

Mejoramiento del borde Costero

Aplicación en playa San Mateo

Francisco Andrés Molteni Pérez

Temas a Evaluar.

- Introducción.
- Objetivos.
- Ejemplos de playas artificiales en Chile.
- Caracterización del Medio:
 - Condiciones actuales.
 - Proyecto de mejoramiento.
- Conclusiones.
- Recomendaciones.

Introducción.

- La Quinta región de Valparaíso:
 - Reconocida zona turística.
 - 36 playas.
 - 15 playas en el litoral central.
 - 1 de las 5 existentes en la ciudad de Valparaíso.

Figura 1: Playas en el litoral central.



Introducción.

- Playa San Mateo:
 - Ubicación.
 - Playa artificial.
 - Abrigo natural.
 - No es apta para el baño.
 - Playa de uso popular.
 - Extensión.
 - Ancho.

Figura 2: Playa San Mateo.



Introducción.

- Playa San Mateo:
- Utilizada para ejercicios de salvataje y tácticas navales.



Figura 3: Ejercicios de salvataje.



Figura 4: Ejercicios navales.

Objetivo.

- General: Desarrollar a nivel conceptual un proyecto de mejoramiento de la Playa San Mateo, incrementando el área de solana mediante la incorporación de estructuras que permitan elevar la seguridad en el baño y asegurar la estabilidad de la playa en base a la nueva proyección.
- Específico: conocer las condiciones actuales del sector, y analizar, los cambios que se proponen para la mejora de éste.

Ejemplos de playas artificiales en Chile.

Figura 5: Playa Covadonga, Antofagasta



Figura 6: Playa Paraíso, Antofagasta.



Figura 7: Playa Trocadero, Antofagasta



Ejemplos de playas artificiales en Chile

Figura 8: Balneario Municipal, Antofagasta.



Figura 9: Playa El Laucho, Arica.



Figura 10: Playa Carboncillo, Antofagasta.



Caracterización del Medio.

- Condiciones actuales de San Mateo:
 - Batimetría.
 - Mareas.
 - Oleaje.
 - Morfología costera.
 - Valoración del sector.

Caracterización del Medio: Condiciones Actuales.

- Cartas náuticas del SHOA
- Batimetría de detalles DESMAR Ltda.
- Mareas extraídas del SHOA.

Figura 11: Cartas Náuticas.

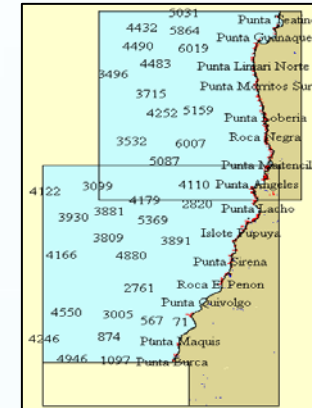
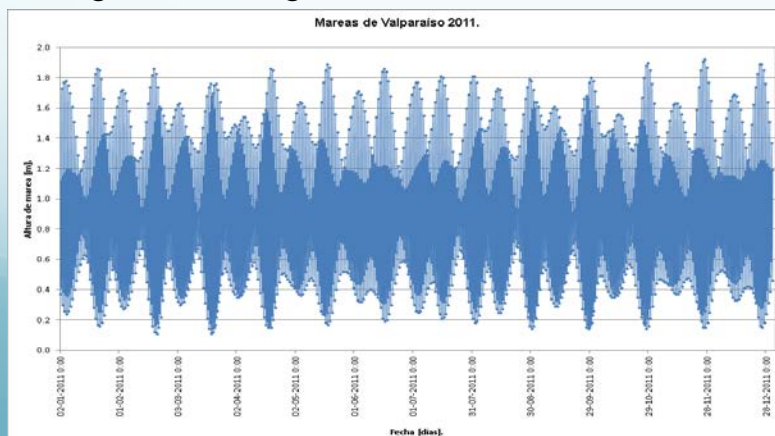


Tabla 1: Valores armónicos.

Análisis Mareal	Valor
Pleamar Máxima	1.97
Promedio Pleamares Máximas	1.54
Promedio Pleamares	1.37
Nivel Medio del Mar	0.90
Promedio Bajamares	0.44
Promedio Bajamares Mínimas	0.39
Bajamar Mínima	0.08

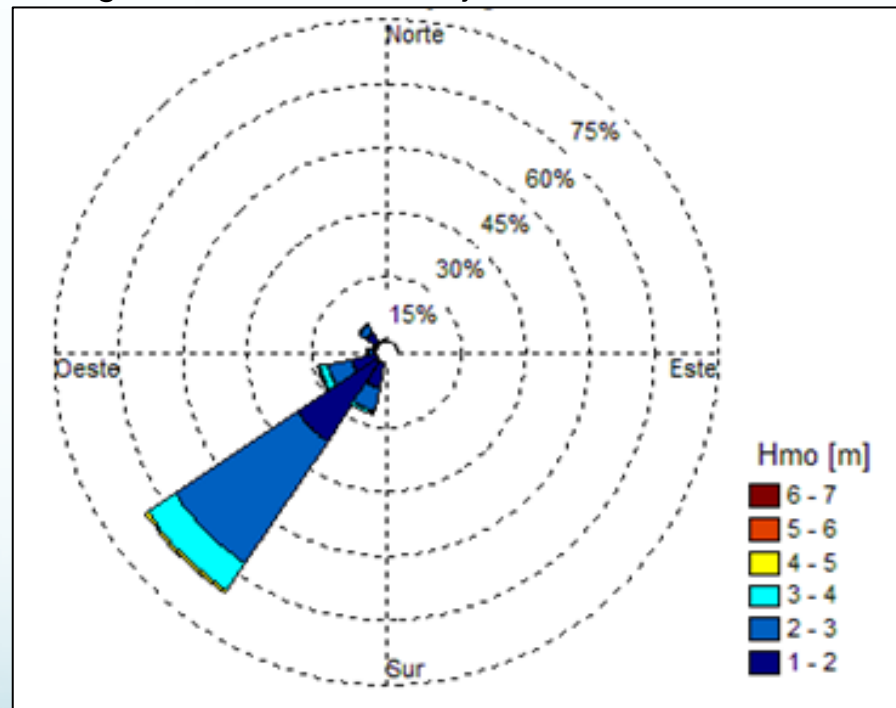
Figura 12: Registro de Mareas.



Caracterización del medio: Condiciones Actuales.

