

# ESTUDIO MORFODINÁMICO DEL LITORAL EN LA DESEMBOCADURA DEL RÍO SAN JOSÉ, ARICA, XV REGIÓN. CHILE.

Memoria para Optar al Título de Ingeniero Civil Oceánico.

TIARE PAZ ESPINOZA VARAS.  
Valparaíso, Agosto 2011.

## INTRODUCCION.

---

- Comportamiento Río San José, Arica.
- Cambios en la Morfología Costera.
- Análisis Transporte de Sedimentos.
  - Proyecto de mitigación.

## OBJETIVOS.

---

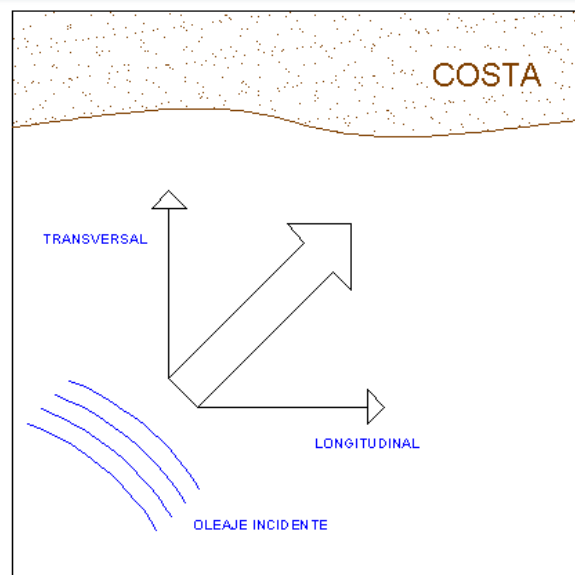
- Antecedentes Teóricos y Estado del Arte para el Transporte de Sedimentos.
- Estudio teórico y práctico de los software GENESIS y STWAVE.
- Caracterización Dinámica Sedimentológica del Sector.
- Implementación de un Modelo Numérico para el Transporte de Sedimentos a Largo Plazo.
- Comparación de Resultados del Transporte de Sedimentos en situaciones sin y con proyecto.

## CONTENIDOS DE LA PRESENTACIÓN

- Conceptos Teóricos.
- Caracterización Zona de Estudio.
- Modelo Computacional Transporte de Sedimentos.
  - Modelo Computacional Oleaje.
  - Simulación Transporte de Sedimentos.
    - Conclusiones.

## TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.

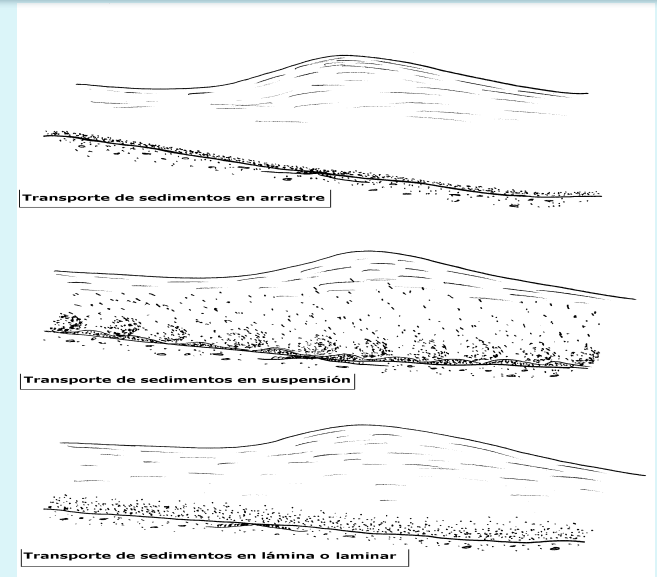
- Origen del Transporte de Sedimentos. Oleaje.
- Tipos de Transporte de Sedimentos.(Bruto / Neto).
- Mecanismos de Transporte (Arrastre / Suspensión).



Oleaje Oblicuo

$$Q_{bruto} = \frac{1}{T_0} * \int_0^{T_0} |Q[t]| dt$$

$$Q_{neto} = \frac{1}{T_0} * \int_0^{T_0} Q[t] dt$$



Mecanismos de Transporte

## MÉTODOS DE CÁLCULO DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.

- Campaña Toma de Datos. Trampas de Arena.
- Evidencias Morfológicas de la Costa.
- Cálculo Teórico Transporte Litoral.
- Evolución Línea de Costa.

$$P_b = (E * C_g)_b \cos \alpha_b$$

Flujo de Energía de Ola por Unidad de Longitud de Costa.

$$E_b = \frac{\rho * g * H_b^2}{8}$$

Energía Zona de Rompiente Ola.

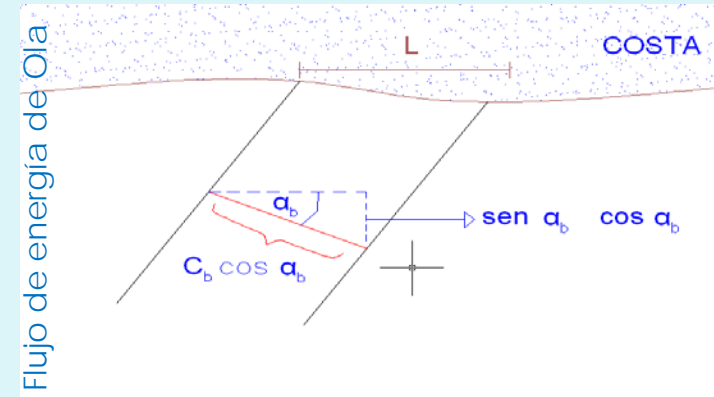
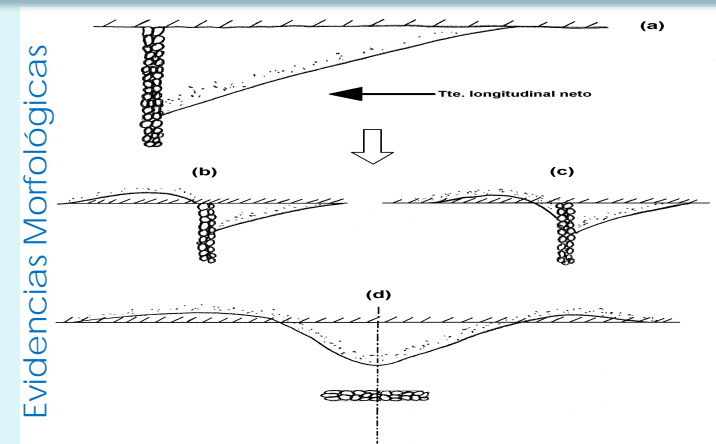
$$Cg_b = \sqrt{g * d_b} = \sqrt{g * \frac{H_b}{k}}$$

Celeridad de Grupo.

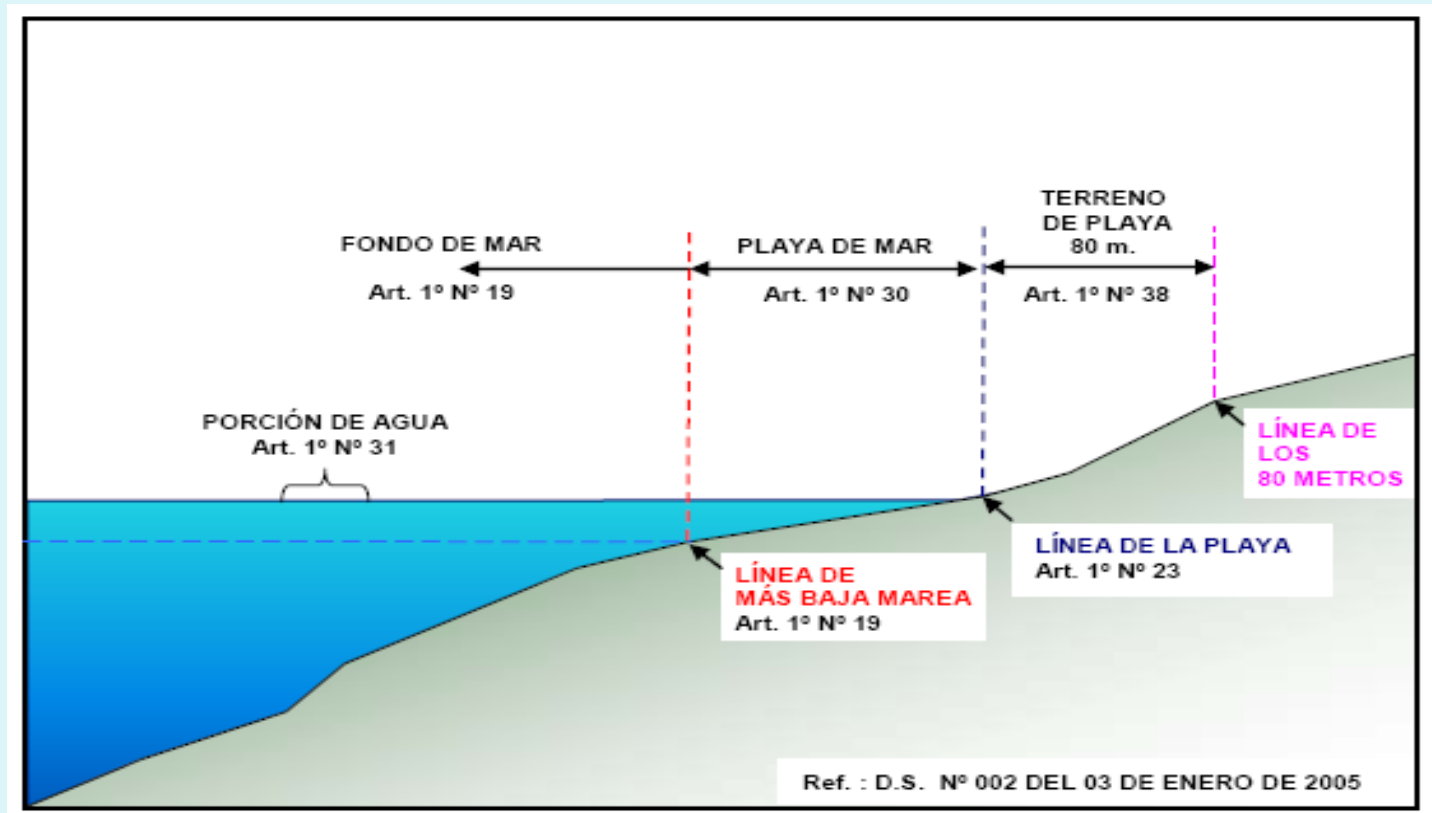
$$Q_l = \frac{I_l}{(\rho_s - \rho) * g * (1 - p)} \quad \Rightarrow \quad Q_l = \frac{I_l}{(\rho_s - \rho) * g * (1 - p)} * P_l$$

