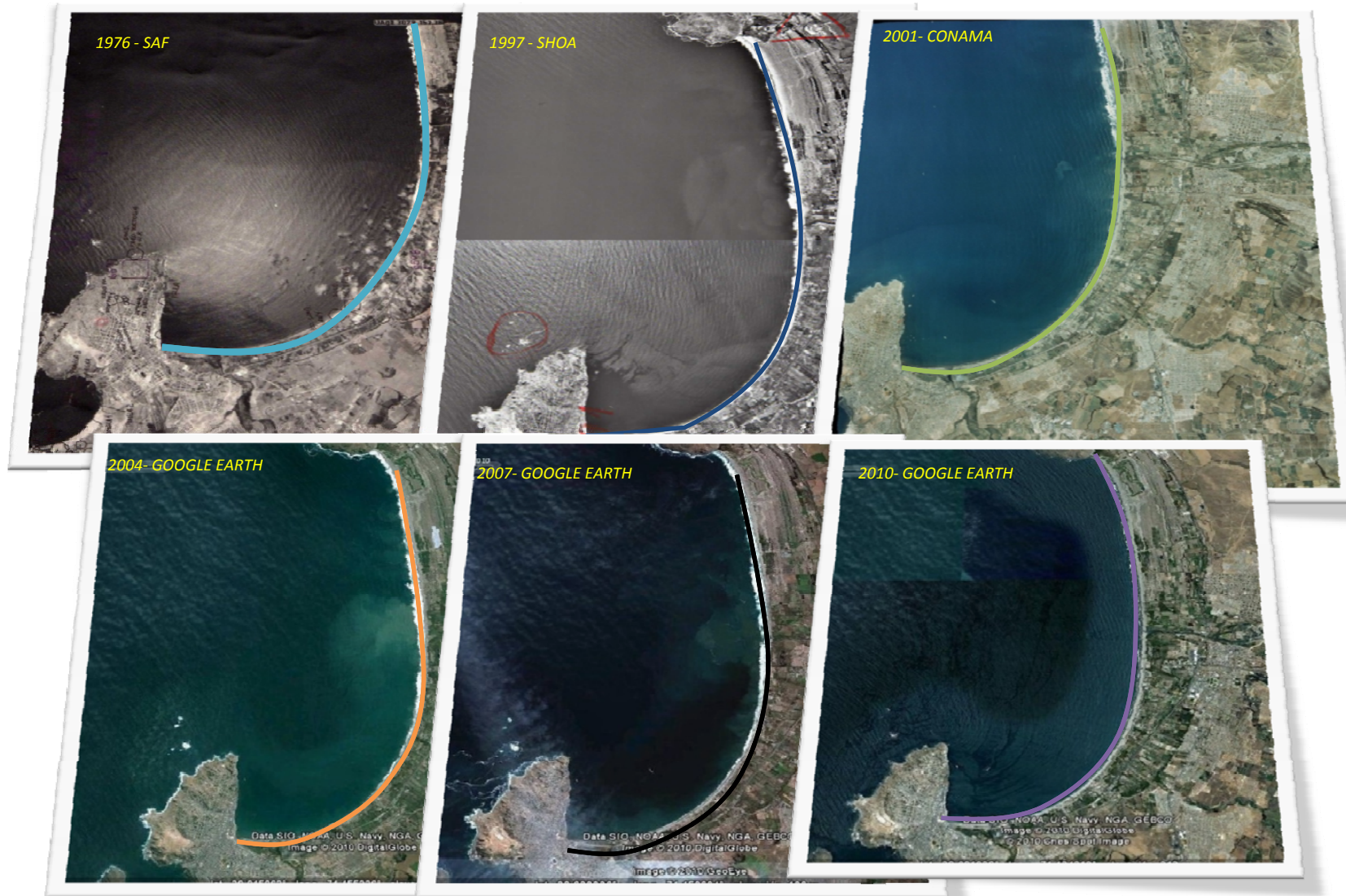
Preselección de playas y bahías



Bahía Quintero, , V Región de Valparaíso, Chile.

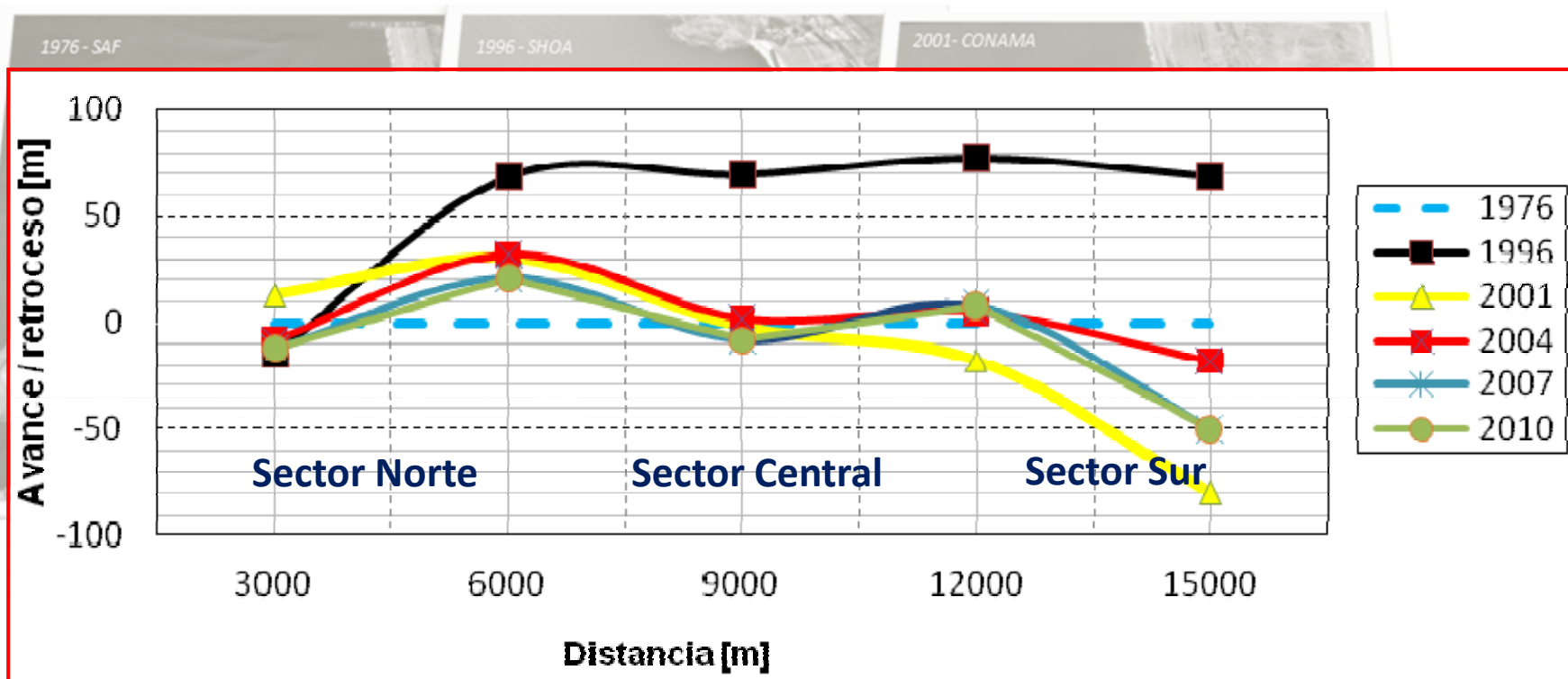
Set fotográfico de playas seleccionadas

Playa La Serena



Set fotográfico de playas seleccionadas

Espacio-Temporal. Playa La Serena



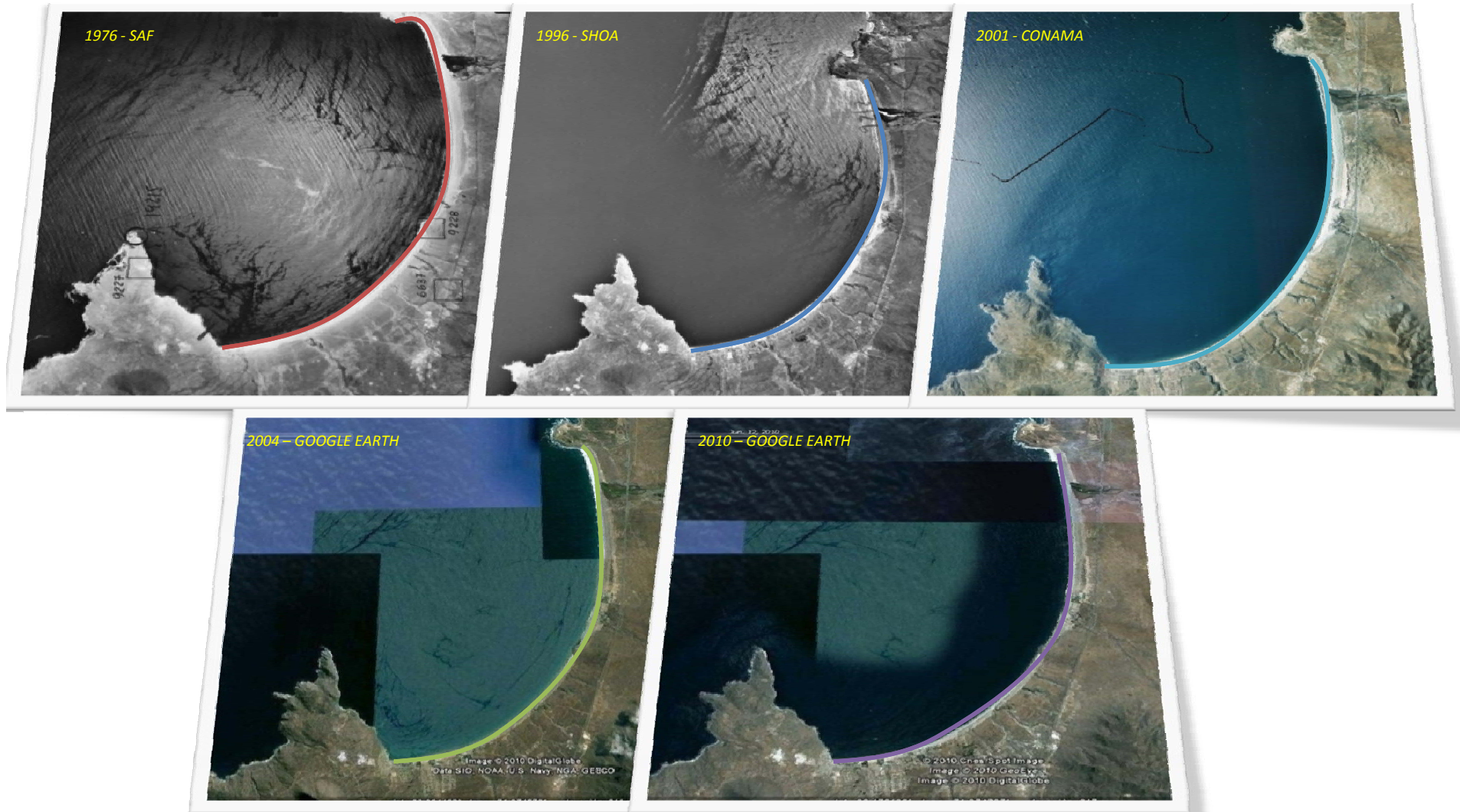
En sectores norte y central de la playa, las variaciones promedio fueron mínimas.