- Oleaje en aguas profundas

Figura 13: Rosa de oleaje altura vs dirección



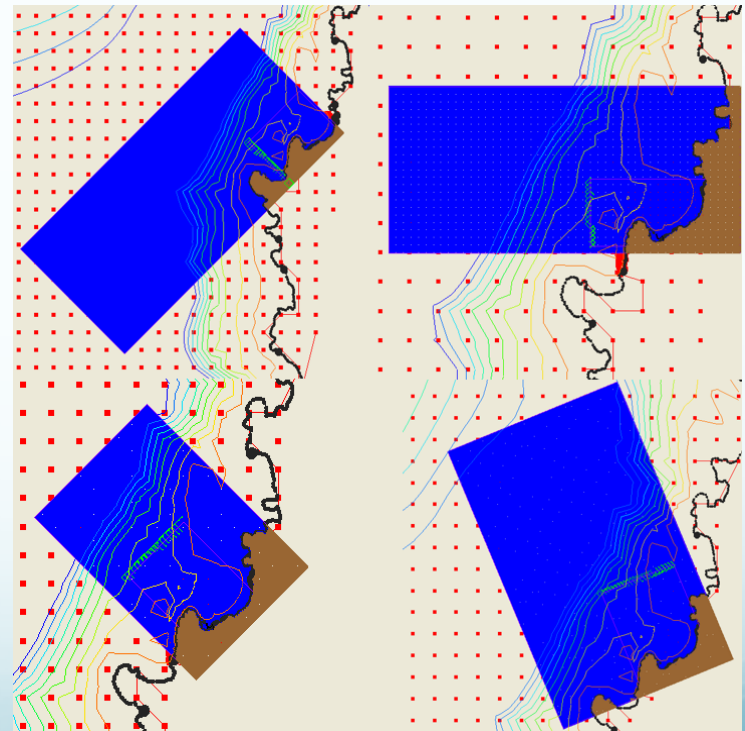
Caracterización del Medio: Condiciones Actuales.

- Propagación de Oleaje:
 - Modelo STWAVE 8.1.
 - Simulaciones.
 - Conformación de las grillas.
 - Extracción de coeficientes.

Figura 14: Nodo de extracción.



Figura 15: Grillas de propagación.



Caracterización del Medio: Condiciones Actuales.

- Propagación de oleaje:
 - Coeficientes obtenidos.

Figura 16: Coeficientes direccionales.

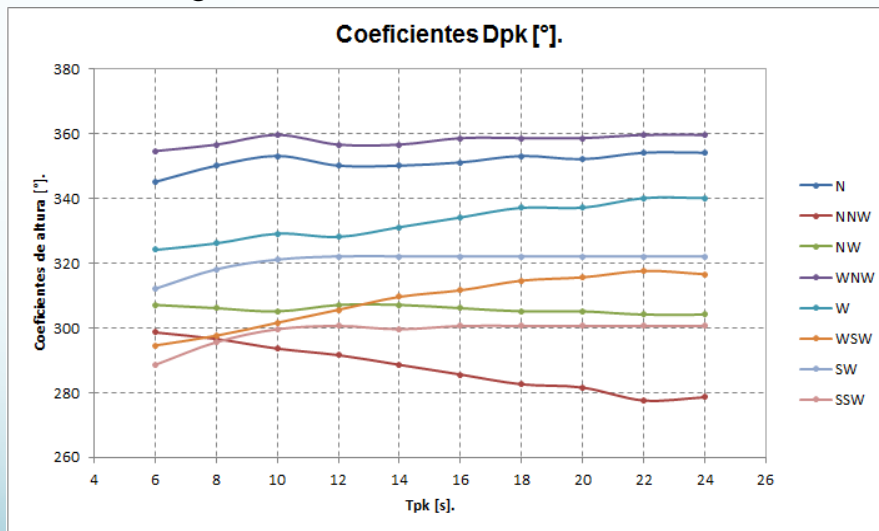
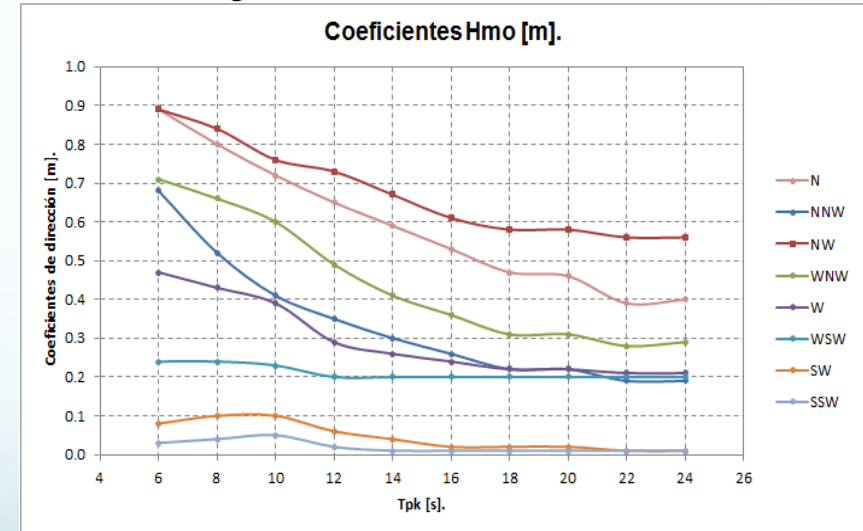


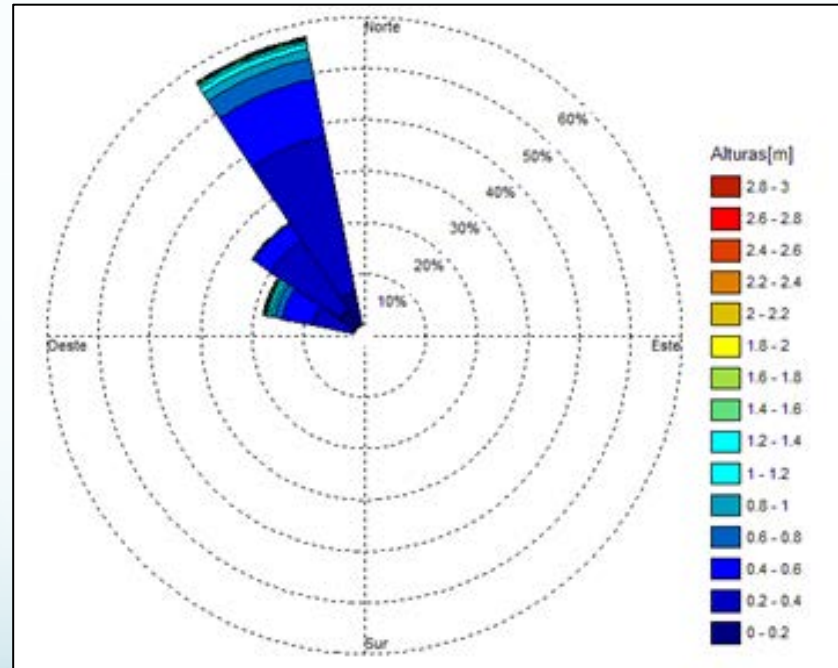
Figura 17: Coeficientes de altura.



Caracterización del Medio: Condiciones Actuales.

- Oleaje Operacional

Figura 18: Rosa de oleaje altura vs dirección



Caracterización del Medio: Condiciones Actuales.

- Morfología Costera:
 - Estudios granulométricos.
 - Análisis estadístico.
 - Transporte de sedimentos.
 - Determinación de la zona activa.
 - Determinación de la profundidad de cierre.

Caracterización del Medio: Condiciones Actuales.

- Estudios Granulométricos:
- Perfiles de muestreo

Tabla 2: Mareas en el muestreo.