$$P_l = \frac{\rho * g}{8} * \sqrt{\frac{g}{k}} * H_b^{\frac{5}{2}} * \text{sen}(2\alpha_b)$$

$$Q_l = K * \frac{\rho * \sqrt{g}}{16 * \sqrt{k} * (\rho_s - \rho) * (1 - p)} * H_b^{\frac{5}{2}} * \text{sen}(2\alpha_b)$$

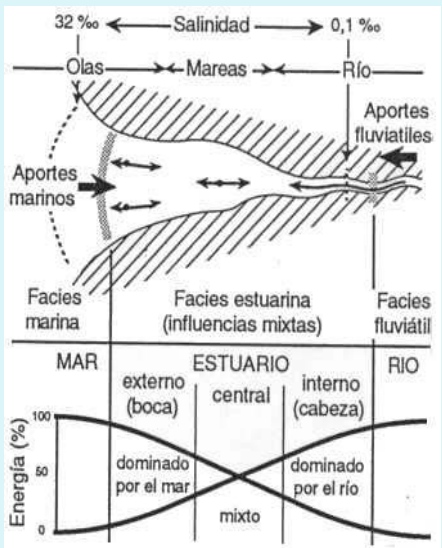


## Evolución Línea de Costa.

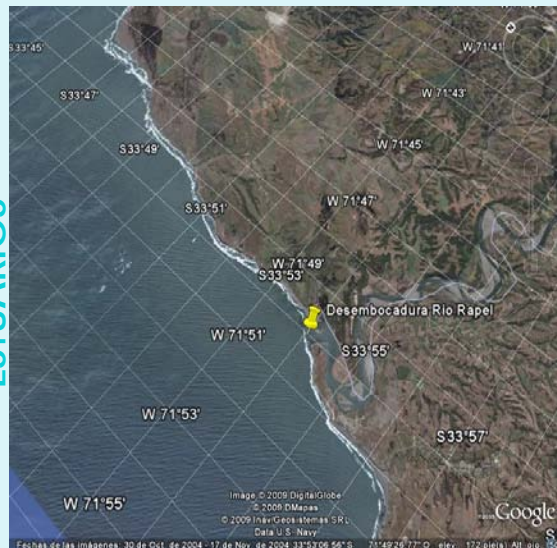


# Desembocadura del Río.

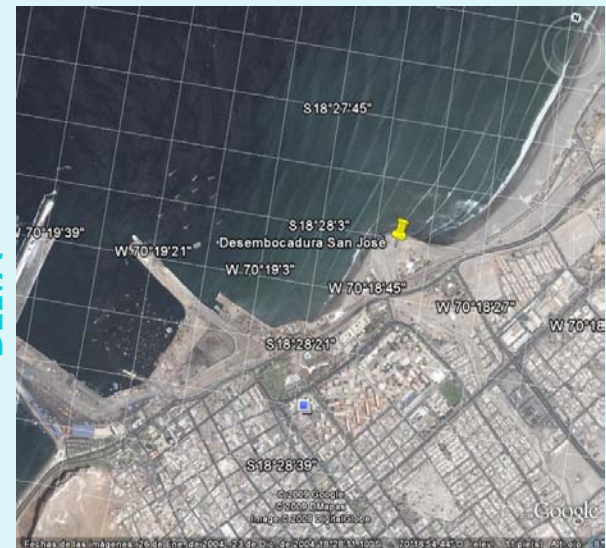
DESEMBOCADURA



ESTUARIOS



DELTA



### TEORÍA RESPECTO AL OLAJE.

Generación de Oleaje , Viento.

Ecuaciones de Gobierno

$$\eta(x,t) = \frac{H}{2} \cos(kx - \omega t)$$



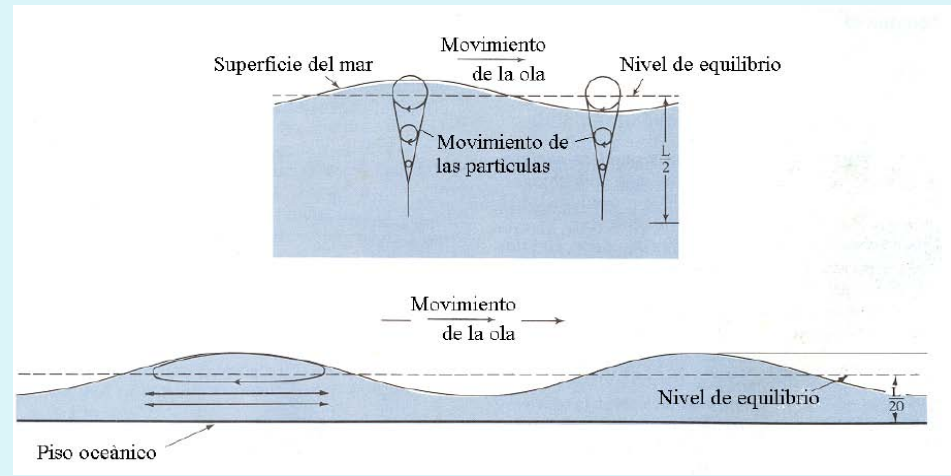
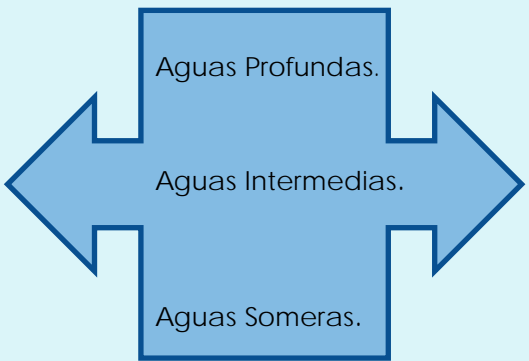
$$K = \frac{2\pi}{L}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

Oleaje Regular.

Oleaje Irregular.

Dominio del Oleaje.



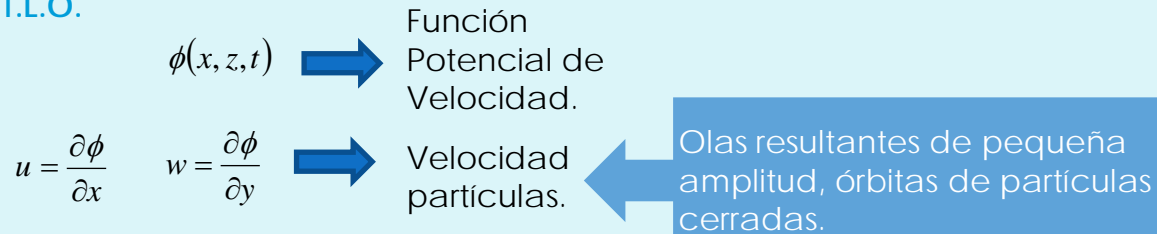


### TEORÍA LINEAL DEL OLEAJE O DE AIRY.

- Fluido homogéneo e incompresible igual densidad ( $\rho$ ) constante.
- Tensión superficial despreciable.
- Efecto de coriolis – rotación de la tierra- se puede despreciar.
- Presión de la superficie libre uniforme y constante.
- Fluido ideal y sin viscosidad.
- Flujo es irrotacional.
- Velocidad vertical tiende a cero.
- Amplitud de ola es pequeña y la forma de la ola no es variable con respecto al tiempo y al espacio.

## TEORÍA LINEAL DEL OLEAJE O DE AIRY.

### Deducción de T.L.O.



$\omega^2 = g * k * \tanh(Kh)$  Dispersión.  $\rightarrow$   $c = \frac{\omega}{k} = \frac{L}{T} = \sqrt{\frac{gL}{2\pi} * \tanh(kh)}$   $c = \frac{gT}{2\pi} * \tanh(kh)$

$u = \frac{\pi H}{T} * \frac{\cosh[k * (h + z)]}{\sinh(kh)} * \cos(kx - wt)$   $w = \frac{\pi H}{T} * \frac{\sinh[k * (h + z)]}{\sinh(kh)} * \sin(kx - wt)$   $\rightarrow$  Vector Velocidad.