En el sector sur se observó un retroceso promedio del orden de 50 metros.

Para el año 1996, se presentó un avance promedio de 75 metros con respecto a todos los años.

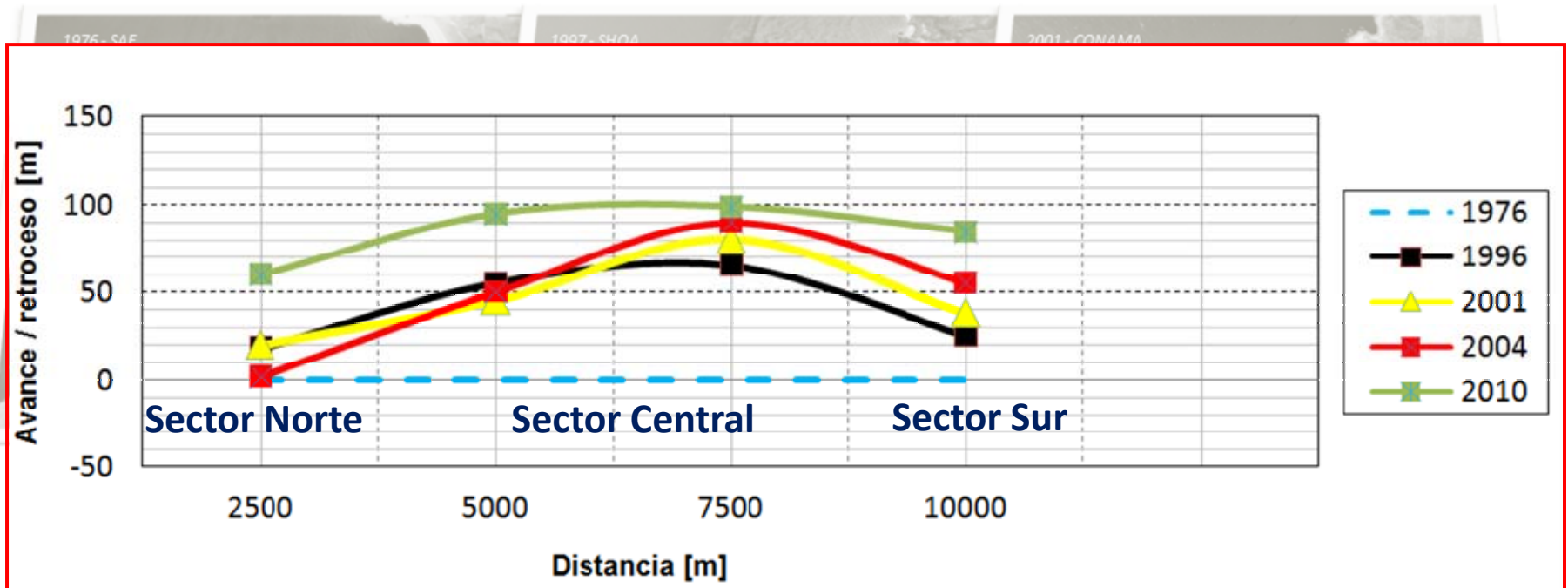
Set fotográfico de playas seleccionadas

Playa Guanaqueros



Set fotográfico de playas seleccionadas

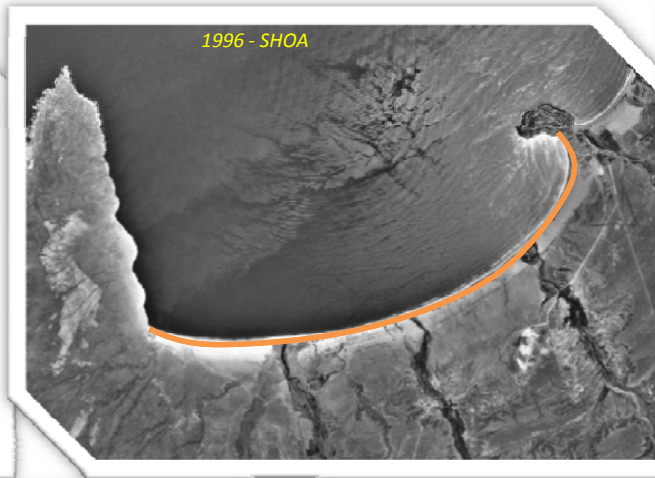
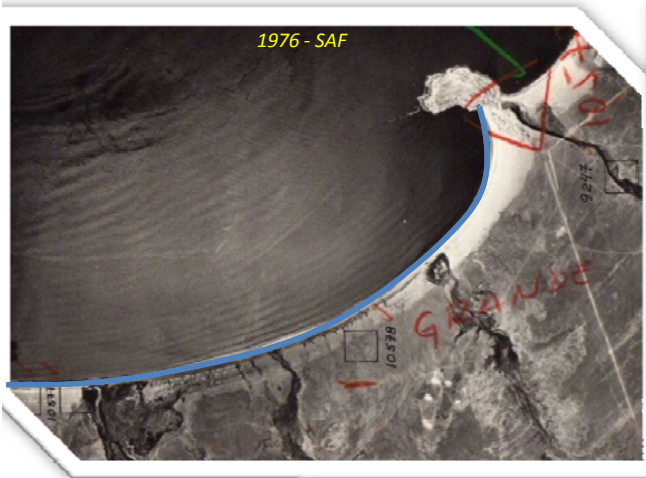
Espacio-Temporal. Playa Guanaqueros



Para todos los sectores se observó un aumento de la línea litoral. Se destaca un aumento promedio mayor en sector central del litoral. Los extremos norte y sur no presentaron variaciones significativas, excepto para 2010.

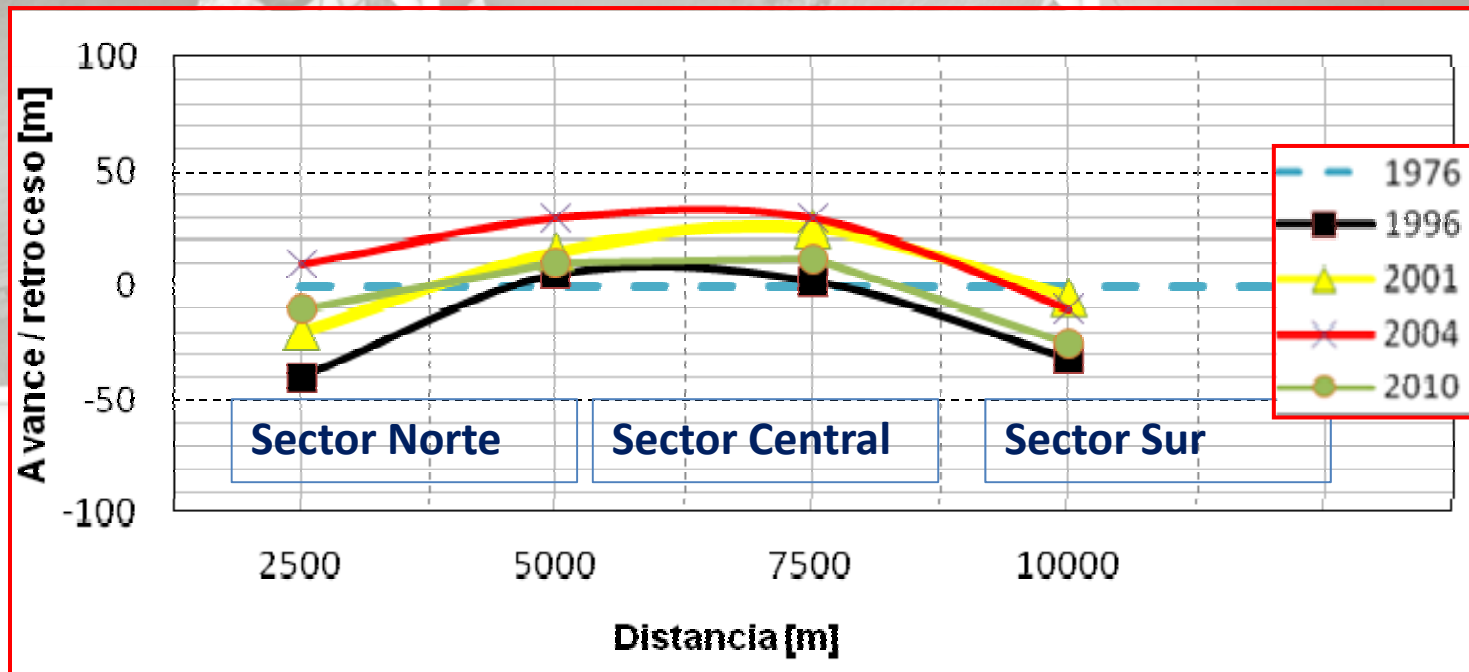
Set fotográfico de playas seleccionadas

Playa Tongoy



Set fotográfico de playas seleccionadas

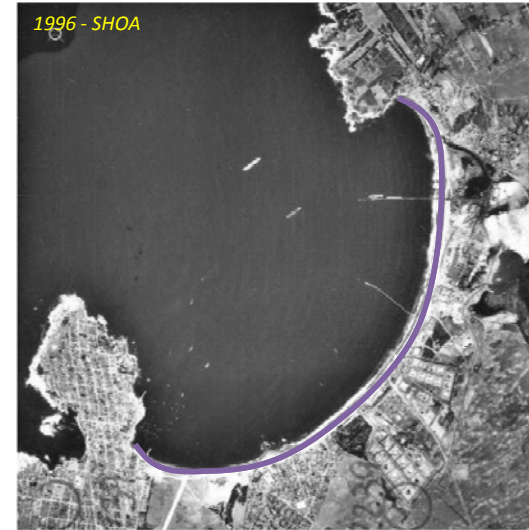
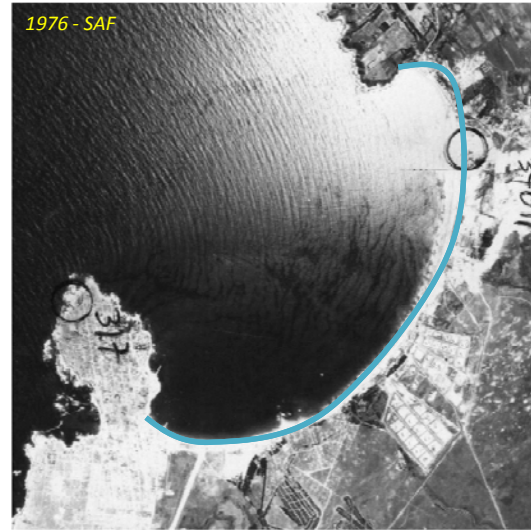
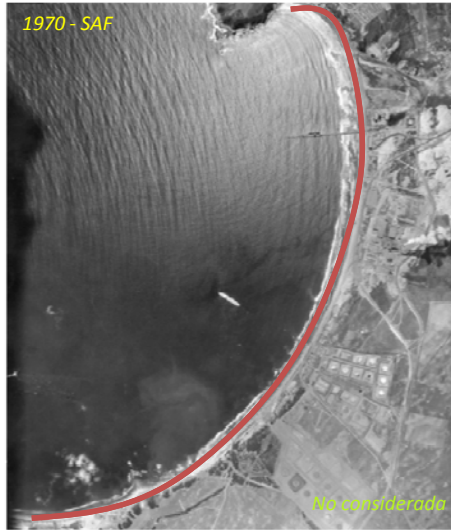
Espacio-Temporal. Playa Tongoy



La línea litoral se mantuvo constante en el tiempo.
Se destaca un retroceso leve en los extremos de la playa.