20-04-2010		
ESTADO	hrs	m +NRS
Pleamar	2:16	0.98
Bajamar	7:39	0.59
Pleamar	14:30	1.48
Bajamar	21:50	0.49

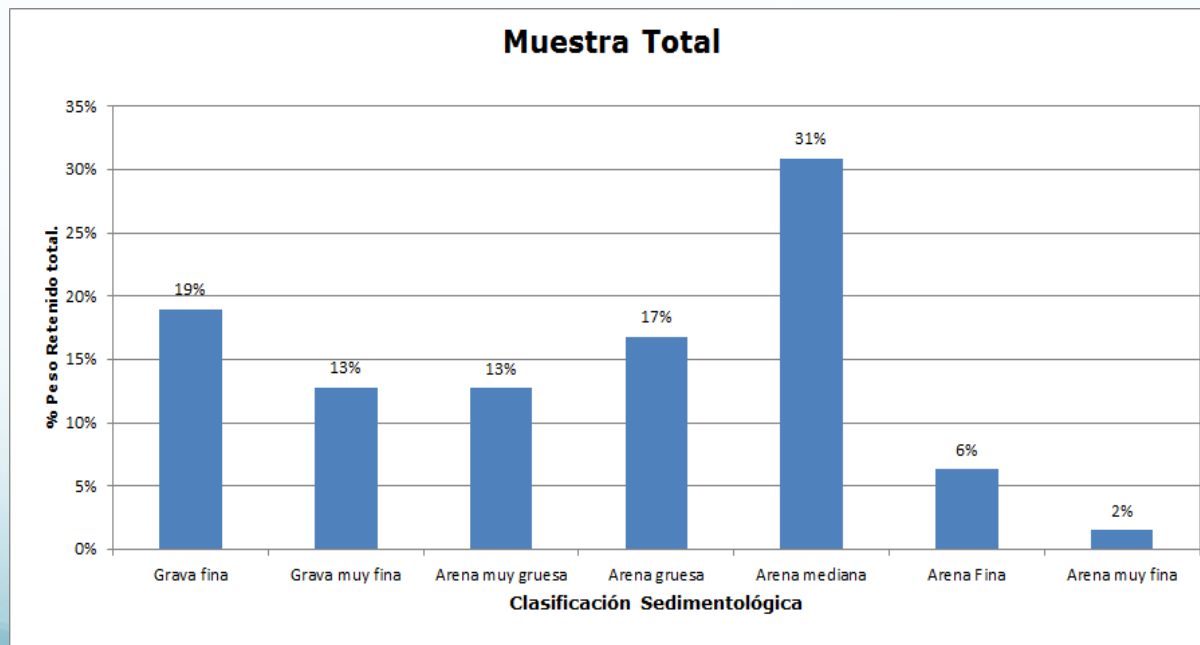
Figura 19: Posicionamiento de las muestras.



Caracterización del Medio: Condiciones Actuales.

- Análisis estadístico:
- Análisis de la muestra total.

Figura 20: Clasificación sedimentológica de la muestra total.



Caracterización del Medio: Condiciones Actuales.

- Análisis granulométrico:
 - Análisis de la zona sumergida

Figura 21: Curva granulométrica.

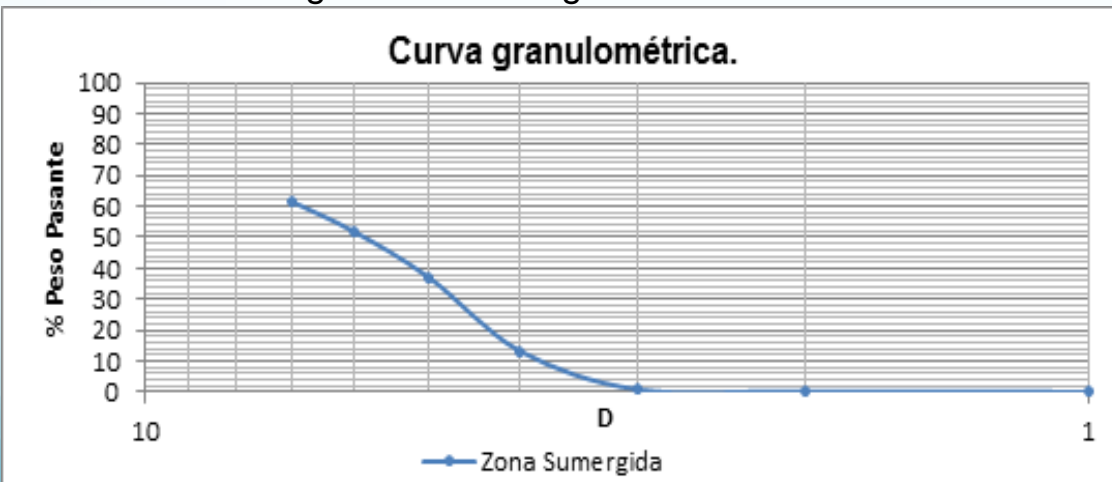


Tabla 3: Análisis estadístico zona sumergida.

Zona Sumergida Playa San Mateo			
Nº Tamiz	Diámetro [mm]	Peso Retenido [grs]	% Peso Pasante
Nº 5	4	38,27	61,73
Nº 10	2	9,90	51,83
Nº 16	1	14,83	37,00
Nº 40	0,5	23,83	13,17
Nº 60	0,25	12,37	0,80
Nº 115	0,125	0,56	0,24
Nº 250	0,063	0,24	0,00
Total		100%	

Caracterización del Medio: Condiciones Actuales.

- Análisis Granulométrico:
 - Zona sumergida.

Figura 22: Clasificación de la zona sumergida.

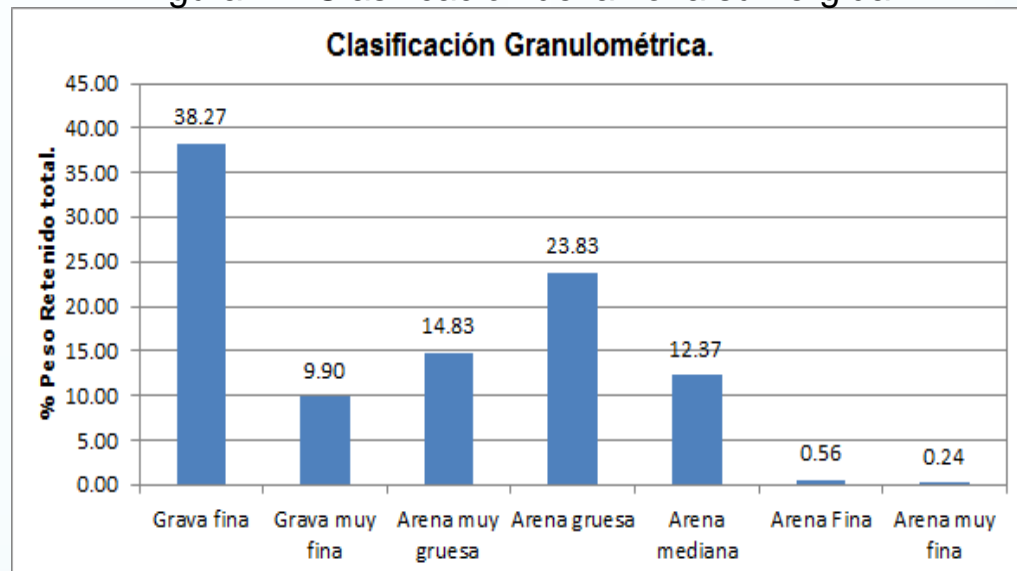


Tabla 4: Diámetros relevantes obtenidos.