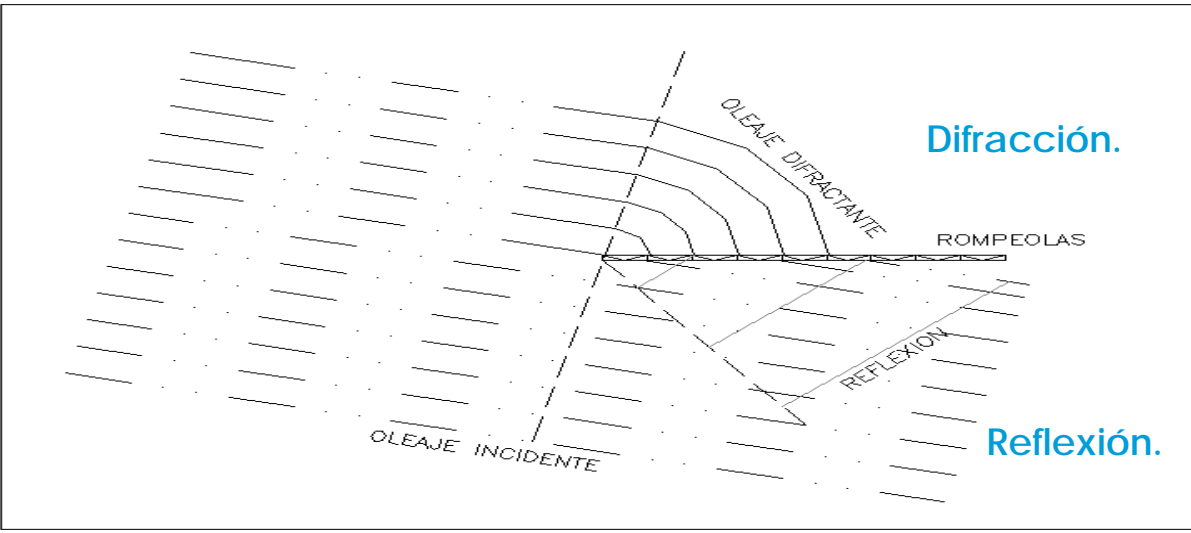
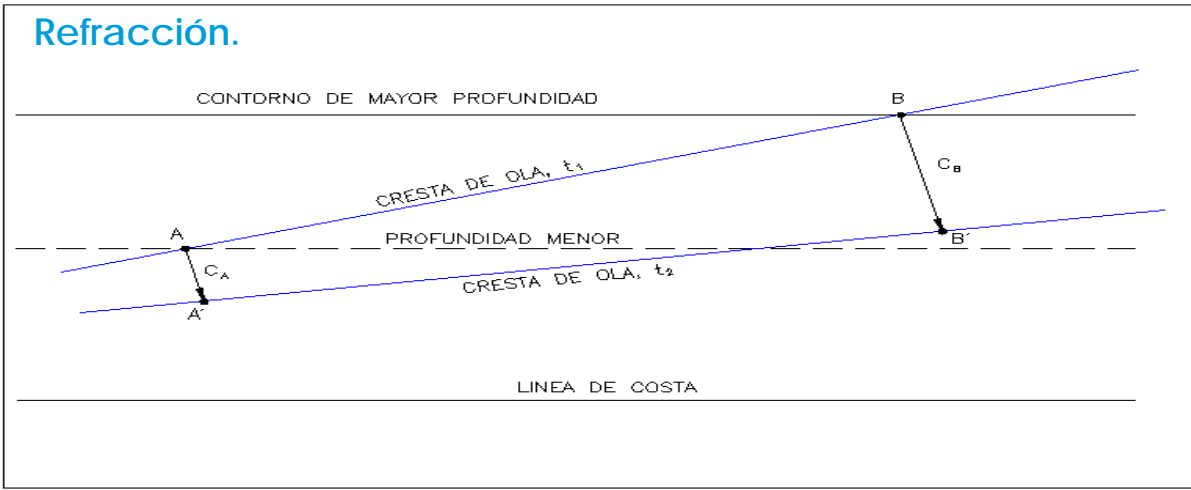
$A_x = \frac{H}{2} * \frac{\cosh k(h + z)}{\sinh(kh)}$   $A_z = \frac{H}{2} * \frac{\sinh k(h + z)}{\sinh(kh)}$   $\rightarrow$  Desplazamientos de Partículas.

$E = \frac{1}{8} * \rho * g * H^2$   $\rightarrow$  Densidad Energía Total.

$P = \left( \frac{1}{8} * \rho * g * H^2 \right) * c * \left[ \frac{1}{2} * \left( 1 + \frac{2kh}{\sinh(2kh)} \right) \right] = E_{cn} = E_{cg}$   $\rightarrow$  Flujo de Energía.

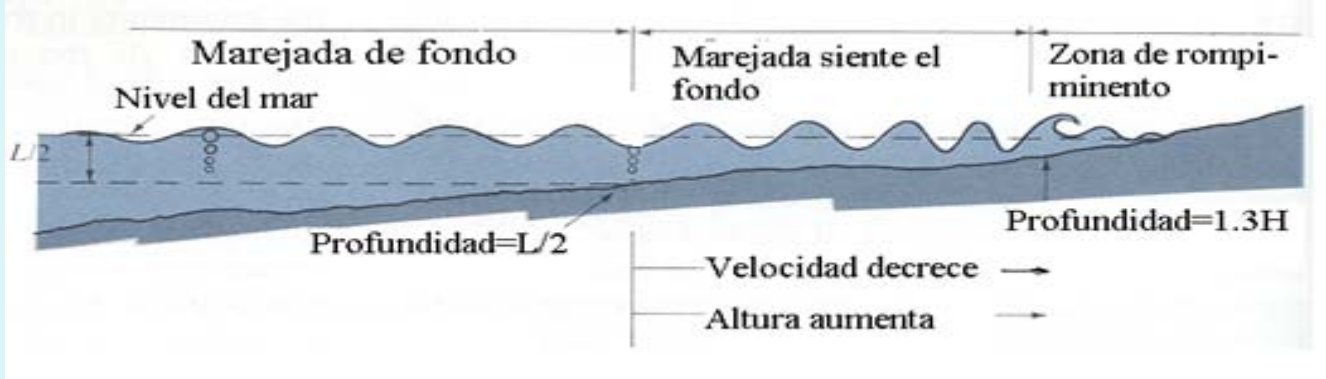
## FENÓMENOS DEL OLEAJE EN LA PROPAGACIÓN.

### Refracción.

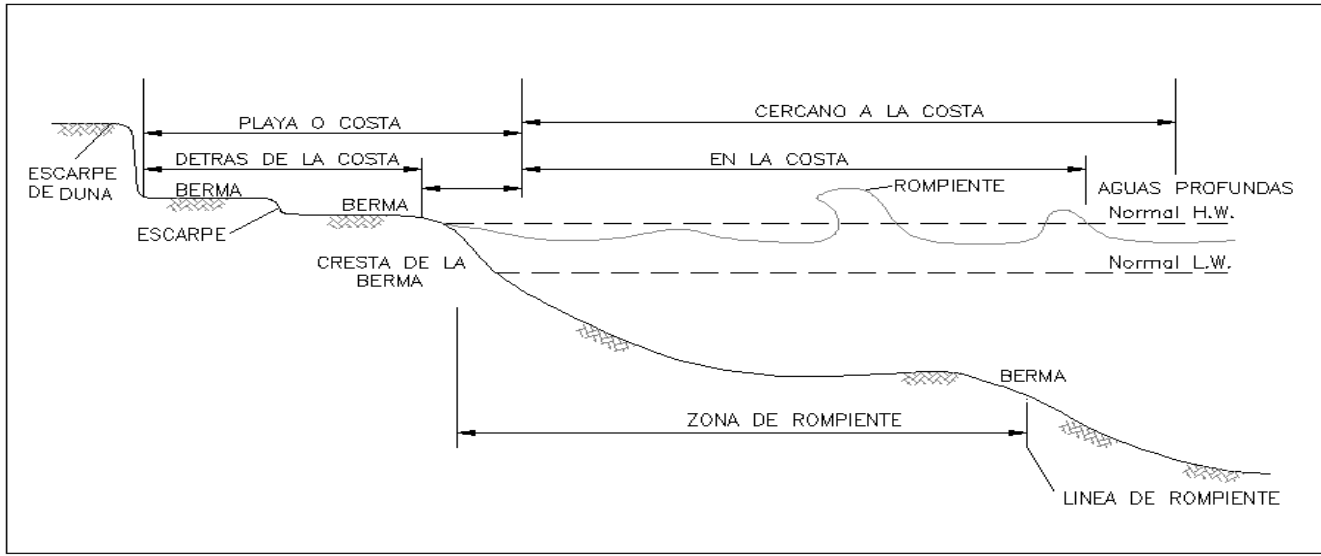


FENÓMENOS DEL OLEAJE EN LA PROPAGACIÓN.

Rotura



Efectos físicos en el Perfil de Playa



## Criterios Rotura del Oleaje.

- La ola se vuelve inestable y rompe.
- Supuesto de rotura, pendiente suave de playa.
- Criterio de rotura define tipo de rompiente y peralte - inclinación de la ola con la pendiente del fondo.