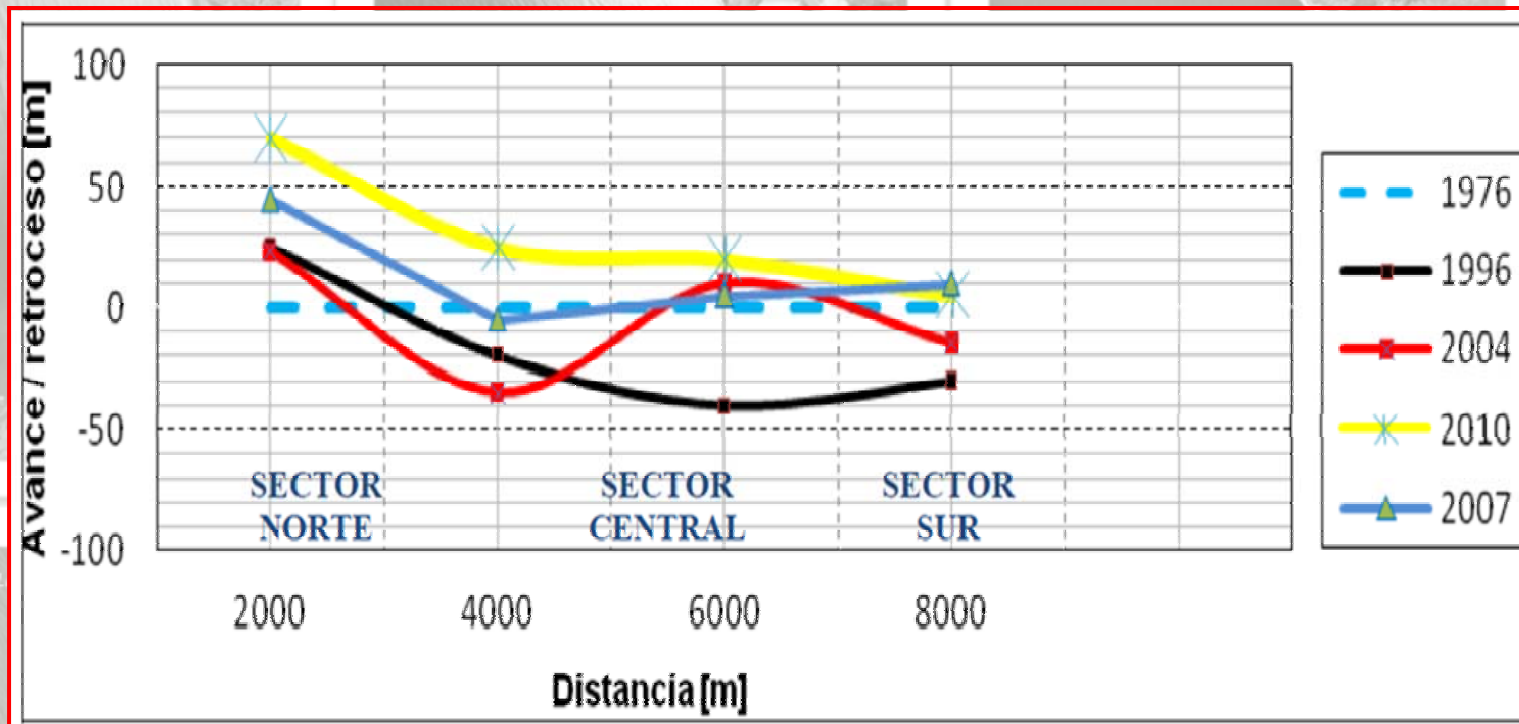
Set fotográfico de playas seleccionadas

Bahía Quintero



Set fotográfico de playas seleccionadas

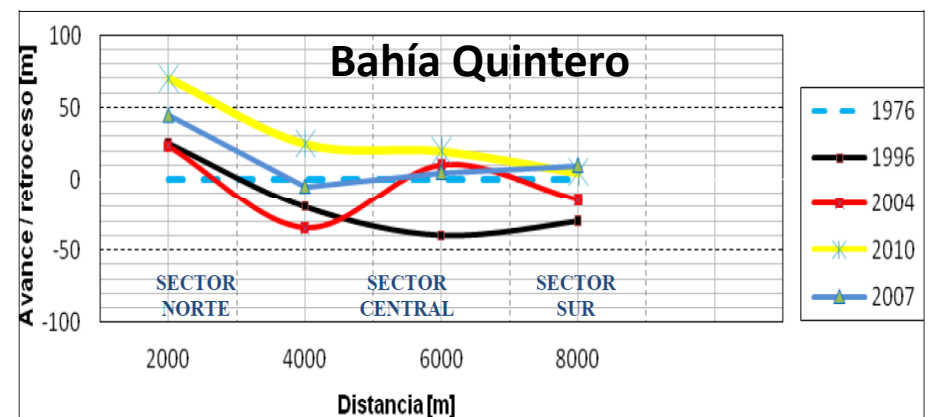
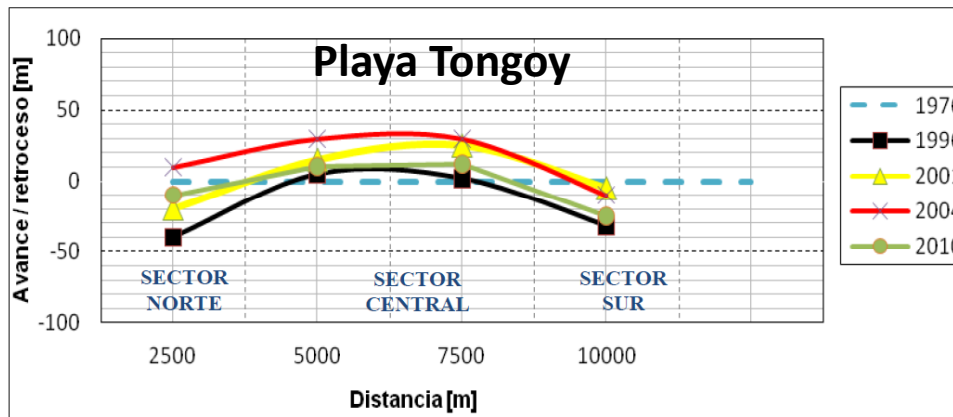
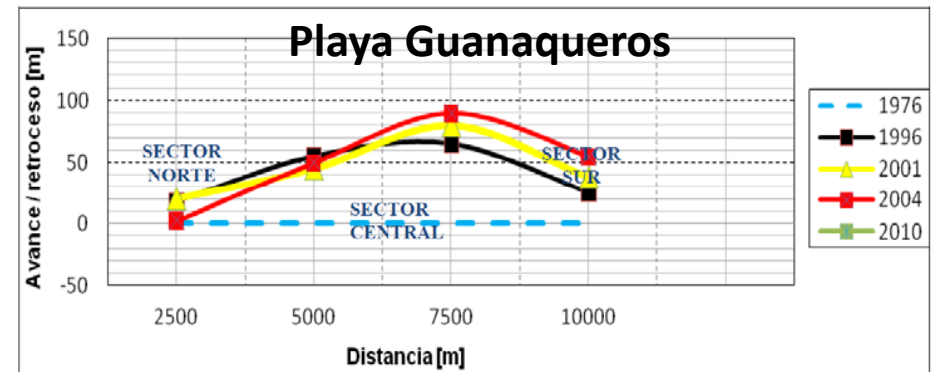
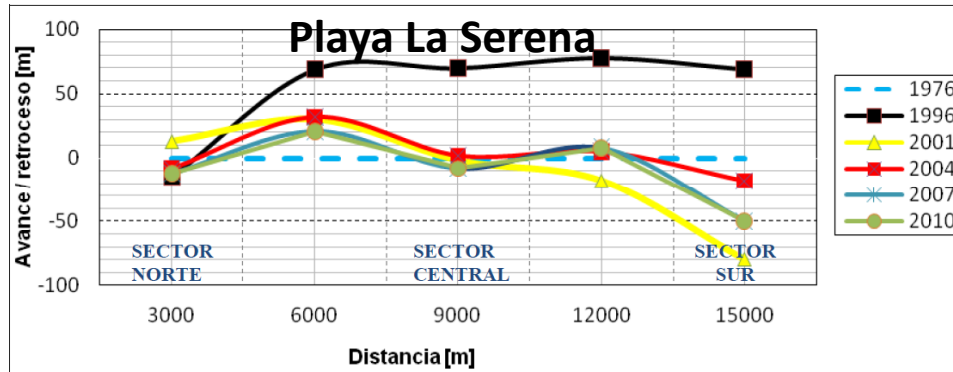
Espacio-Temporal. Bahía Quintero



Se destaca un aumento en sector norte.

En sectores central y sur la línea se mantuvo constante, excepto para 1996.