Diámetros Relevantes	Resultados [mm]	Clasificación
d95	-	Grava Fina
d84	2,62	
d75	1,48	
d50	1,43	
d25	0,78	
d16	0,60	
d5	1,19	

Caracterización del Medio: Condiciones Actuales.

- Análisis visual del sector.

Figura 23: Presencia de guijarros o bolones.



Caracterización del Medio: Condiciones Actuales.

- Transporte longitudinal de Sedimentos:
 - Formulación de Queens

$$Q_L = \frac{1.3 \cdot 10^{-3}}{(1-p)\rho_s} \frac{\rho H_{sb}^3}{T_p} \left(\frac{H_{sb}}{L_{op}} \right)^{-1.25} m^{0.75} \left(\frac{H_{sb}}{d_{50}} \right)^{0.25} \text{sen}^{0.6}(2\alpha_b)$$

- Se utilizaron los siguientes criterios de rompiente del oleaje:

- Sunamura (1980):

$$H_b = 1.1h_b \left(\frac{m}{\sqrt{\frac{Ho}{Lo}}} \right)^{1/6}$$

- Battjes & Steve (1985):

$$\frac{H_b}{h_b} = 0.39 + 0.56 \tanh \left(33 \frac{Ho}{Lo} \right)$$

Caracterización del Medio: Condiciones Actuales.

- Transporte de Sedimentos: Resultados.

Tabla 5: Transporte Longitudinal año 2000.

Estaciones	Sunamura		Battjes & Steve	
	QLneto promedio [m ³ /meses]	QL bruto promedio [m ³ /meses]	QLneto promedio [m ³ /meses]	QL bruto promedio [m ³ /meses]
Verano	2174.00	2174.69	3248.67	3248.74
Otoño	2525.00	2524.96	3554.19	3552.05
Invierno	2450.82	2450.85	3355.23	3354.38
Primavera	2015.24	2015.18	3011.43	3010.96
Total	9165.07	9165.68	13169.52	13166.12

Tabla 6: Transporte Longitudinal años 2000 a 2004.

Estaciones	Sunamura		Battjes & Steve	
	QLneto promedio [m ³ /años]	QL bruto promedio [m ³ /años]	QLneto promedio [m ³ /años]	QL bruto promedio [m ³ /años]
Verano	10870.00	10873.46	16243.37	16243.69
Otoño	12625.02	12624.80	17770.93	17760.23
Invierno	12254.12	12254.26	16776.14	16771.92
Primavera	10076.19	10075.88	15057.16	15054.78
Total	45825.33	45828.41	65847.61	65830.62

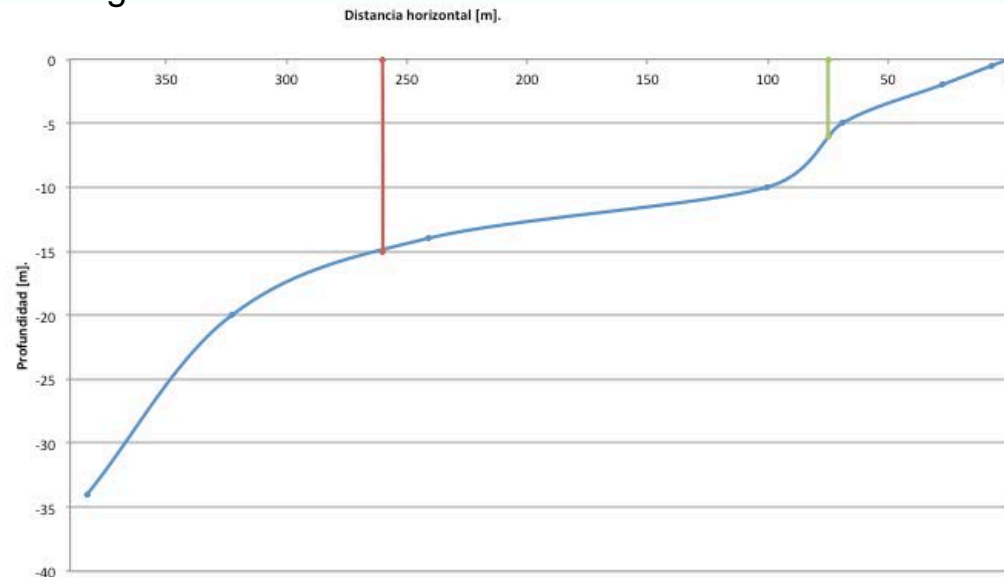
Caracterización del Medio: Condiciones Actuales.

- Determinación de la zona activa y profundidad de cierre:

- Birkemeier 1985 y Houston 1995 $d_1 = 1.75H_{s0,137} - 57.9 \left(\frac{H_{s0,137}^2}{gT_p^2} \right)$ $d_1 = 8.9\overline{H_s}$

- Bierkemeier 1985: $d_L = 3.5H_{S12}$

Figura 24: Delimitación de las zonas mencionadas



Caracterización del Medio: Condiciones Actuales.

- Valoración del sector:

- Como defensa costera
- Uso lúdico humano

Figura 26: Uso lúdico.



Figura 25: Cumpliendo función de obra defensiva





Caracterización del Medio: Proyecto de mejoramiento de playa.

- Formulación seleccionada para la generación de la playa.
- Descripción del layout propuesto.
 - Funcionamiento hidráulico del rompeolas.
- Agitación en la zona de baño.
- Evolución al corto plazo.
- Evolución al largo plazo.
 - Planta de equilibrio.
 - Perfil de equilibrio.
 - Determinación del perfil de relleno.
 - Condición de baño seguro.
 - Uso lúdico humano.

Caracterización del Medio: Proyecto de mejoramiento de playa.

- Formulación de mejoramiento de la playa:
 - Kevin R. Bodge (2002).

Figura 27: Crecimiento entre dos estructuras modificables.