### Formulación Matemática

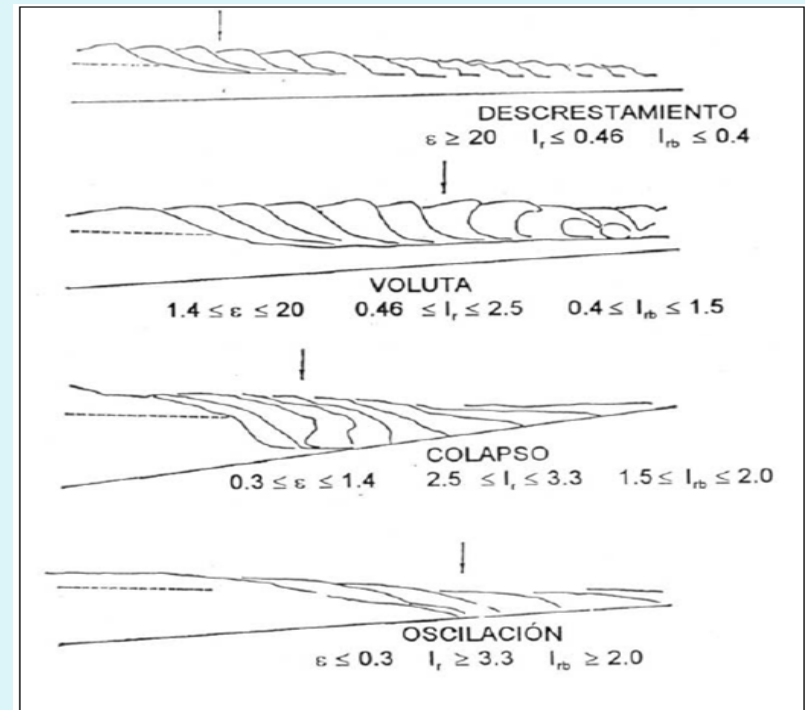
$$\frac{H_b}{h_b} = f\left(\frac{h_b}{L_b}, m\right) \quad \varepsilon_b = \frac{m}{\sqrt{\frac{H_b}{L_o}}}$$

ó

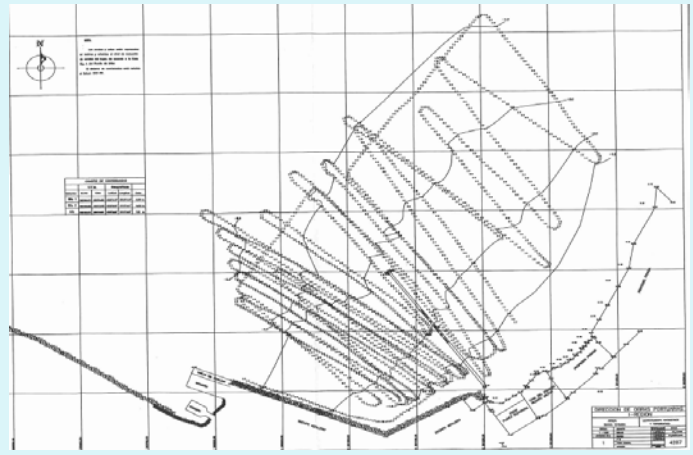
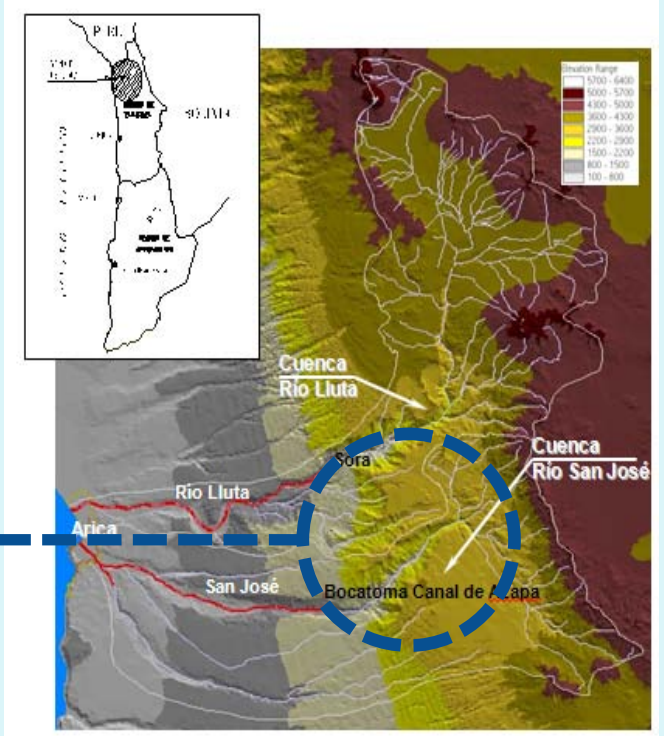
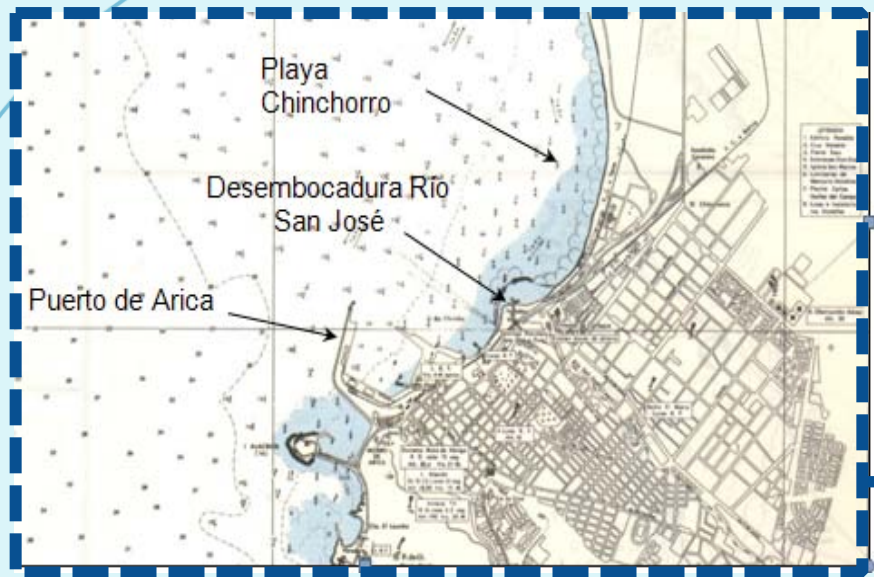
$$\frac{H_b}{L_b} = f\left(\frac{h_b}{L_b}, m\right)$$

## TIPOS DE ROMPIENTE.

- Descrestamiento:** Chorro de Agua Débil, afecta a la parte superior de la ola. Gran zona de rompiente y reflexión mínima.
- Voluta:** en playas, ola rompe con cresta hacia adelante inyectando turbulencia alta, menor reflexión que la rotura colapso.
- Colapso:** el oleaje se aproxima a la vertical, el peralte es más alto, existe alta pérdida de energía.
- Oscilación:** Olas ascienden y descienden por el talud de playa, reflexión alta y mínimo aire atrapado en la cresta de la ola.

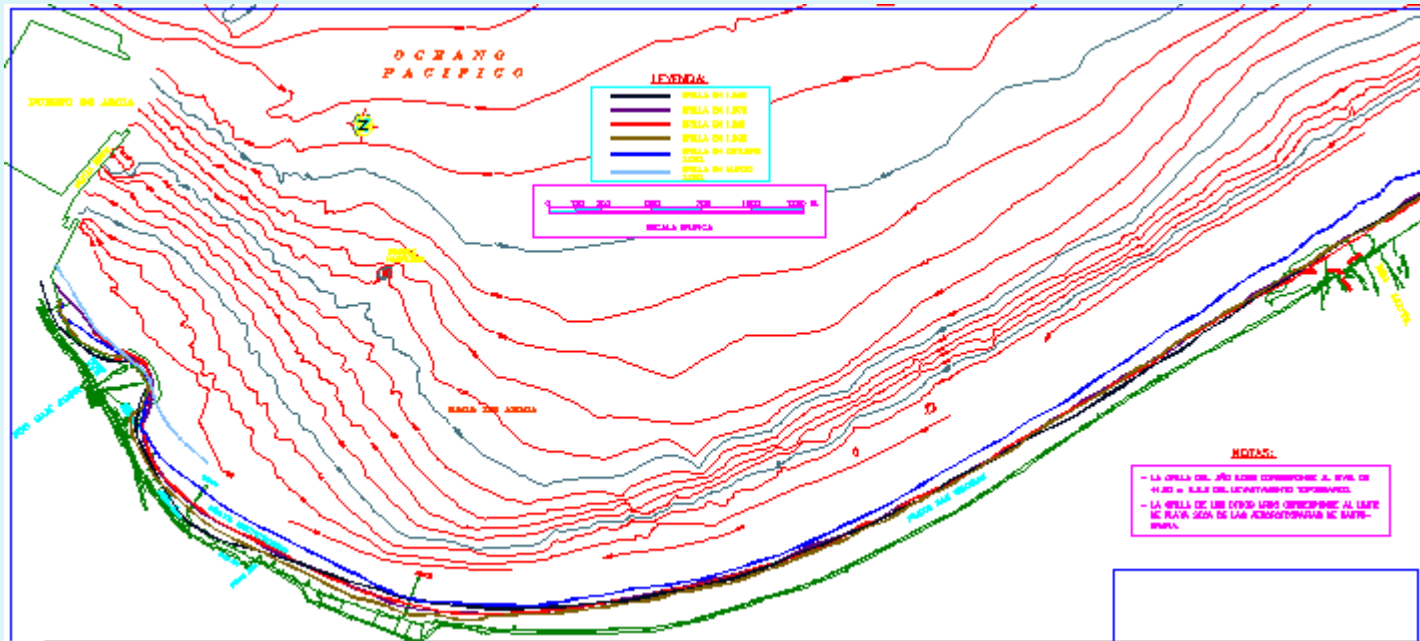


### CONDICIONES NATURALES. LOCALIZACIÓN.



- Batimetría realizada por el INH.
- Cumplimiento Instrucciones SHOA N° 5.
- Datum WGS84.
- Instrumentos utilizados: Ecosonda Sonda y GPS simple frecuencia.
- Dos PR SHOA.