Análisis temporal a playas seleccionadas



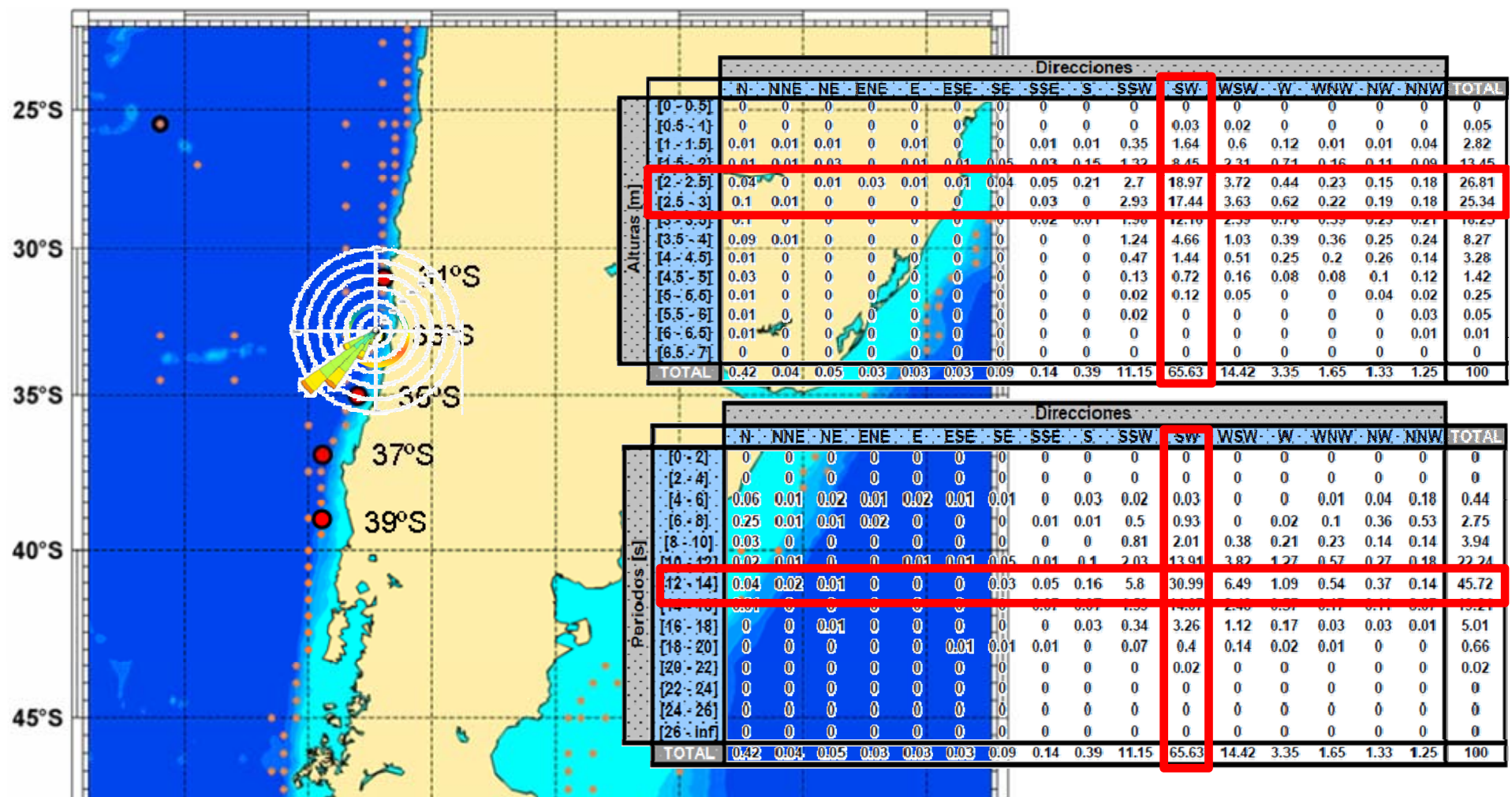
“Se verifica estado de equilibrio para playas estudiadas”.

3 Oleaje operacional en playas de estudio

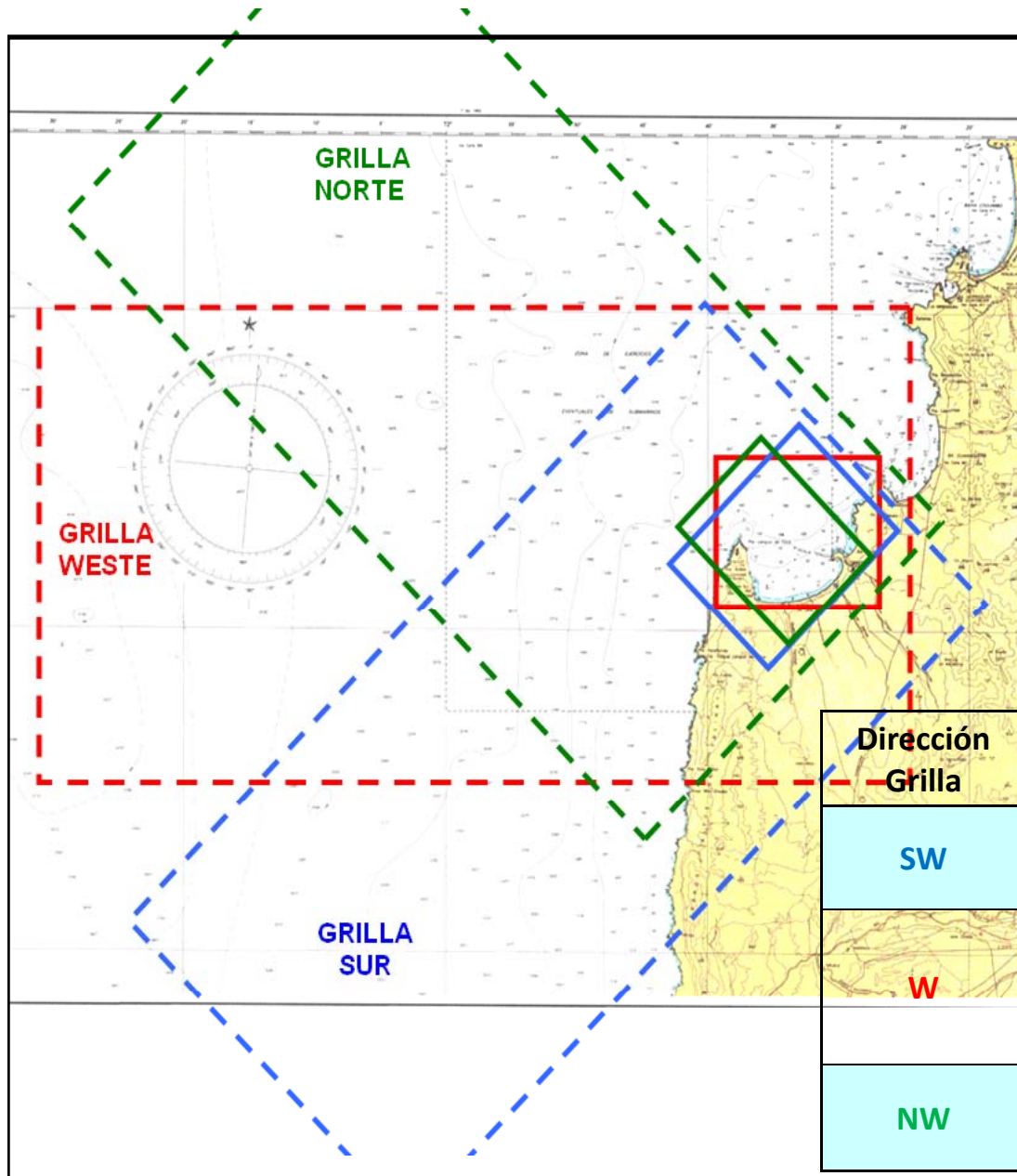
- Oleaje en aguas profundas.
- Propagación espectral hacia playas de estudio.
- Caracterización del oleaje en playas de estudio.

Oleaje en aguas profundas.

Olas Chile III, nodo Valparaíso.



Transferencia espectral hacia playas de estudio.



Se propagó oleaje a 10 [m] de profundidad.

HERRAMIENTAS:

- Cartas batimétricas del SHOA.
- Características del oleaje en aguas Prof.
- Modelo espectral Steady State Spectral Wave Model *STWAVE*.
- Efectos de *refracción, asomeramiento, difracción, refracción*.

Dirección —Grilla	Dirección de incidencia en aguas profundas	Periodo [s]
SW	202.5	6 -24 @ 2
	225.0	6 -24 @ 2
W	247.5	6 -24 @ 2
	270.0	6 -24 @ 2
	292.5	6 -24 @ 2
NW	315.0	6 -24 @ 2
	337.5	6 -24 @ 2

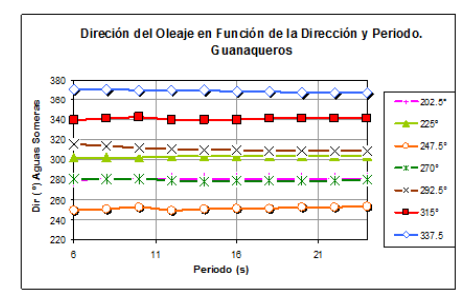
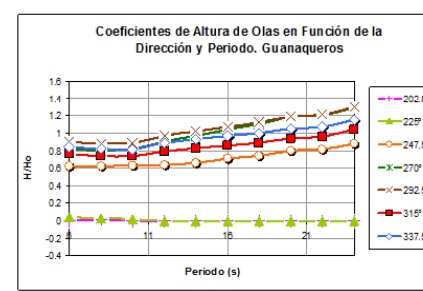
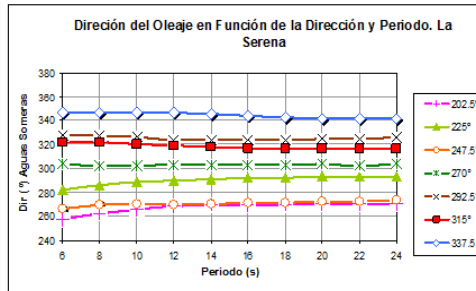
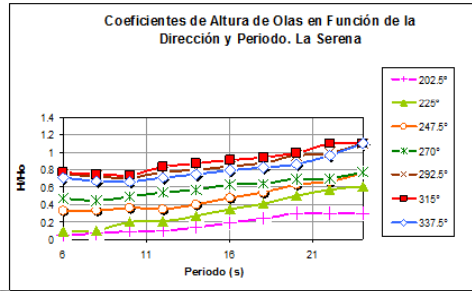
Propagación espectral hacia playas de estudio.