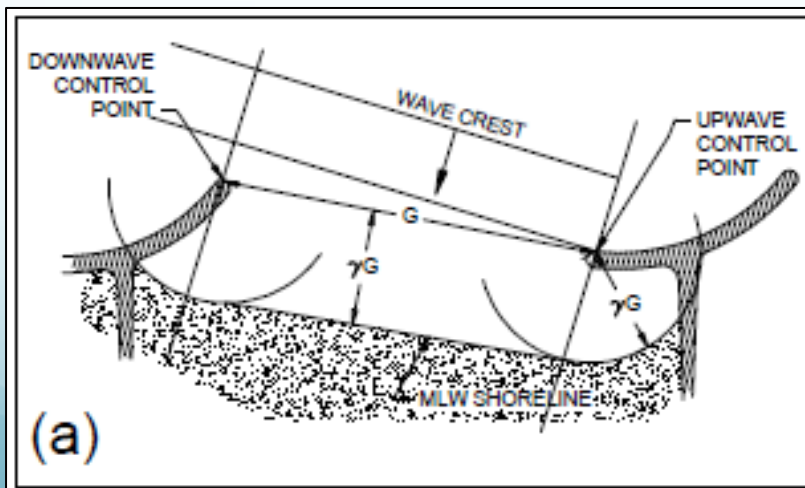
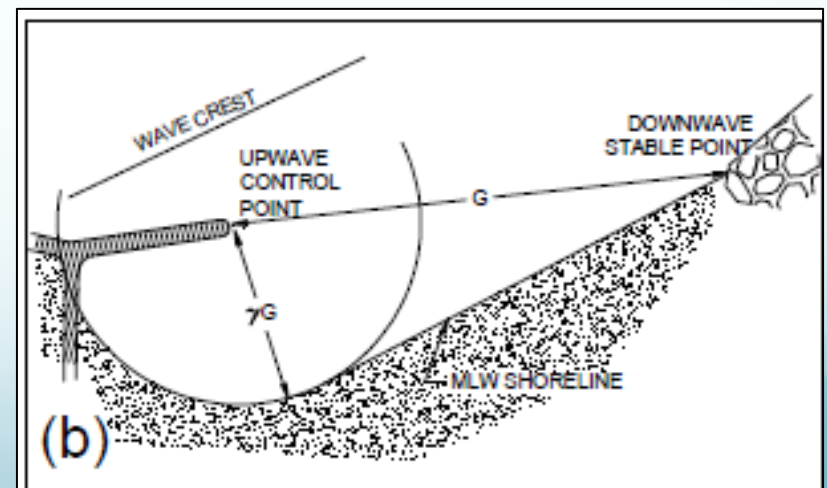


Figura 28: Crecimiento en base a un punto existente.



Caracterización del Medio: Proyecto de mejoramiento de playa.

- Descripción del Layout propuesto:

- Elementos que lo componen

Figura 29: Elementos propuestos.



- Funcionamiento Hidráulico:

- Van der Meer 1988:

$$K_t = \begin{cases} -0.4 \frac{R_c}{H_{si}} + 0.64 \left(\frac{B}{H_{si}} \right)^{-0.31} \left(1 - e^{-0.5\xi} \right) & \frac{B}{H_i} < 10 \\ -0.35 \frac{R_c}{H_{si}} + 0.51 \left(\frac{B}{H_{si}} \right)^{-0.65} \left(1 - e^{-0.41\xi} \right) & \frac{B}{H_i} > 10 \end{cases}$$

Caracterización del Medio: Proyecto de mejoramiento de playa.

Figura 30: Estabilidad del modelo.



- Agitación en la zona de baño: MIKE 21 BW.
 - Configuración del modelo MIKE 21 BW
 - Mejora en las pendientes del fondo.
 - Disposición de las estructuras.

Figura 31: Modificación del fondo.

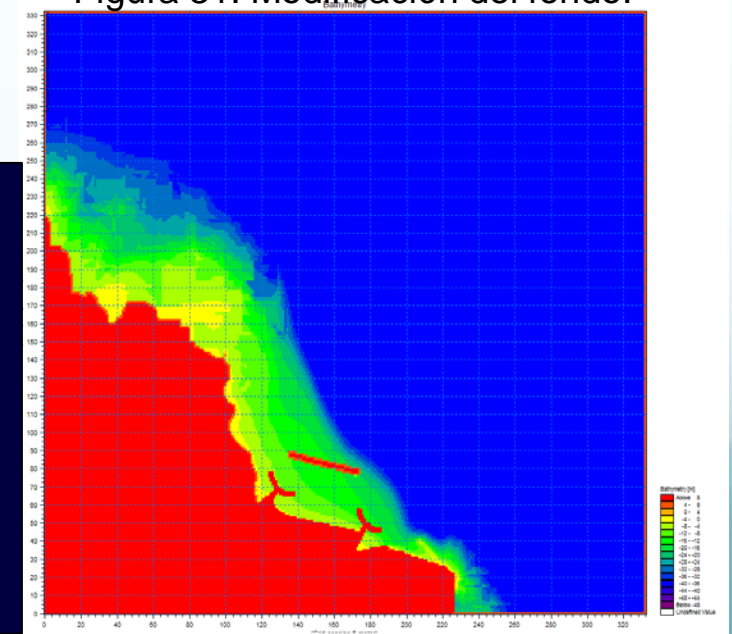
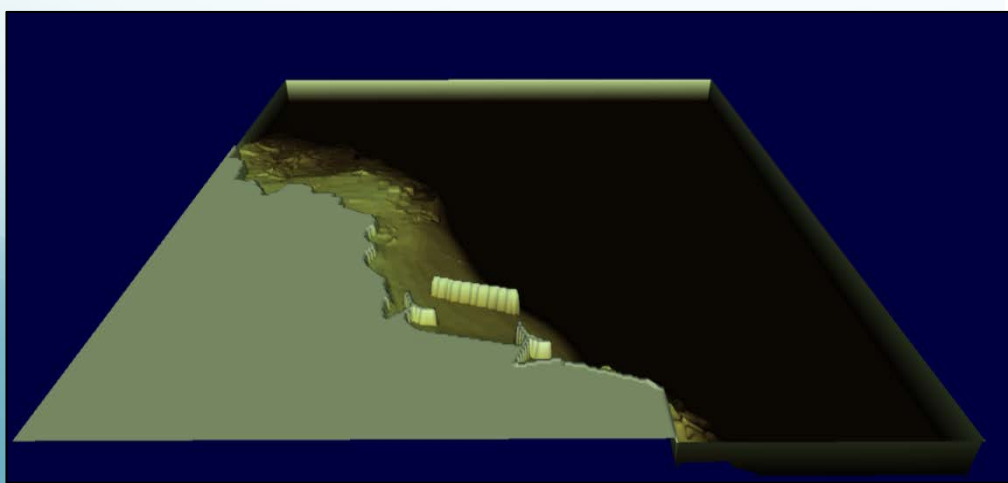


Figura 32: Disposición de las estructuras.



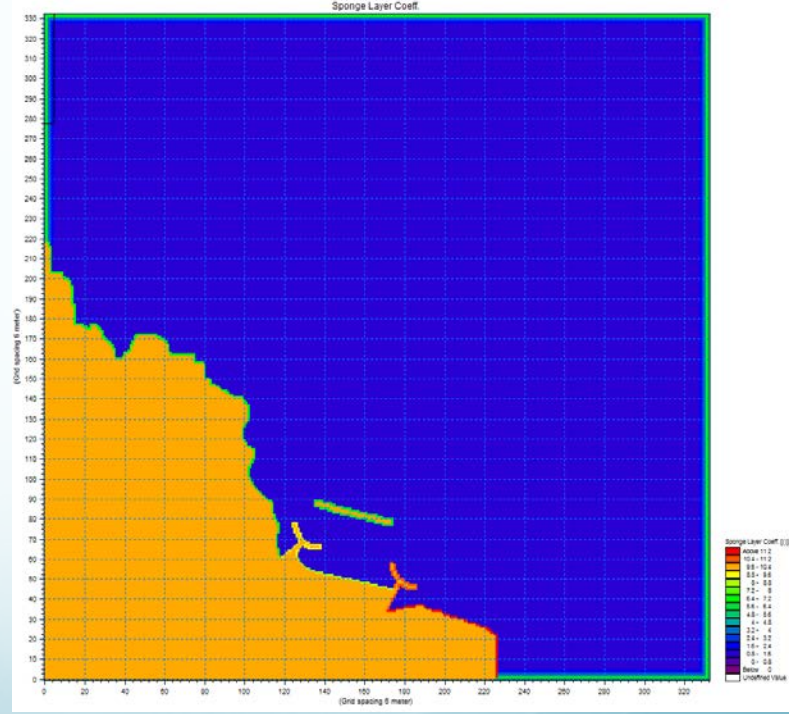
Caracterización del Medio: Proyecto de mejoramiento de playa.