CONDICIONES NATURALES. LÍNEA DE PLAYA HISTÓRICA.



	ORILLA EN 1956
	ORILLA EN 1978
	ORILLA EN 1981
	ORILLA EN 1996
	ORILLA EN OCTUBRE 2002
	ORILLA EN MARZO 2002

Línea de Playa	Distancia Horizontal Promedio (m.)		
	Sector Sur Desembocadura	Sector Norte Desembocadura	Playa Chinchorro
1956-2002	105	150	80
1978-2002	4	144	71
1981-2002	-3,5	100	66
1996-2002	70	173	106

## CONDICIONES NATURALES. ANÁLISIS OCEANOGRÁFICO.

- Observación de derivadores.
- Objetivo, caracterización temporal y espacial de las corrientes.
- Resultado llenante 0,21 m/s SW y vaciante 0,35 m/s NE.

### CORRIENTES LAGRANGEANO.

#### MAREA.

- Mareógrafo, mediciones cada 10 minutos.
- Marea máxima 1,8 m y mínima 0,1 m.
- NMM es 0,84 m.

- Correntómetros Fijos .
- Objetivo, dinámica de las corrientes, direcciones, frecuencia y velocidad.
- Resultado velocidad máxima 0,17 m/s, vaciante NE y llenante SW.

### CORRIENTES EULERIANA.

#### OLEAJE.

- Oleaje 20 años de estadística, OLAS CHILE.
- H predominante 1,5 a 2,0 m dirección SW y T de 12 a 14 seg.
- NW casi inexistente.

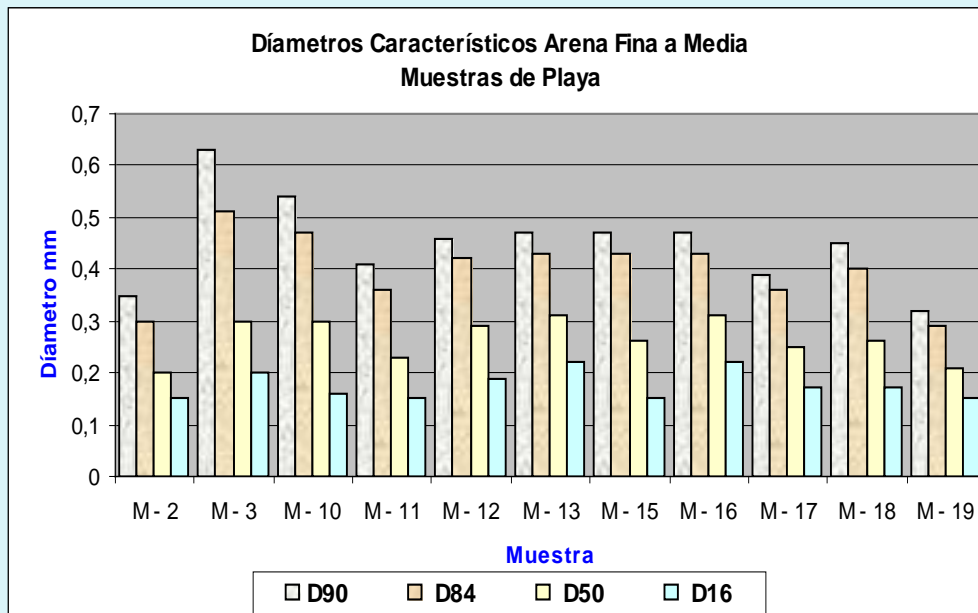
#### VIENTO.

- Estación meteorológica del INH.
- Presencia de anticiclón subtropical sur oriental. Predominancia S y SW.
- Mayor incidencia WSW = 5 a 6 nudos, máximo 8 nudos = 15 k/h provocando olas grandes.
- Calmas NW y NNW.



## CONDICIONES NATURALES. SEDIMENTOS.

- Muestras superficiales (19) y calicata.
- Sector Chinchorro, Desembocadura y Fondo Río San José.
- Resultado, desembocadura arenas finas y fango, playa Chinchorro sedimento fino.



## CONDICIONES NATURALES. HIDROLOGÍA / HIDRÁULICA.

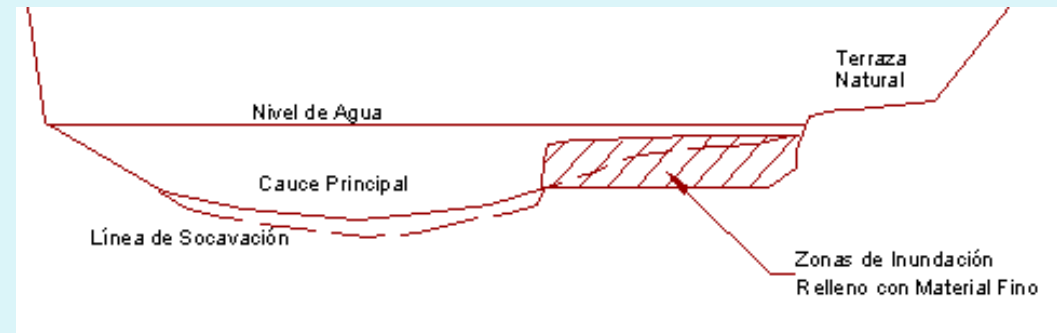
### HIDROLOGÍA

T Años	Caudal (m <sup>3</sup> /s)			
	Río Lluta	Río San José		Qda. de Acha
		Rural	Urbano	
2	25	13	15	2
5	43	45	53	8
10	65	78	91	13
25	210	150	176	26
50	415	220	258	38
100	600	320	375	55

- Plan Maestro Aguas Lluvias.
- Antecedentes DGA.

- Plan Maestro Aguas Lluvias.
- Sectores rurales y urbanos alta inundación.
- Velocidades Promedio 3,0 m/s y velocidades máximas 5,5 m/s.
- Problemas de socavación y erosión de Riberas.
- Altos concentrados de relleno, posibilidad alta de transporte de sedimentos.

### HIDRÁULICA

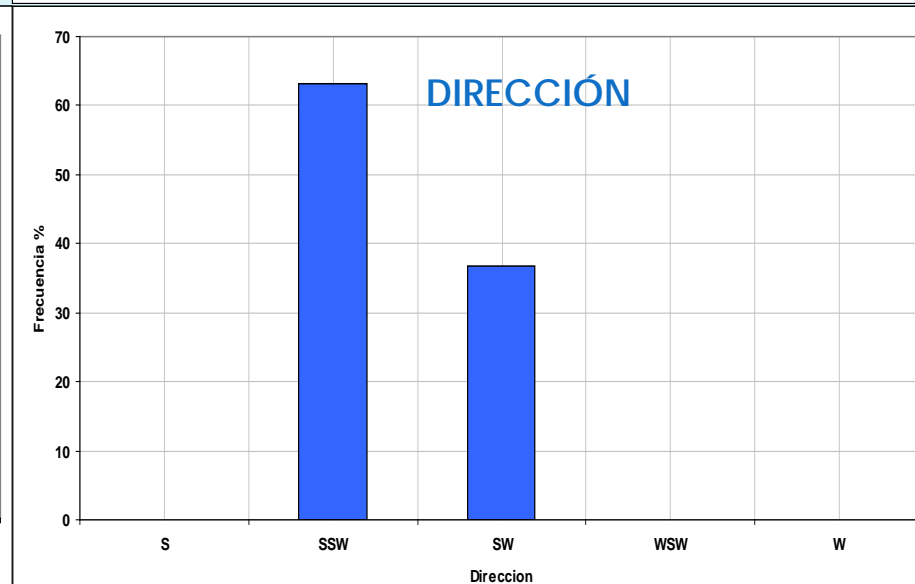
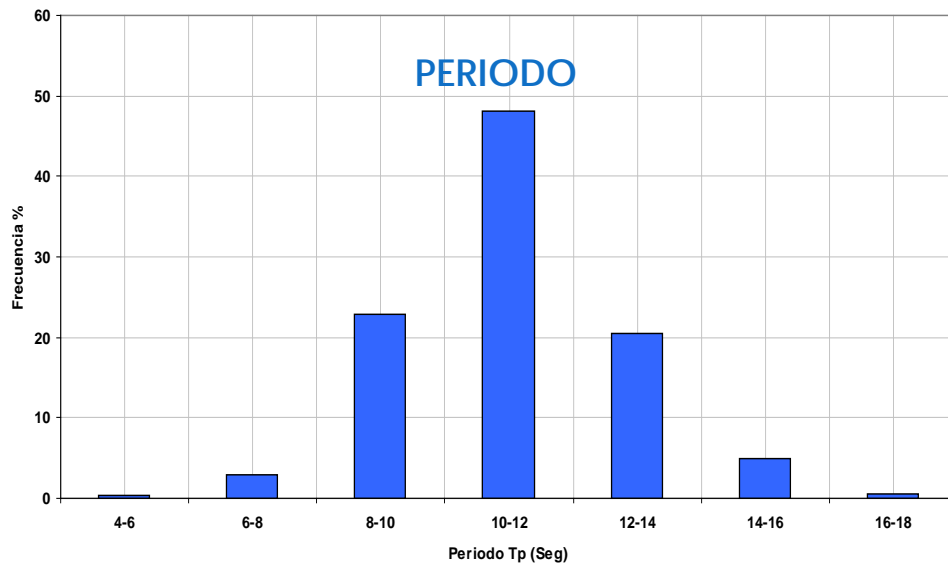
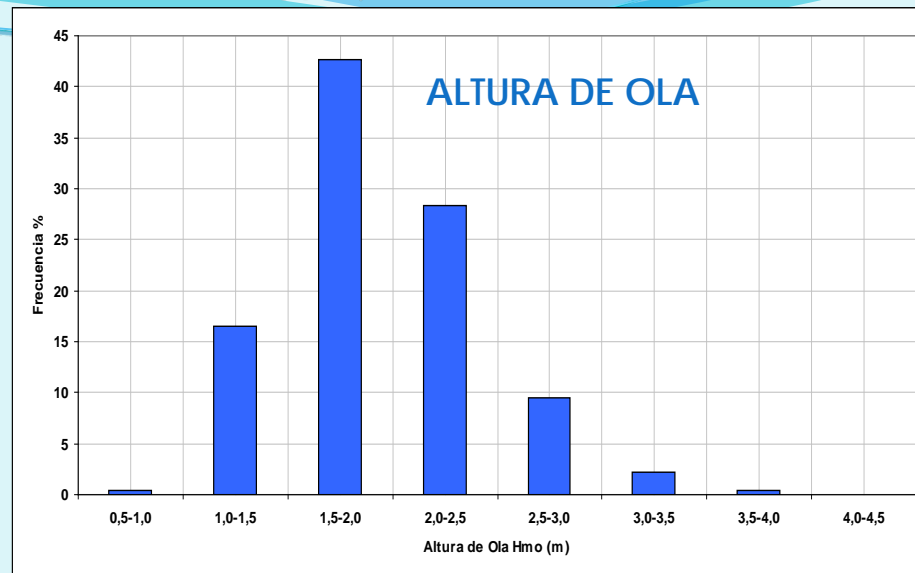