Periodo (s)		Coeficientes de Transformación del Oleaje La Serena						
		Dirección en aguas profundas						
		SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
		202.5	225	247.5	270	292.5	315	337.5
6	0.05	0.09	0.33	0.47	0.75	0.77	0.71	
8	0.07	0.1	0.33	0.45	0.72	0.75	0.67	
10	0.09	0.2	0.36	0.49	0.71	0.74	0.66	
12	0.1	0.21	0.35	0.54	0.77	0.83	0.71	
14	0.14	0.27	0.4	0.57	0.8	0.87	0.75	
16	0.19	0.35	0.48	0.63	0.84	0.91	0.79	
18	0.24	0.41	0.54	0.64	0.88	0.94	0.82	
20	0.3	0.5	0.63	0.69	0.96	0.99	0.86	
22	0.3	0.57	0.66	0.7	0.99	1.1	0.96	
24	0.3	0.61	0.76	0.77	1.1	1.1	1.1	

Periodo (s)		Dirección del Oleaje en el sitio						
		Dirección en aguas profundas						
		SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
		202.5	225	247.5	270	292.5	315	337.5
6	257.5	282	266.5	304	327.5	322	346.5	
8	262.5	286	269.5	302	327.5	322	346.5	
10	265.5	289	270.5	302	326.5	320	346.5	
12	268.5	290	269.5	303	323.5	319	346.5	
14	269.5	291	270.5	303	323.5	318	345.5	
16	269.5	292	271.5	303	323.5	317	343.5	
18	269.5	292	271.5	303	323.5	317	342.5	
20	270.5	293	272.5	304	324.5	316	341.5	
22	270.5	293	272.5	302	324.5	316	341.5	
24	270.5	293	273.5	304	325.5	316	341.5	

Periodo (s)		Coeficientes de Transformación del Oleaje. Guanaqueros						
		Dirección en aguas profundas						
		SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
		202.5	225	247.5	270	292.5	315	337.5
6	0	0.04	0.62	0.81	0.9	0.76	0.84	
8	0.01	0.03	0.62	0.8	0.88	0.74	0.82	
10	0	0.02	0.63	0.82	0.89	0.74	0.81	
12	0	0	0.64	0.9	0.97	0.79	0.89	
14	0	0	0.66	0.97	1.02	0.83	0.93	
16	0	0	0.71	1.04	1.07	0.86	0.97	
18	0	0	0.74	1.1	1.12	0.89	1	
20	0	0	0.8	1.19	1.19	0.94	1.05	
22	0	0	0.81	1.2	1.21	0.96	1.07	
24	0	0	0.88	1.29	1.3	1.04	1.15	

Periodo (s)		Dirección del Oleaje en el sitio. Guanaqueros						
		Dirección en aguas profundas						
		SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
		202.5	225	247.5	270	292.5	315	337.5
6	279.5	302	249.5	281	315.5	339	10.5	
8	280.5	302	250.5	281	313.5	341	10.5	
10	280.5	302	252.5	281	311.5	342	9.5	
12	280.5	303	249.5	279	310.5	340	9.5	
14	280.5	303	250.5	278	309.5	340	9.5	
16	280.5	303	251.5	279	309.5	340	8.5	
18	280.5	303	251.5	279	308.5	341	8.5	
20	280.5	303	252.5	279	308.5	341	7.5	
22	280.5	303	252.5	279	308.5	341	7.5	
24	280.5	304	253.5	280	308.5	341	7.5	

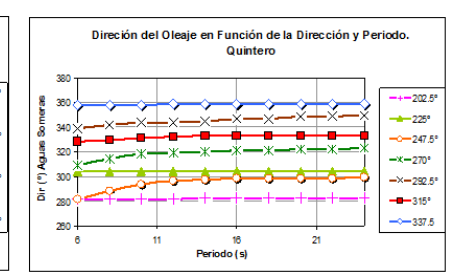
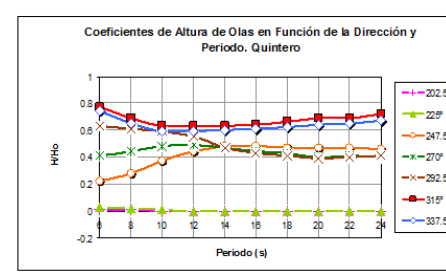
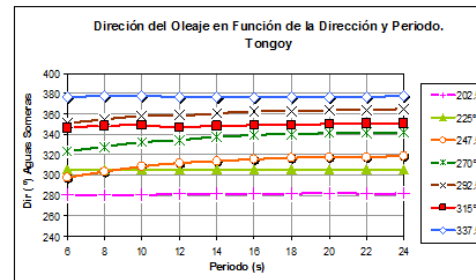
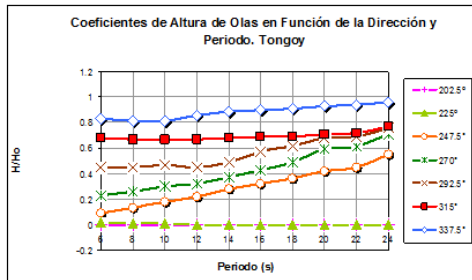


Periodo (s)		Coeficientes de Transformación del Oleaje. Tongoy						
		Dirección en aguas profundas						
		SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
		202.5	225	247.5	270	292.5	315	337.5
6	0	0.02	0.09	0.23	0.45	0.68	0.83	
8	0	0.01	0.13	0.26	0.45	0.67	0.81	
10	0	0.01	0.18	0.3	0.47	0.67	0.81	
12	0	0	0.22	0.32	0.45	0.67	0.86	
14	0	0	0.28	0.37	0.49	0.68	0.89	
16	0	0	0.32	0.43	0.57	0.69	0.9	
18	0	0	0.36	0.49	0.62	0.69	0.91	
20	0	0	0.42	0.59	0.68	0.71	0.93	
22	0	0	0.45	0.61	0.69	0.72	0.94	
24	0	0	0.55	0.71	0.76	0.77	0.96	

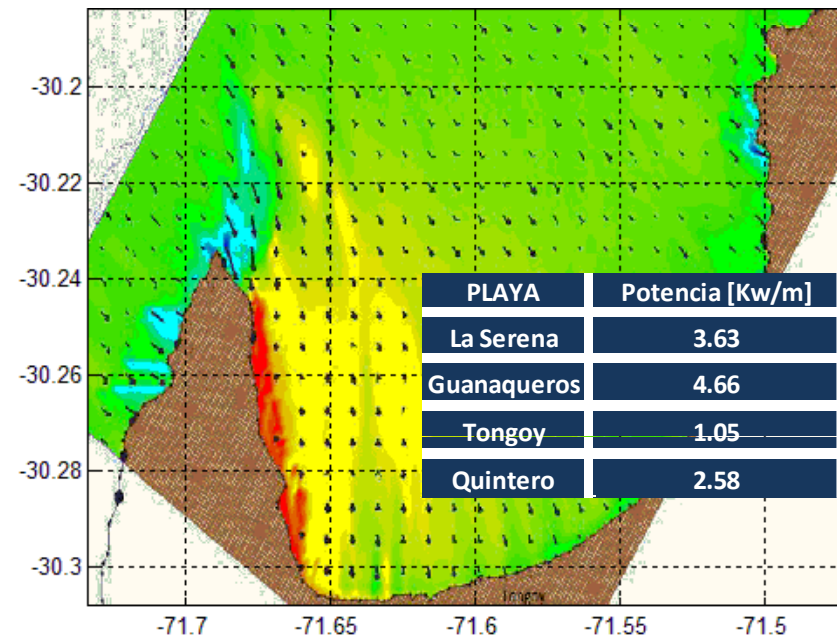
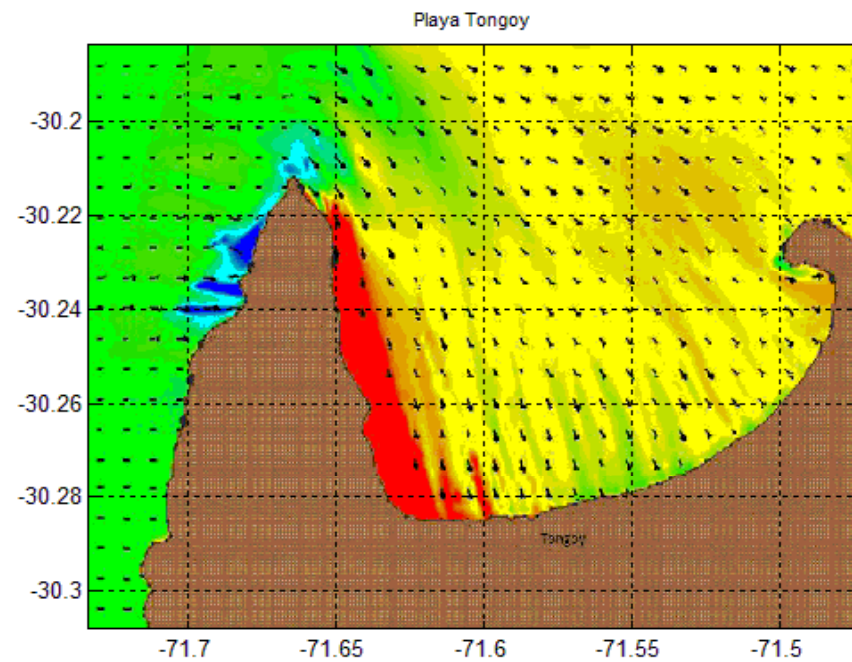
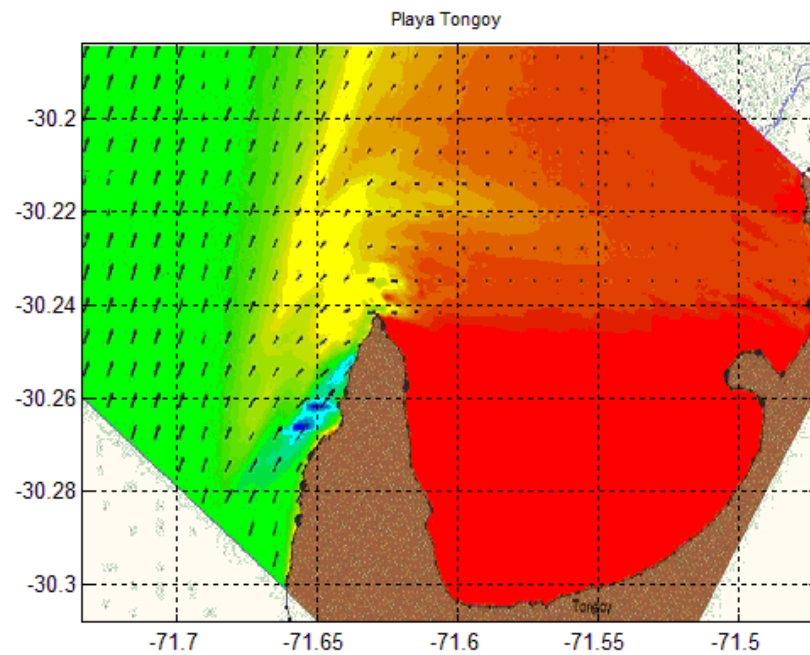
Periodo (s)		Dirección del Oleaje en el sitio. Tongoy						
		Dirección en aguas profundas						
		SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
		202.5	225	247.5	270	292.5	315	337.5
6	280.5	305	297.5	323	350.5	346	376.5	
8	280.5	305	303.5	328	354.5	348	377.5	
10	280.5	305	308.5	332	357.5	349	377.5	
12	281.5	305	311.5	334	358.5	347	376.5	
14	281.5	305	313.5	337	360.5	348	376.5	
16	281.5	305	315.5	339	362.5	349	376.5	
18	281.5	305	316.5	340	362.5	349	376.5	
20	282.5	305	317.5	341	363.5	350	376.5	
22	281.5	305	317.5	341	363.5	351	376.5	
24	282.5	305	318.5	342	364.5	351	377.5	

Periodo (s)		Coeficientes de Transformación del Oleaje. Quintero						
		Dirección en aguas profundas						
		SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
		202.5	225	247.5	270	292.5	315	337.5
6	0.01	0.03	0.22	0.41	0.63	0.77	0.74	
8	0.01	0.02	0.28	0.44	0.61	0.69	0.65	
10	0	0.01	0.37	0.48	0.59	0.63	0.59	
12	0	0	0.44	0.49	0.55	0.63	0.59	
14	0	0	0.48	0.47	0.47	0.63	0.6	
16	0	0	0.48	0.44	0.43	0.64	0.61	
18	0	0	0.47	0.43	0.41	0.66	0.62	
20	0	0	0.47	0.4	0.39	0.69	0.64	
22	0	0	0.47	0.41	0.4	0.69	0.65	
24	0	0	0.46	0.4	0.41	0.72	0.67	

Periodo (s)		Dirección del Oleaje en el sitio. Quintero						
		Dirección en aguas profundas						
		SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
		202.5	225	247.5	270	292.5	315	337.5
6	281.5	304	281.5	309	338.5	328	357.5	
8	281.5	304	288.5	314	341.5	329	357.5	
10	281.5	304	293.5	318	343.5	331	357.5	
12	281.5	304	296.5	319	343.5	332	358.5	
14	282.5	304	297.5	320	344.5	333	358.5	
16	282.5	304	298.5	321	346.5	333	358.5	
18	282.5	304	298.5	321	346.5	333	358.5	
20	282.5	304	298.5	322	348.5	333	358.5	
22	282.5	304	298.5	322	348.5	333	358.5	
24	282.5	304	299.5	323	349.5	333	358.5	



Caracterización del oleaje en playas de estudio.