- Agitación en la zona de baño:
 - Denominación de los sectores a estudiar:

Figura 33: Designación de áreas.



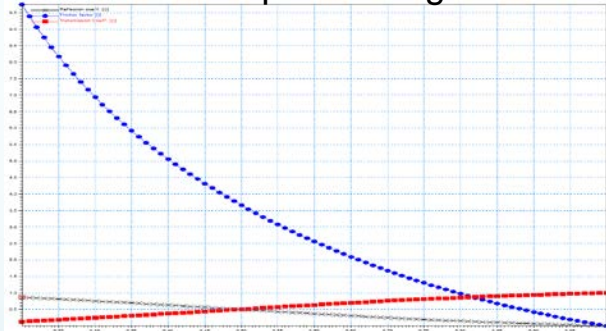
Figura 34: Esponja MIKE 21 BW.



Caracterización del Medio: Proyecto de mejoramiento de playa.

- Agitación en la zona de baño:
 - Determinación de los coeficientes de reflexión.

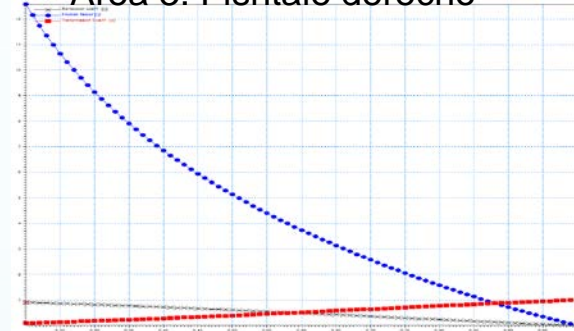
Área 1: Dique sumergido



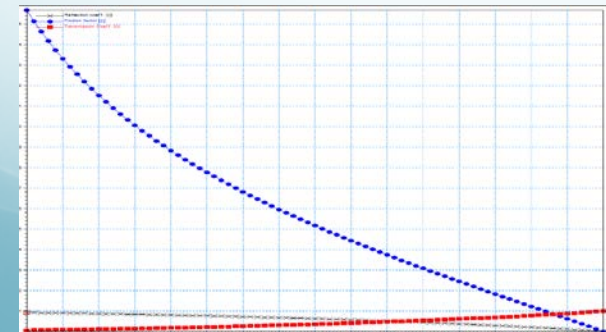
Área 2: Fishtale izquierdo



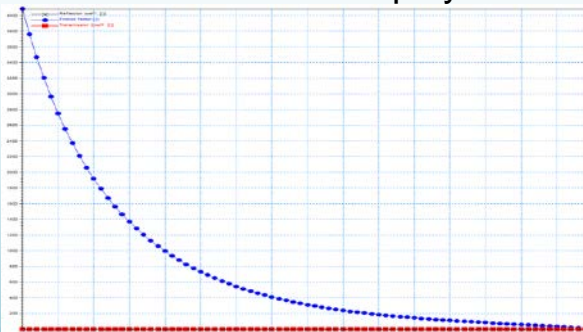
Área 3: Fishtale derecho



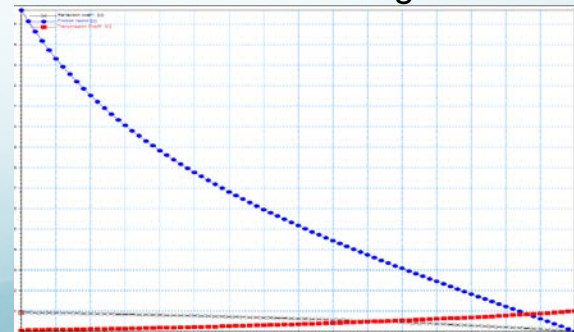
Área 4: Muro vertical



Área 5: Arena de playa



Área 6: Molo de abrigo



Caracterización del Medio: Proyecto de mejoramiento de playa.

- Agitación en la zona de baño:
 - Casos a simular.
 - Disposición de puntos de control.

Tabla 7: Casos a simular.

Casos	Hmo [m]	Tp [s]	Dir [Grados]
1	2.82	16	337.5
2	0.57	17	302
3	1.52	8	329

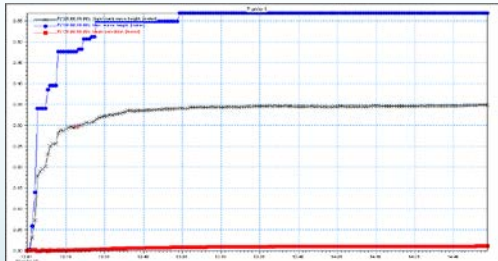
Figura 35: Puntos de control.



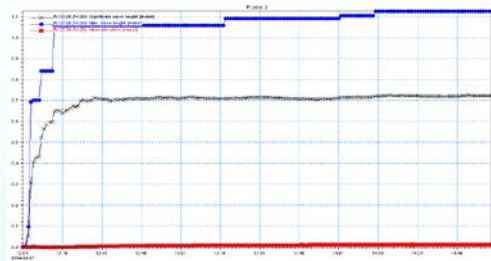
Caracterización del Medio: Proyecto de mejoramiento de playa.

- Agitación en la zona de baño:
 - Tiempo de modelación.
 - Series de tiempo en los puntos de control.