## STWAVE, Steady State Spectral Wave

### SUPUESTOS.

- i. Pendiente suave.
- ii. Equilibrio olas, corrientes y vientos.
- iii. Refracción y shoaling en forma lineal.
- iv. Profundidad y corriente uniforme.
- v. Fricción fondo despreciable.
- vi. Oleaje perpendicular a la costa.
- vii. Espectro de olas homogéneo.



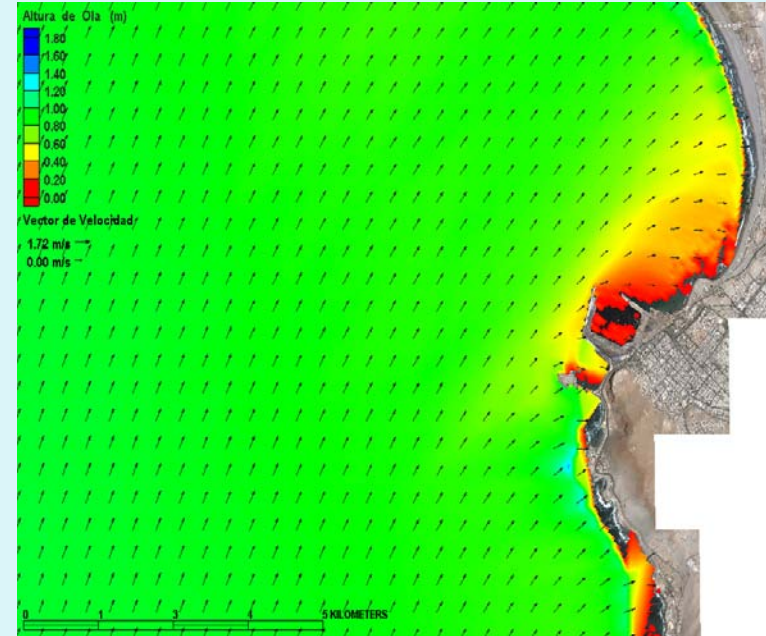
STWAVE, Steady State Spectral Wave. PROPAGACIÓN OLEAJE.

GRILLAS DE SIMULACIÓN

	Dirección de Propagación	Espaciamiento Grilla en x (m)	Espaciamiento Grilla en y (m)
Malla W	W, WSW	50	50
Malla SW	SSW, SW	50	50

Aguas Profundas			
Hmo (m)	Tp (s)	Dir	Dominio de Integración utilizado
1	10 a 18	WSW	Malla W
1	10 a 18	W	Malla W

Aguas Profundas			
Hmo (m)	Tp (s)	Dir	Dominio de Integración utilizado
1	10 a 18	SSW	Malla SW
1	10 a 18	SW	Malla SW



Resultados Malla SW, Dir SSW Tp 12 s

Tp seg.	Dirección Incidencia			
	W	WSW	SW	SSW
10	0,99	1,00	1,02	1,04
12	0,99	1,00	1,02	1,05
14	0,99	1,01	1,03	1,07
16	0,98	1,01	1,04	1,09
18	0,98	1,01	1,04	1,10

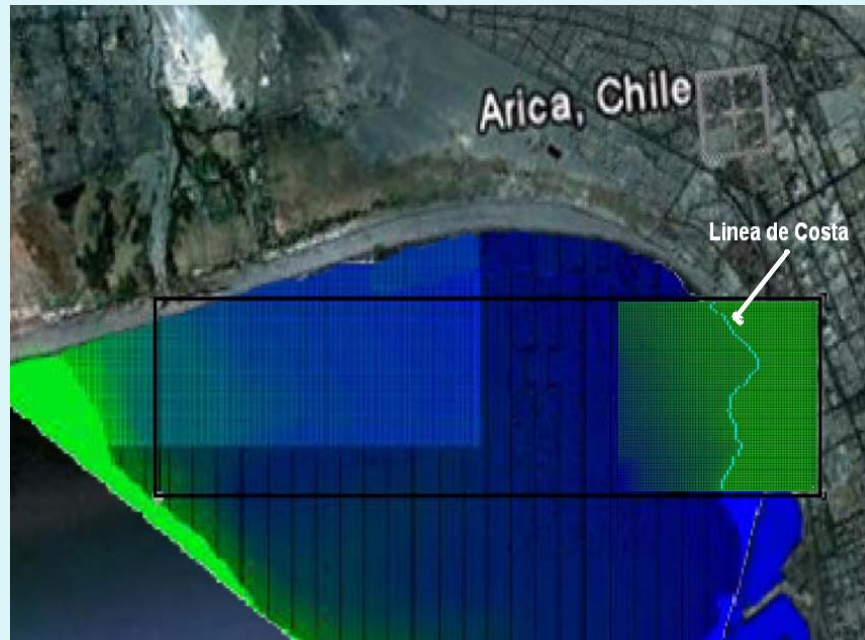
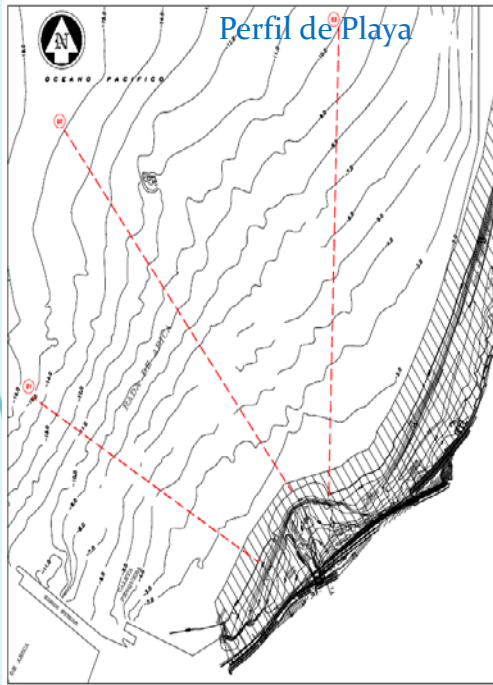
Tp seg.	Dirección Incidencia			
	W	WSW	SW	SSW
10	0,92	0,93	0,92	0,87
12	0,89	0,92	0,92	0,86
14	0,88	0,92	0,94	0,84
16	0,90	0,92	0,89	0,82
18	0,93	0,92	1,03	0,80

Resultado Coeficientes.

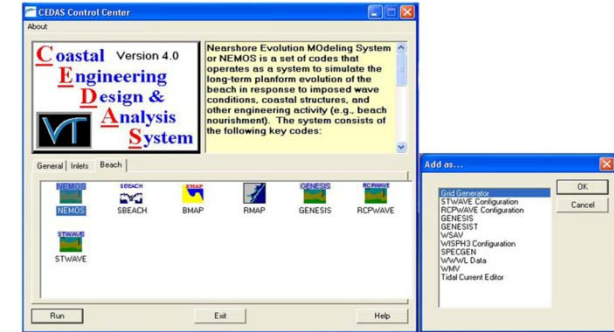
## MODELACIÓN NUMÉRICA GENESIS.

### DATOS.

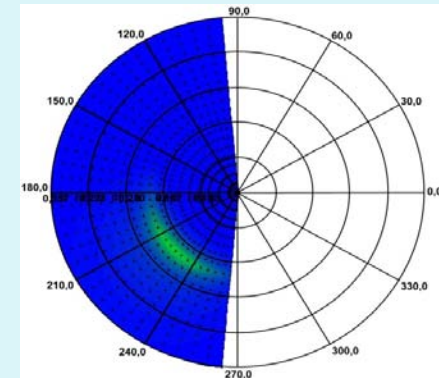
- Grilla 3 kilómetros cuadrados.
- Límite Sur, desembocadura río San José y límite Norte Playa Chinchorro.
- Espaciamiento 100 metros .