PLAYA	Potencia [Kw/m]	Dirección		Altura [m]	Periodo [s]	Prof activa [m]	Prof de cierre [m]
La Serena	3.63	291°	WNW	0.4 @ 0.8	12 @ 16	3.41	6.93
Guaqueros	4.66	274°	W	0.4 @ 0.8	12 @ 16	4.37	8.9
Tongoy	1.05	326°	NNW	0.0 @ 0.4	12 @ 16	2.58	5.25
Quintero	2.58	301°	NW	0.2 @ 0.6	12 @ 16	4.19	8.53

4 Determinación de una ecuación de equilibrio

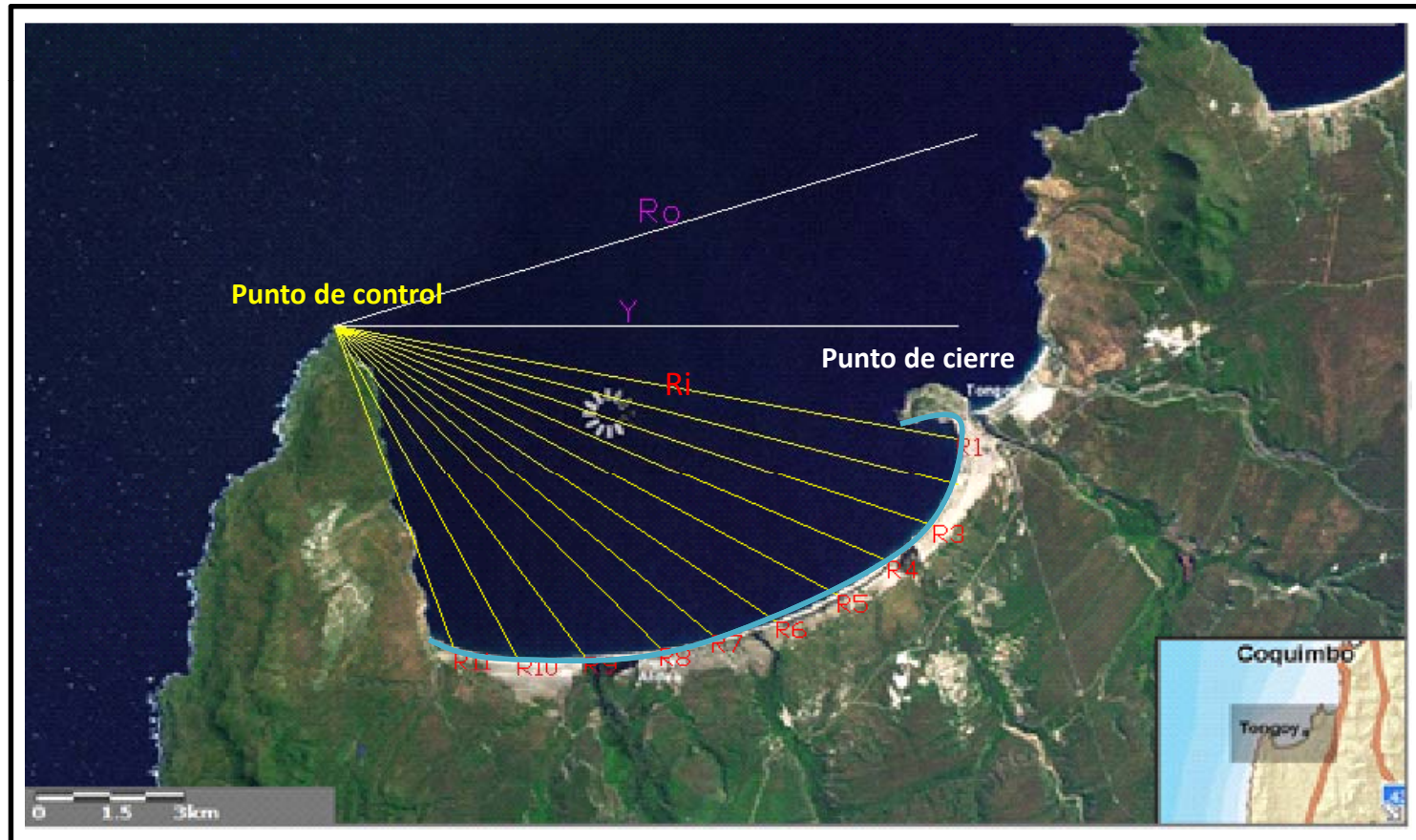


- Metodología.
- Resultados.

Metodología de ajuste en planta.

1. Definir orientación del Flujo de energía del oleaje.
2. Determinar los parámetros geométricos de cada playa.
3. Calcular la longitud de ola en **punto de control**.
4. Definir constantes C0, C1 y C2 a partir de Ecuación de Hsu.
5. Determinar el mejor ajuste para playas estudiadas.

$$\frac{R}{R_0} = C_0 + C_1 \left(\frac{\beta}{\theta} \right) + C_2 \left(\frac{\beta}{\theta} \right)^2$$

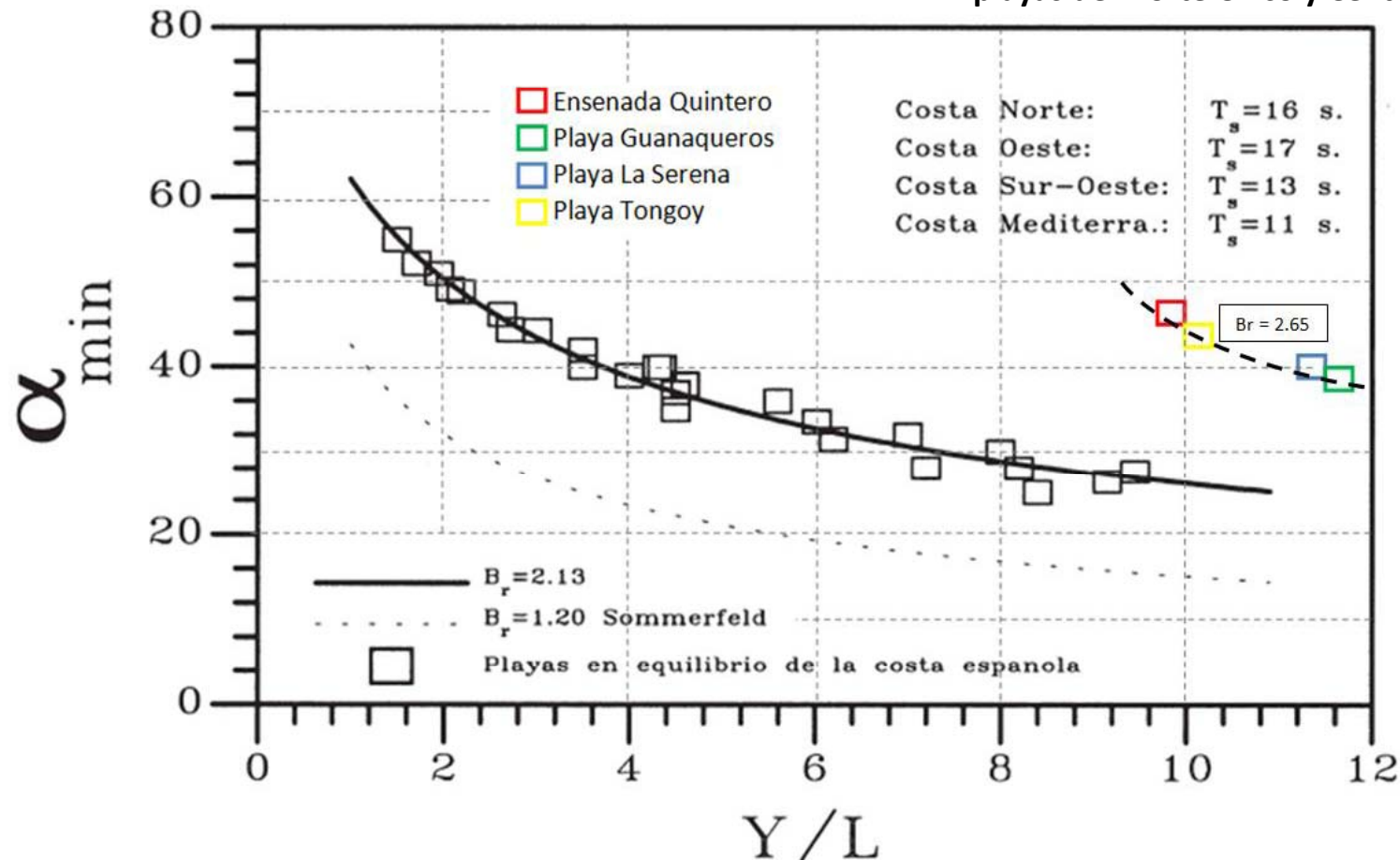


Resultados Ecuación de Equilibrio

Coef. de ajuste para playas del Norte Chico y Central de Chile

$$\frac{R}{R_0} = \underbrace{-1.24}_{C_0} + \underbrace{5.89}_{C_1} \left(\frac{\beta}{\theta} \right) - \underbrace{3.09}_{C_2} \left(\frac{\beta}{\theta} \right)^2$$

Parámetros geométricos e hidrodinámicos de playas del Norte Chico y Central de Chile