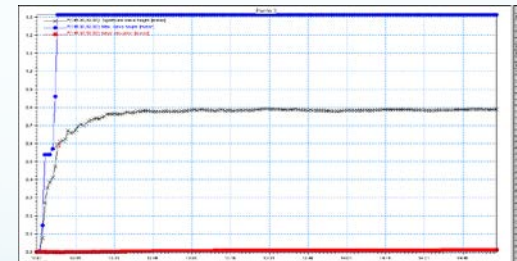
Punto 1



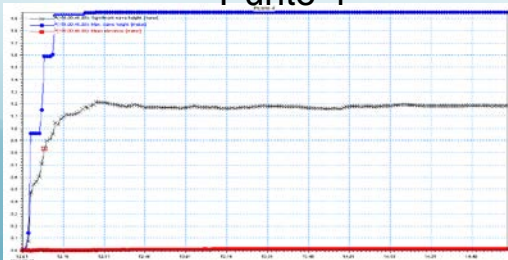
Punto 2



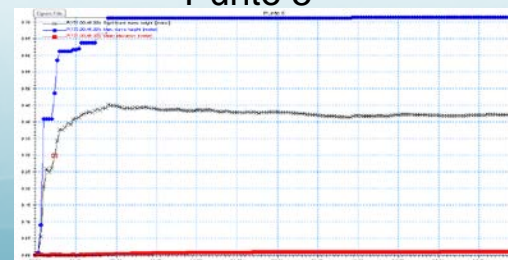
Punto 3



Punto 4



Punto 5





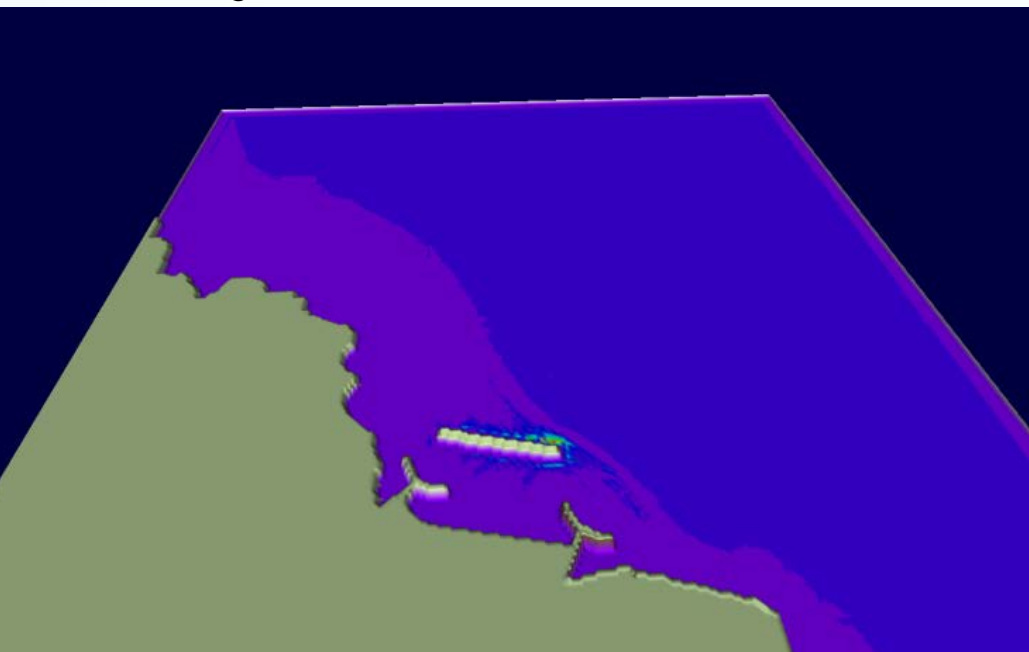
Caracterización del Medio: Proyecto de mejoramiento de playa.

- Resultados obtenidos: Caso 1

Tabla 8: Alturas de ola obtenidas en los puntos de control.

Puntos	Hmo= 2.86, Tp= 16, Dir= 337.5			
	d Extracción= 3m		d Extracción= 5m	
	Hs [m]	Hmax [m]	Hs [m]	Hmax [m]
1	0.35	0.57	0.21	0.41
2	0.72	1.13	0.68	1.21
3	0.79	1.31	0.67	1.19
4	1.19	1.95	0.93	1.75
5	0.42	0.71	0.51	0.87

Figura 36: Modelación caso 1.





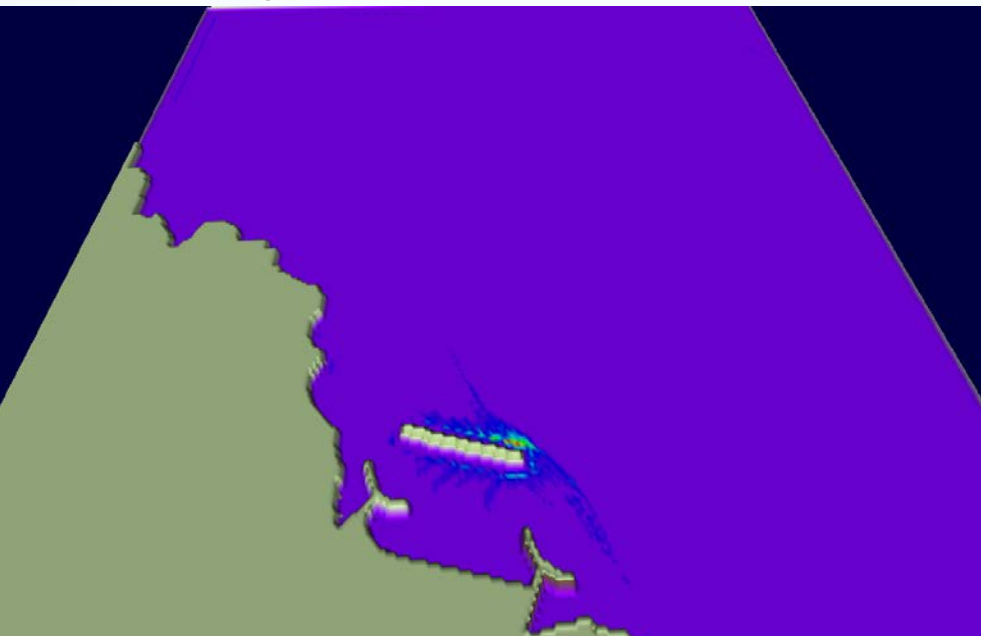
Caracterización del Medio: Proyecto de mejoramiento de playa.

- Resultados obtenidos: Caso 2

Tabla 9: Alturas de ola obtenidas en los puntos de control.

Puntos	Hmo= 0.57, Tp= 17, Dir= 302			
	d Extracción= 3m		d Extracción= 5m	
	Hs [m]	Hmax [m]	Hs [m]	Hmax [m]
1	0.29	0.45	0.17	0.33
2	0.52	0.86	0.56	0.94
3	0.55	0.91	0.45	0.84
4	0.81	1.37	0.49	0.92
5	0.28	0.48	0.41	0.66

Figura 37: Modelación caso 2.





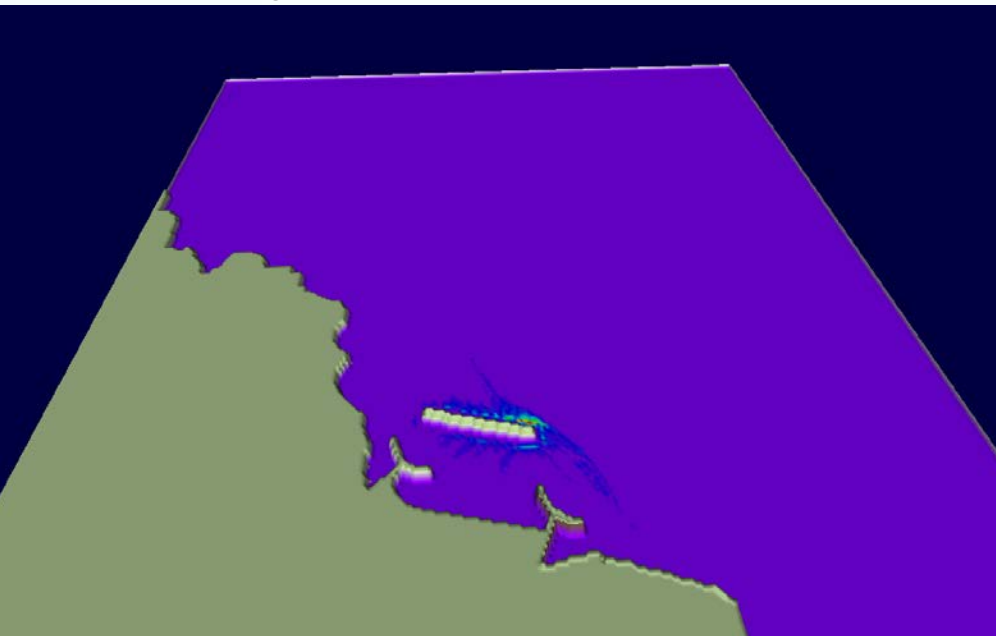
Caracterización del Medio: Proyecto de mejoramiento de playa.