## Aplicaciones GENESIS



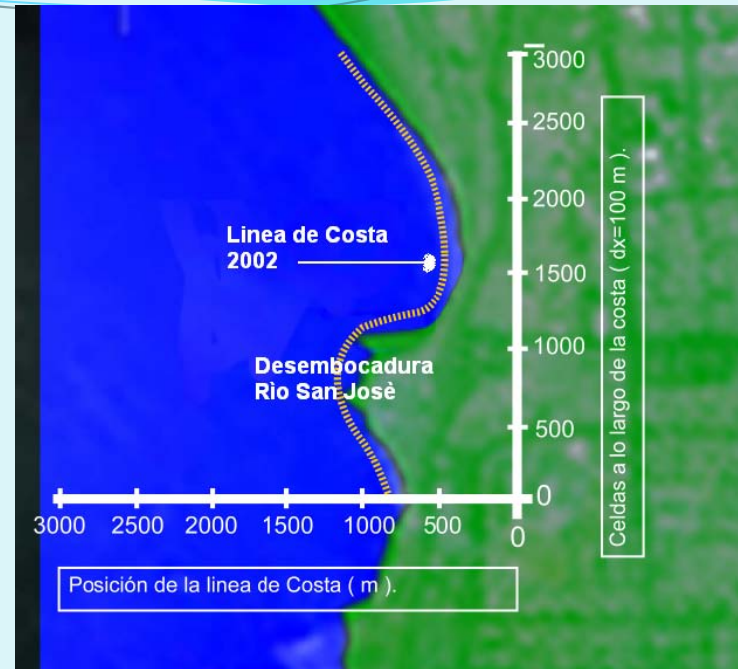
## Resultado Software Interno Oleaje



# SIMULACIÓN TRANSPORTE SEDIMENTOS

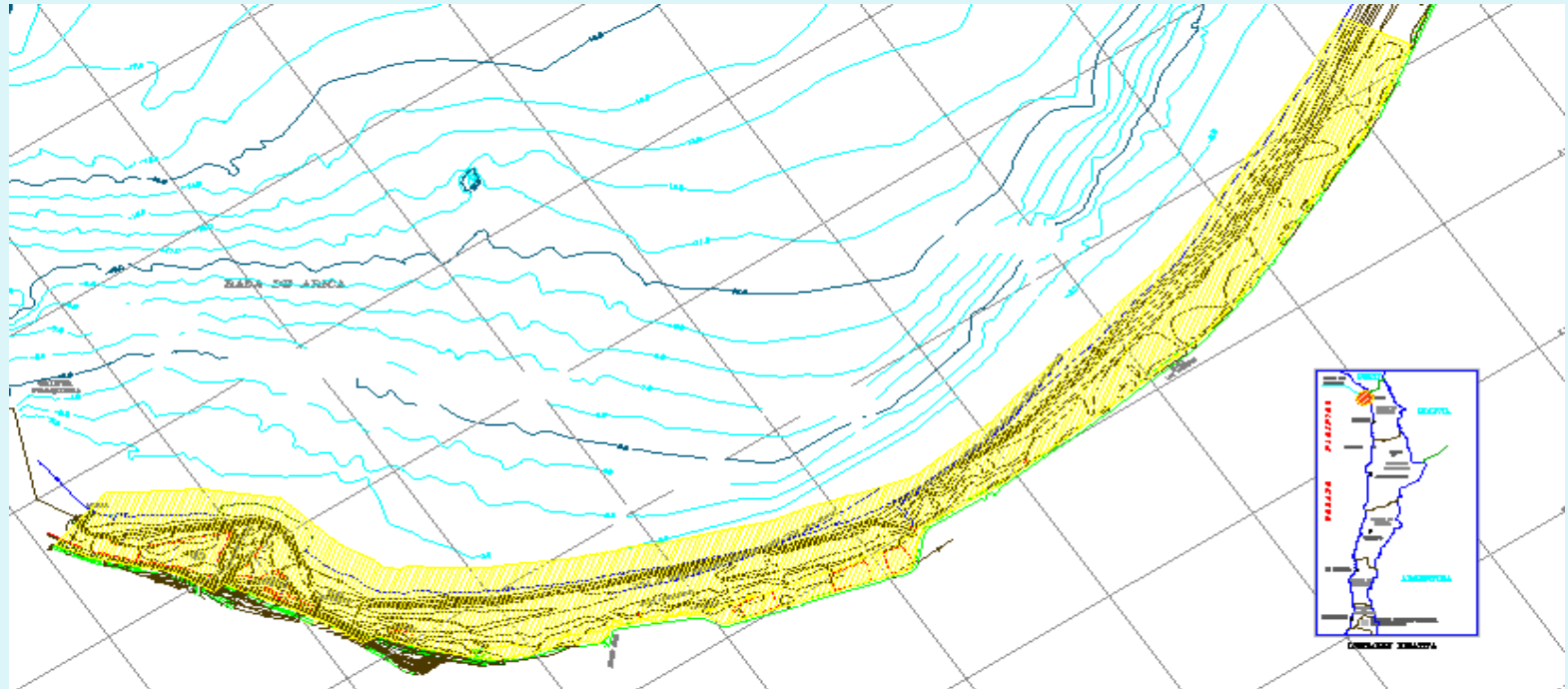
## MODELACIÓN NUMÉRICA GENESIS, SIN PROYECTO.

- Línea de costa 1996.
- Oleaje SW,  $T = 13$  seg.
- $D50 = 0,3$  milímetros.
- 2,0 m altura barra.
- 15,0 m profundidad cierre transporte sedimento.
- Condicionantes límites, borde abierto.
- Tiempo modelación, 6 años. Resultado línea de costa 2002



# SIMULACIÓN TRANSPORTE SEDIMENTOS

MODELACIÓN NUMÉRICA GENESIS, SIN PROYECTO.



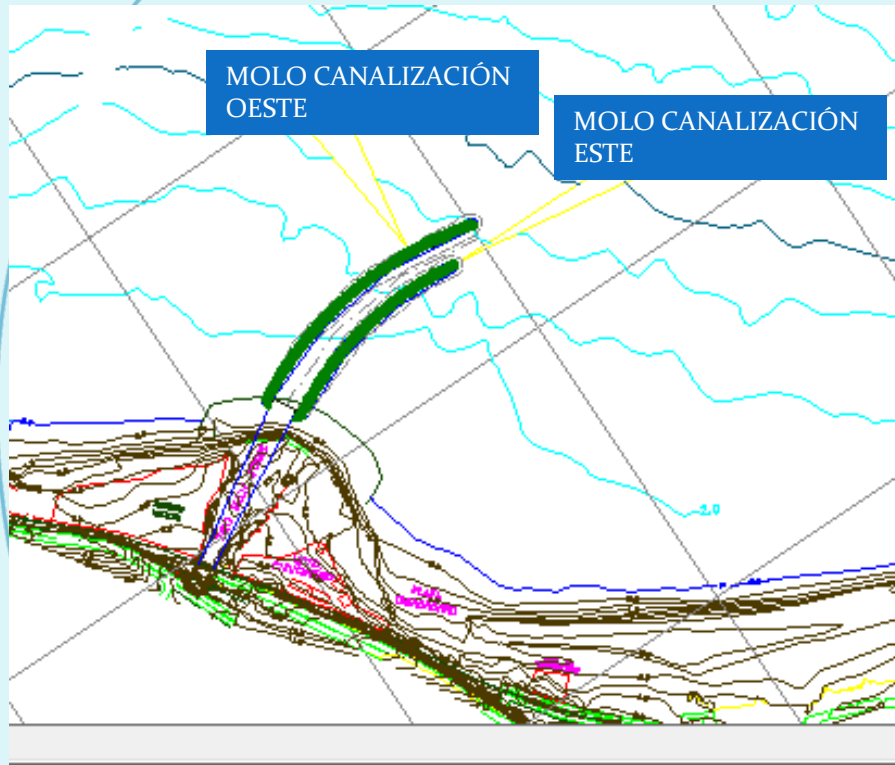
Área de aumento de Playa a Largo Plazo siendo 8.778.953 m<sup>2</sup> en total.

VALIDACIÓN LÍNEA DE PLAYA HISTÓRICA.