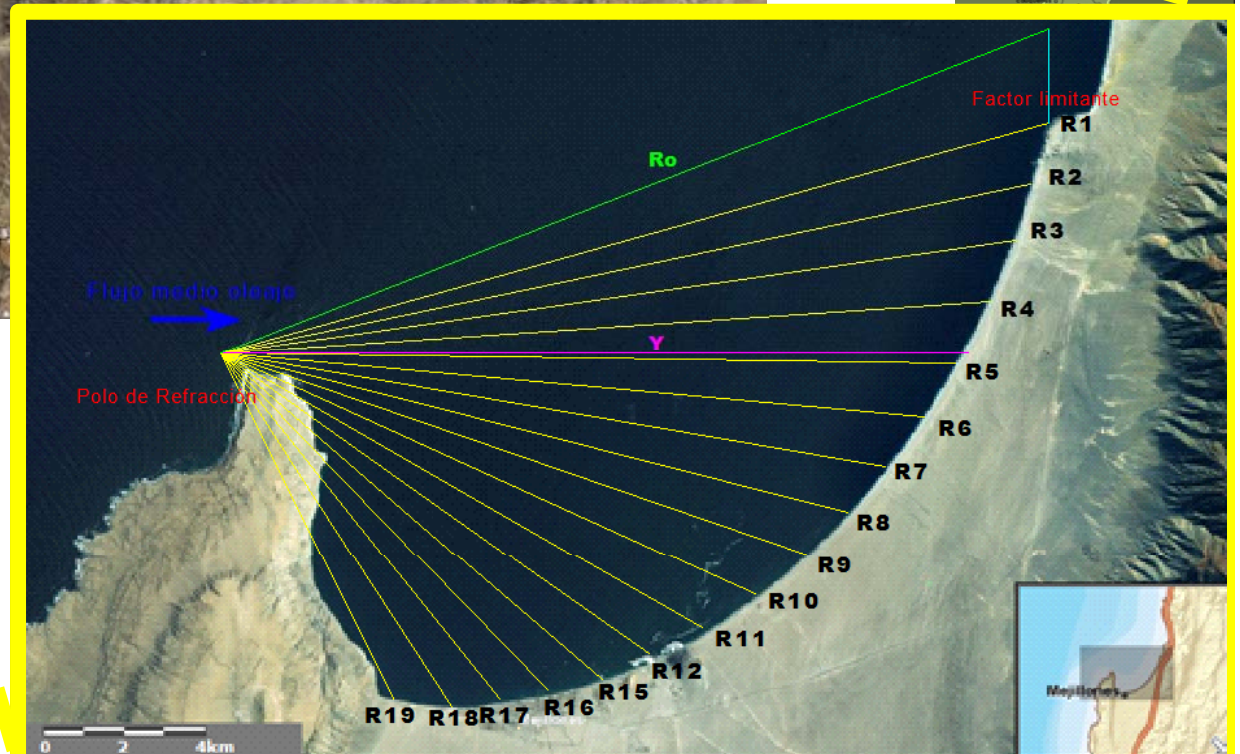


5 Análisis a la ecuación de equilibrio propuesta

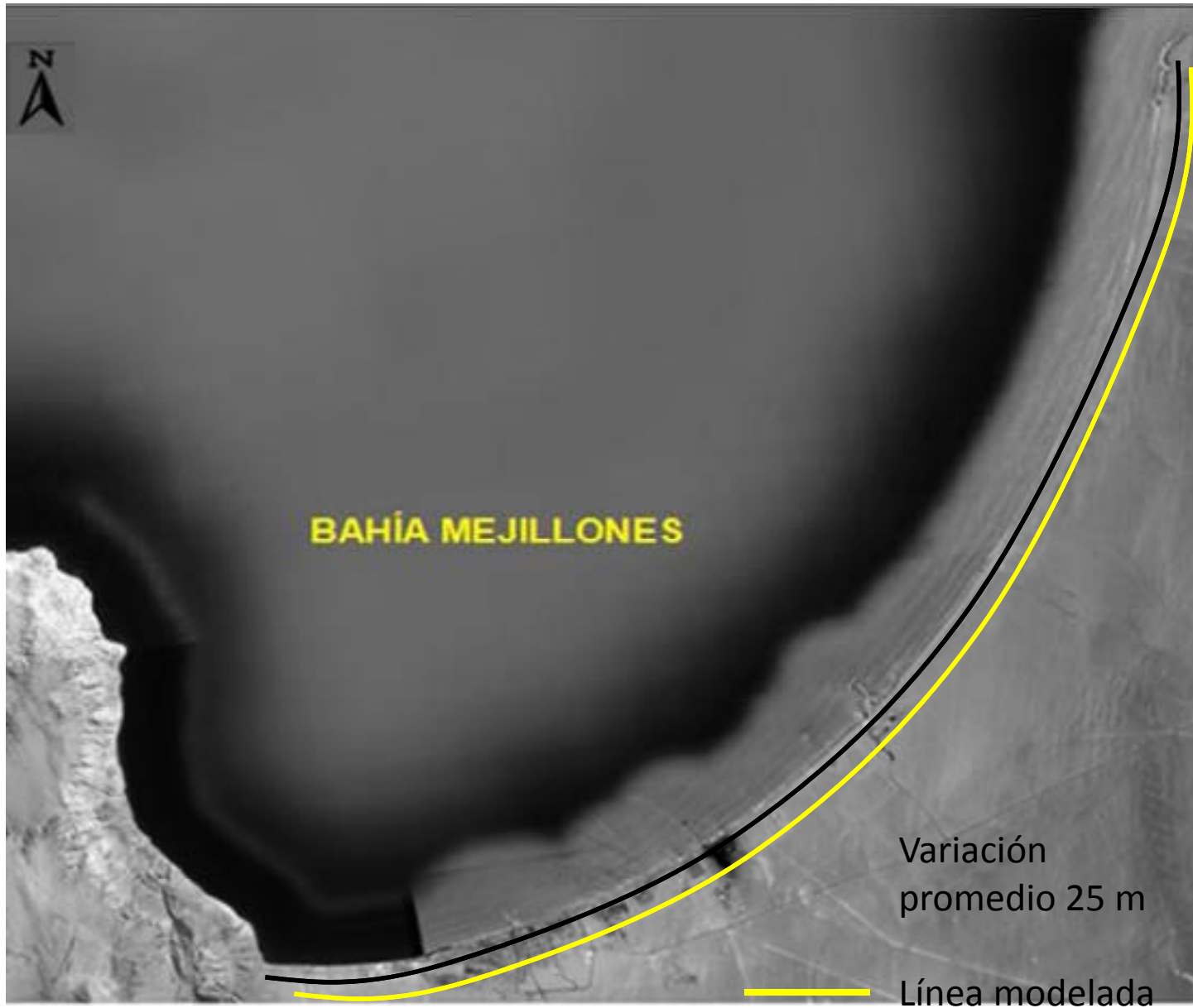


- Aplicación de la ecuación de equilibrio en sector norte.
- Aplicación de la ecuación de equilibrio en sector sur.
- Aplicación de la ecuación de equilibrio en playa artificial.

Ecuación de equilibrio en Zona Norte.

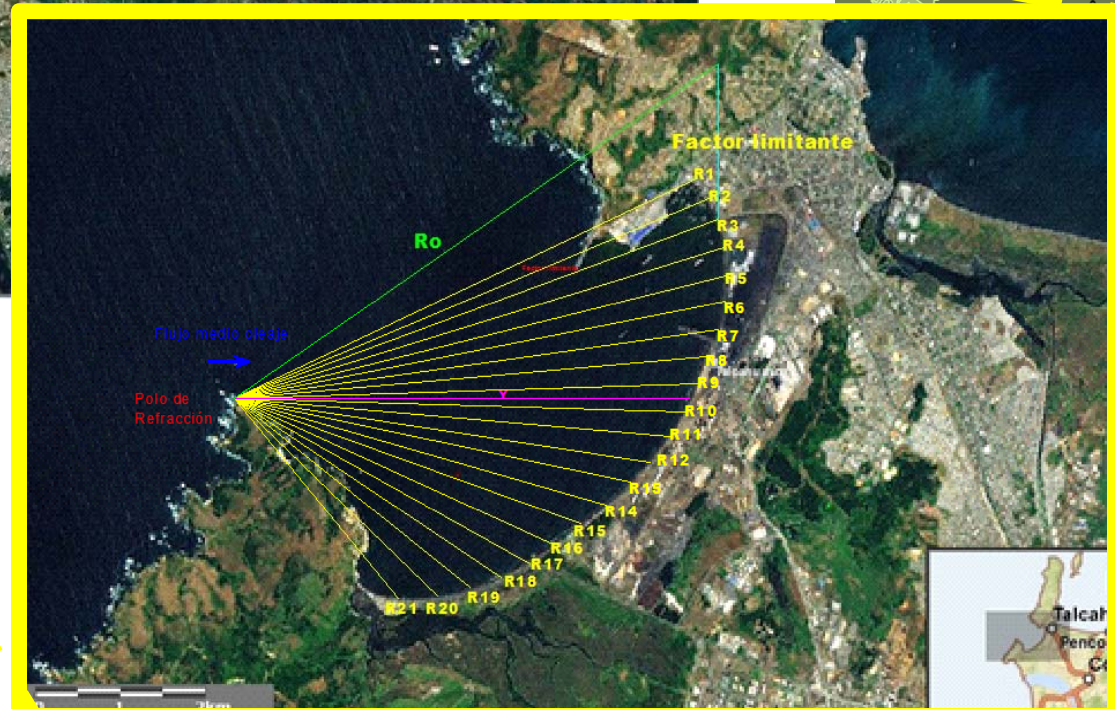
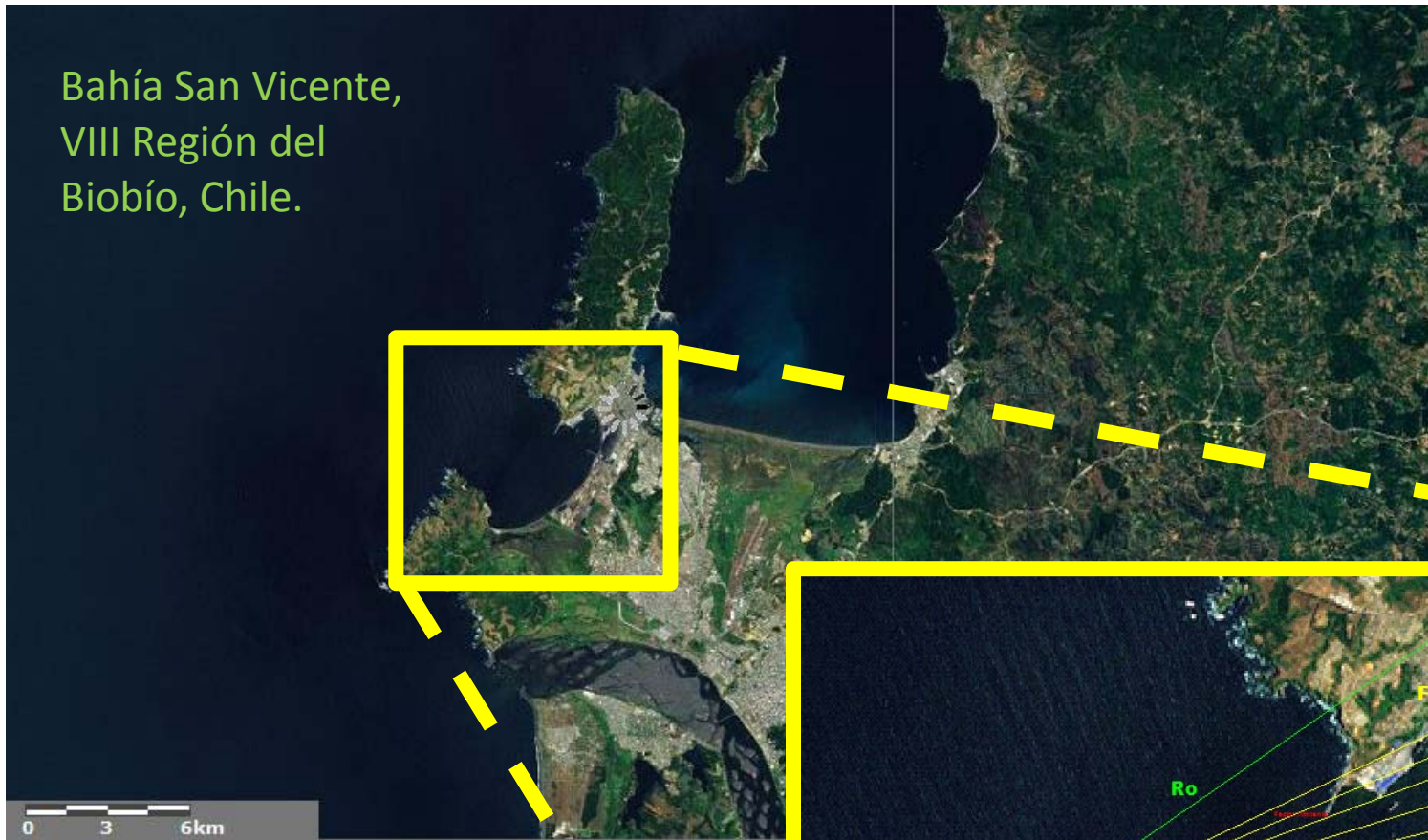


Ecuación de equilibrio en zona norte.



Ecuación de equilibrio en Zona Sur.

Bahía San Vicente,
VIII Región del
Biobío, Chile.

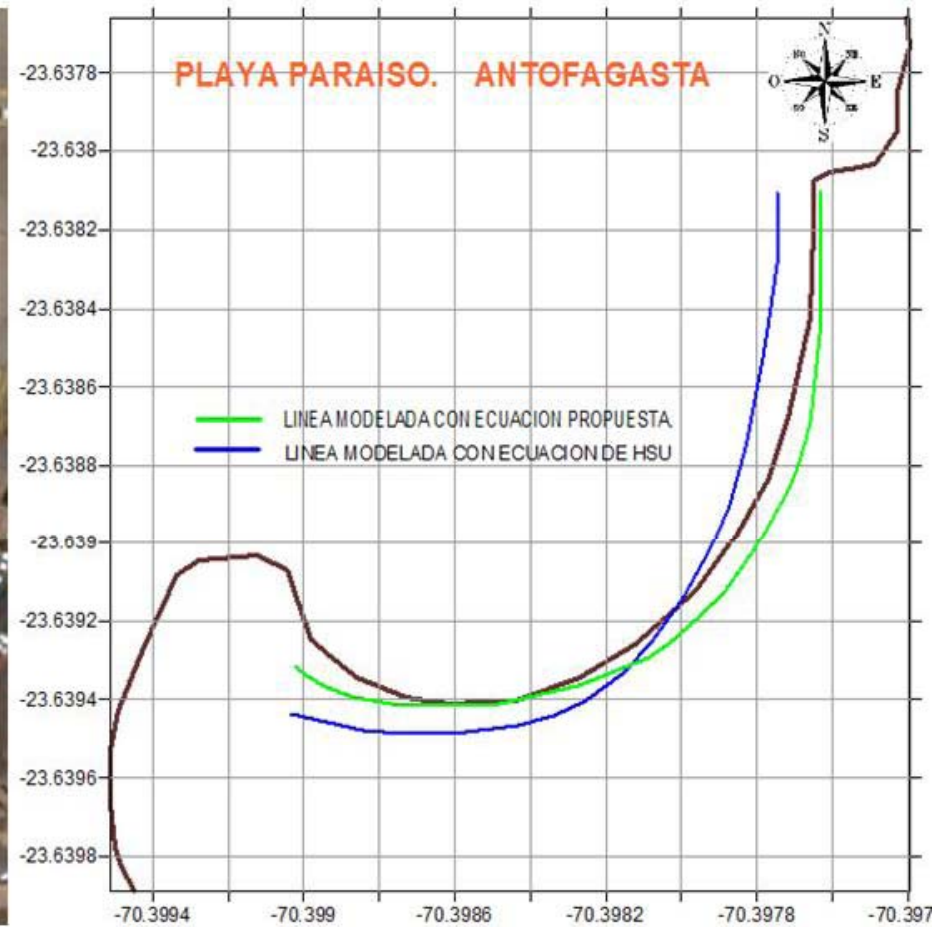
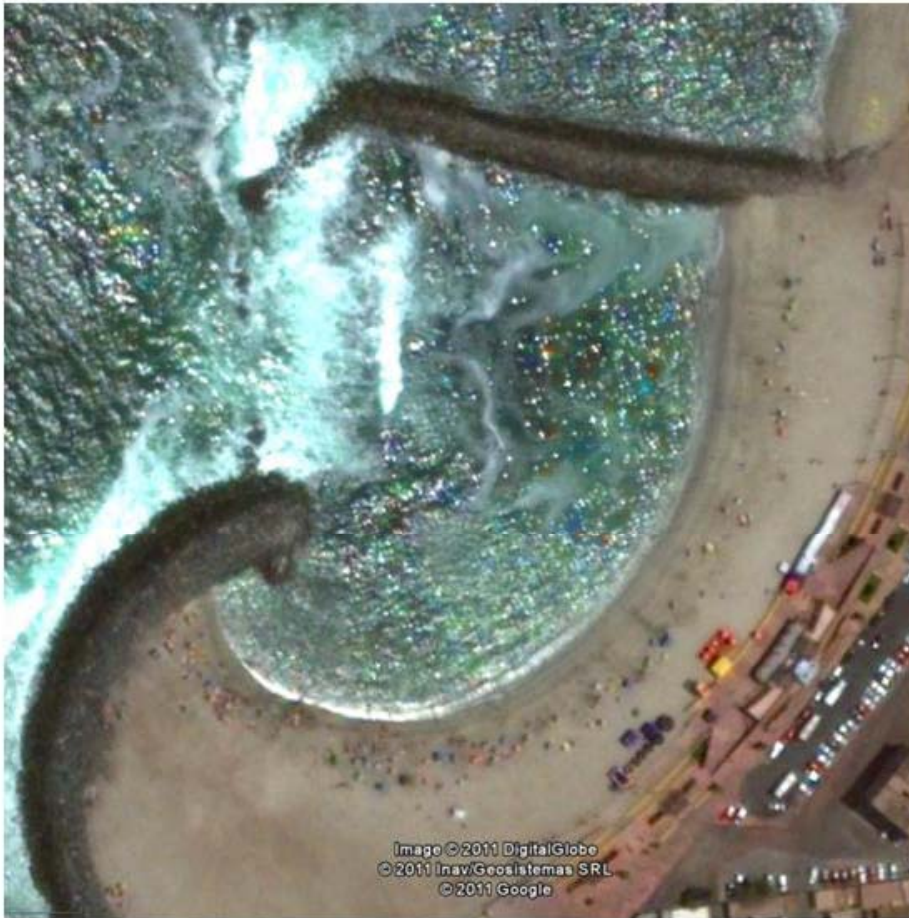


Ecuación de equilibrio en zona sur.



Ecuación de equilibrio en playa artificial.

Ubicación: Lat.: 23°38'19" S; Lon.: 70°23'53" W, II Región Chile.



6 Conclusiones y recomendaciones

- La morfología de las costas de las zonas del Norte Chico y Central de Chile, tienen condiciones únicas que se distinguen de otras áreas geográficas del país.
- Las condiciones hidrodinámicas (oleaje y corriente) y ambientales de las costas de las zonas del Norte Chico y Central de Chile, son particulares. Éstas son las responsables del funcionamiento morfodinámico del sector costero.
- En las zonas del Norte Chico y Central existen playas y bahías que poseen una forma particular que determina un grado de equilibrio morfo-dinámico al largo plazo.
- **Las playas La Serena, Guanaqueros y Tongoy en el norte chico, además de la bahía Quintero en la zona central, presentaron un equilibrio al largo plazo.**
- Las líneas de costa de La Serena, Guanaqueros, Tongoy y Quintero no variaron de forma significativa en 30 años de estudio.
- **Se comprobó que las playas estudiadas están en equilibrio al largo plazo.**
- El estudio de oleaje en las playas seleccionadas indicó que la dirección principal del flujo de energía está en el rango 274° - 326° . La altura de ola significativa no superó 0.5 [m], es decir baja energía filtrada en la zona de protección en el sector sur de c/balneario.
- El transporte de sedimento se presenta entre 1.5 y 6 [m] de profundidad para playas La Serena y Tongoy. Para Guanaqueros y Quintero, se de mientras que éste ocurre entre los 2.5 y 9 [m] de profundidad en playa Guanaqueros y en la bahía Quintero.
- **Se determinó una metodología válida para evaluar una ecuación de equilibrio de las zonas de Norte Chico y Central de Chile.**

6 Conclusiones y recomendaciones



- Se obtuvieron buenos resultados al aplicar la ecuación propuesta en otras zonas geográficas y en playa artificial. En algunos casos los resultados son mejores a la ecuación clásica.
 - La ecuación de equilibrio propuesta constituye una **formulación alternativa** y como herramienta de apoyo a las ecuaciones clásicas ya que puede **mejorar los resultados** en los estudios de las formas en planta de playas de equilibrio y en el diseño artificial de éstas.

6 Conclusiones y recomendaciones

RECOMENDACIONES:

- Realizar una zonificación por distintos sectores de Chile para determinar nuevas ecuaciones de equilibrio.
- Clasificar los tipos de playas en Chile para su uso en el cálculo y determinación de los coeficientes de ajuste en futuros trabajos.
- Establecer un criterio cuantitativo para playas en equilibrio en general, y aplicarlo a Chile.
- Implementar otro modelo hidrodinámico de propagación de oleaje que considere fenómenos no estudiados en esta investigación.
- Se recomienda utilizar esta metodología o una similar para realizar el cálculo del diseño artificial de playas en futuros trabajos.
- Se recomienda estudiar los procesos sedimentológicos que no están en el alcance de esta memoria de título ya que éstos intervienen en la forma que alcanza una playa.



FACULTAD DE INGENIERÍA

**“Análisis y modificación de las ecuaciones de equilibrio en planta
aplicada a cuatro playas de las zonas del Norte Chico y Central de Chile”**

Patricio Enrique Opazo Arriagada

Junio 2012

ANEXOS