Línea de Playa	Distancia Horizontal Promedio (m).	
	Sector Desembocadura	Playa Chinchorro
1996-2002 (aerofotogrametría)	173	106
1996-2002 (modelo GENESIS)	170	100
<b>Porcentaje de Similitud</b>	<b>98,3</b>	<b>94,3</b>



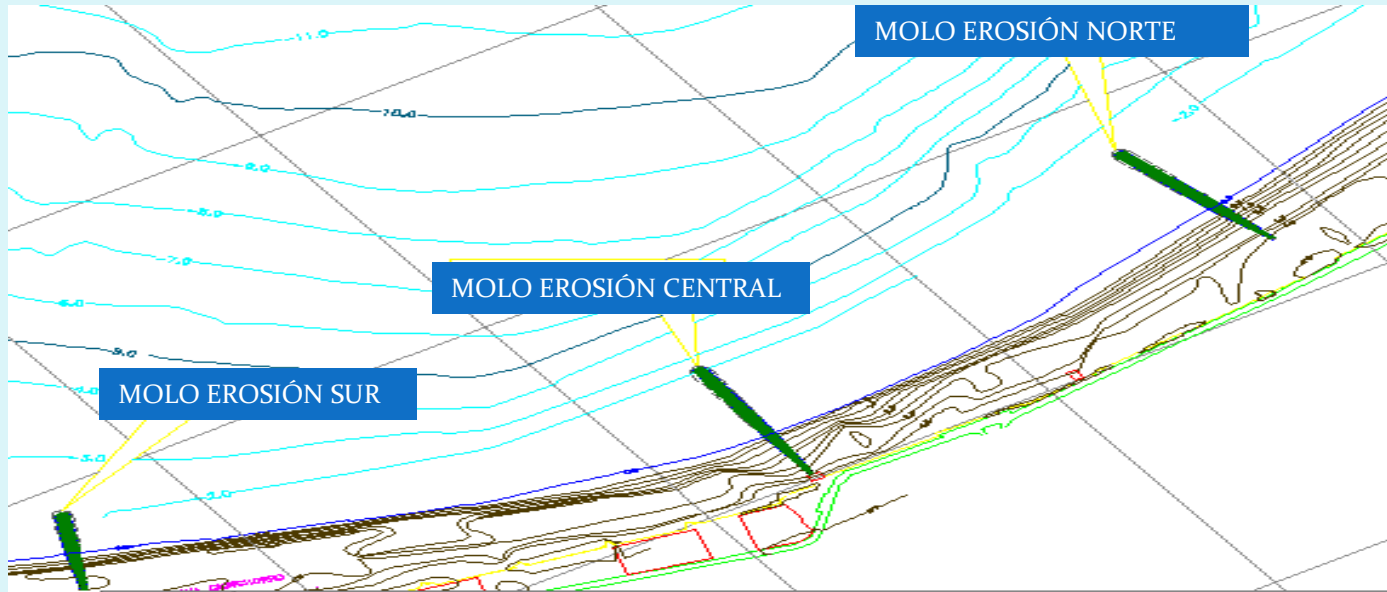
MODELACIÓN NUMÉRICA GENESIS, CON PROYECTO.



Opción	Variables	Molo Este	Molo Oeste
1	Longitud	450 m	500 m
	Tramo	1	1
	Sentido Arco	Favor horario	Favor horario
	Cota de Trabajo	3.0 sobre NRS	3.0 sobre NRS
	Nº Sección	1	4
	Elemento Núcleo	Roca 2 a 5 Ton	Roca 2 a 5 Ton 6 a 10 Ton 9 a 16 Ton
	Pendiente de Talud	2:1 (Hz : vt)	2:1 (Hz : vt)

SIMULACIÓN TRANSPORTE SEDIMENTOS

MODELACIÓN NUMÉRICA GENESIS, CON PROYECTO.



Variable	Molo Sur	Molo Central	Molo Norte
Lugar de Apertura	Sur de Playa Chinchorro	Central de Playa Chinchorro	Molo Norte
Longitud	180 m	260 m	280 m
Cota de Coronación	+ 3.0 sobre NRS	+ 3.0 sobre NRS	+ 3.0
Nº Secciones	2	2	2
Elemento Núcleo	Roca 2 a 5 Ton	Roca 2 a 5 Ton 6 a 10 Ton	Roca 2 a 5 Ton 6 a 10 Ton
Pendiente de Talud	2:1 (Hz : vt)	2:1 (Hz : vt)	2:1 (Hz : vt)

SIMULACIÓN TRANSPORTE SEDIMENTOS

## MODELACIÓN NUMÉRICA GENESIS, CON OBRAS PROYECTO

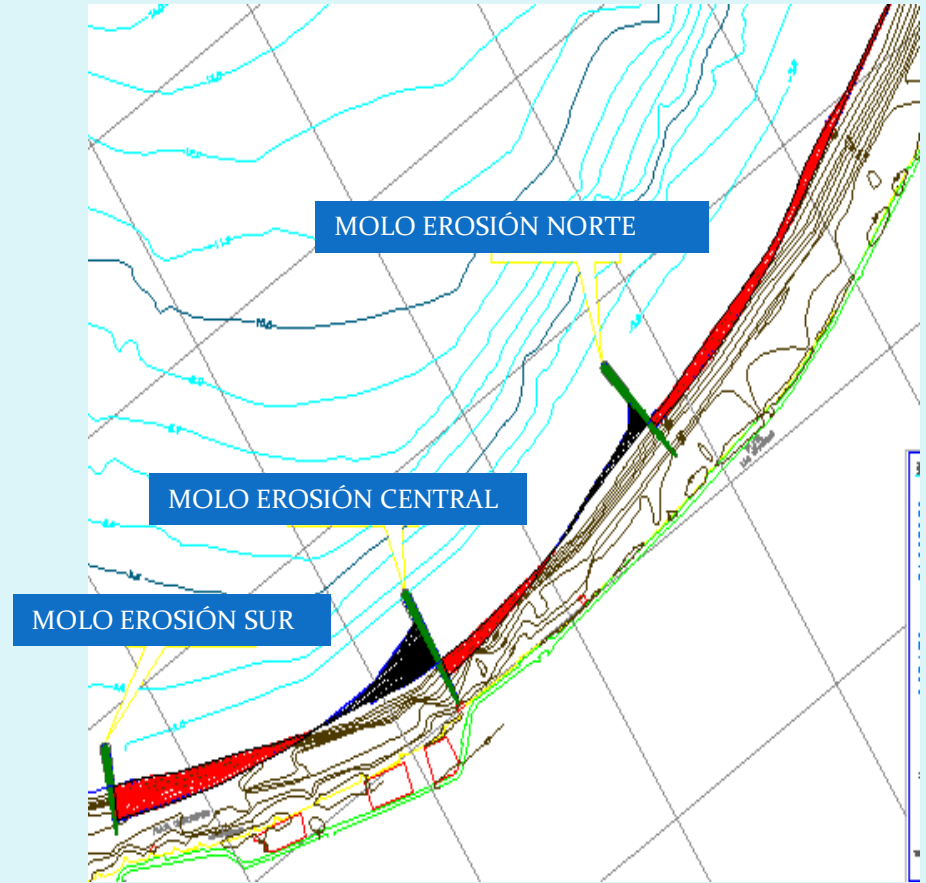
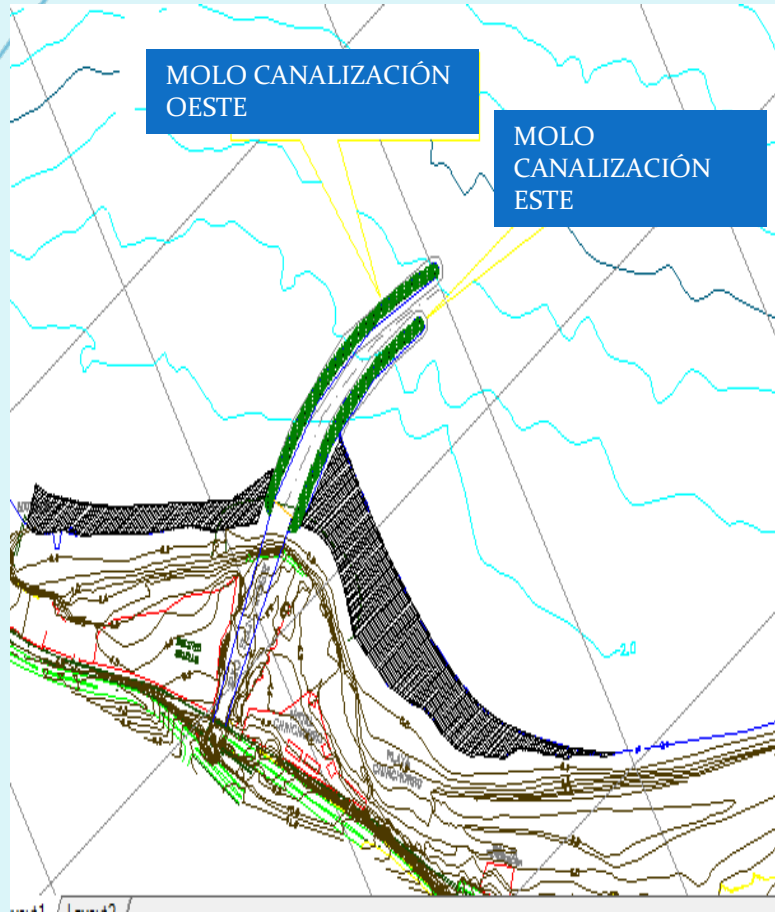
Línea de base, 2002  
Tiempo de Modelación : 10 años  
Línea de costa resultante : 2012

Área creciente 84.436 m<sup>2</sup>  
Área decreciente 46.160 m<sup>2</sup>

Transporte neto  
es 38.276 m<sup>3</sup>



## MODELACIÓN NUMÉRICA GENESIS, CON OBRAS PROYECTO



## SIMULACIÓN TRANSPORTE SEDIMENTOS

- Calidad de la Información. Recolección de Datos.
- Resultados de la Modelación con GENESIS.
  - Transporte de sedimentos, dirección Norte.
  - Aumento de volumen y longitudes de la Playa hacia el norte de la desembocadura del río San José.
  - Disminución de volumen en la zona de sombra de las estructuras costeras.
  - Redistribución de la mancha de sedimentos.
- Recomendaciones.
  - Modelo computacional en 3D y apoyo de modelo físico.
  - Estudio del transporte transversal.
  - Estudio de fenómenos locales.

## CONCLUSIONES

# ESTUDIO MORFODINÁMICO DEL LITORAL EN LA DESEMBOCADURA DEL RÍO SAN JOSÉ, ARICA, XV REGIÓN. CHILE.

Memoria para Optar al Título de Ingeniero Civil Oceánico.

TIARE PAZ ESPINOZA VARAS.  
Valparaíso, Agosto 2011.