- Resultados obtenidos: Caso 3

Tabla 10: Alturas de ola obtenidas en los puntos de control.

Puntos	Hmo= 1.52, Tp= 8, Dir= 329			
	d Extracción= 3m		d Extracción= 5m	
	Hs [m]	Hmax [m]	Hs [m]	Hmax [m]
1	0.29	0.47	0.13	0.24
2	0.47	0.74	0.52	0.97
3	0.56	0.94	0.43	0.83
4	0.78	1.19	0.42	0.81
5	0.25	0.38	0.39	0.58

Figura 38: Modelación caso 3.



Caracterización del Medio: Proyecto de mejoramiento de playa.

- Resultados obtenidos:
 - Comparación en los puntos de control.

Figura 39: Alturas de ola, Veril 3 metros.

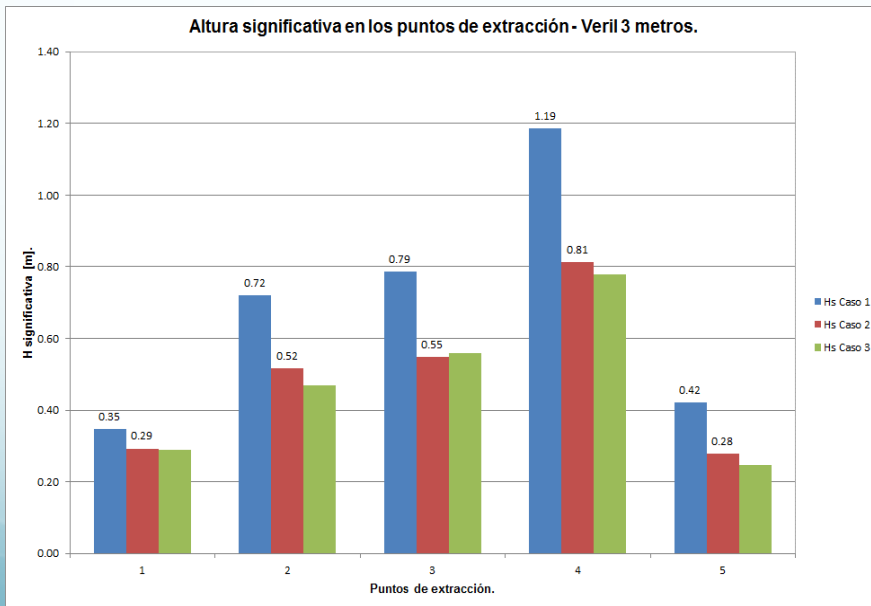
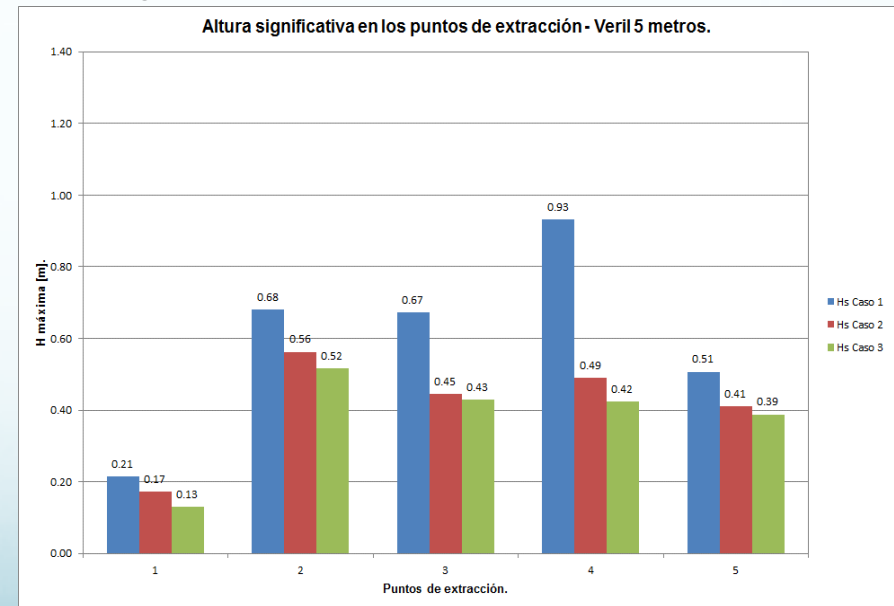


Figura 34: Alturas de ola, Veril 5 metros.





Caracterización del Medio: Proyecto de mejoramiento de playa.

- Evolución al corto plazo:
 - Análisis morfodinámico de la obra.
 - Casos de interés.

Figura 41: Escalas temporales.

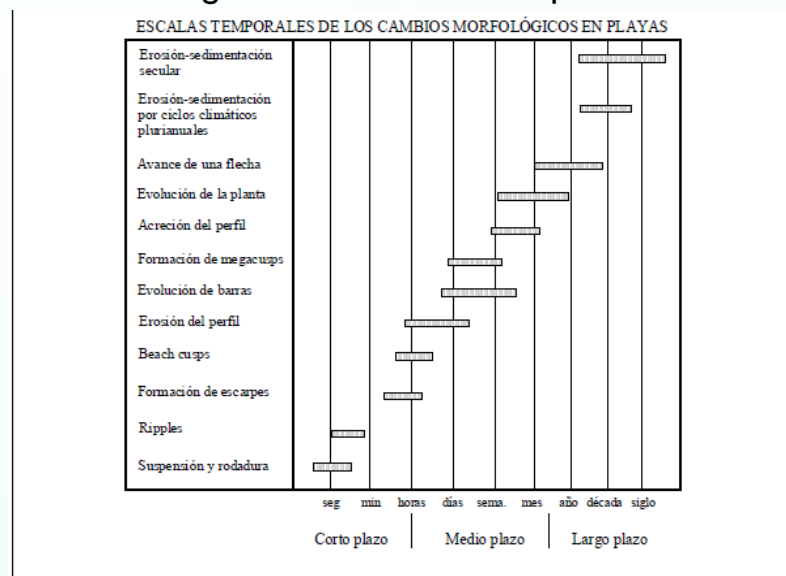


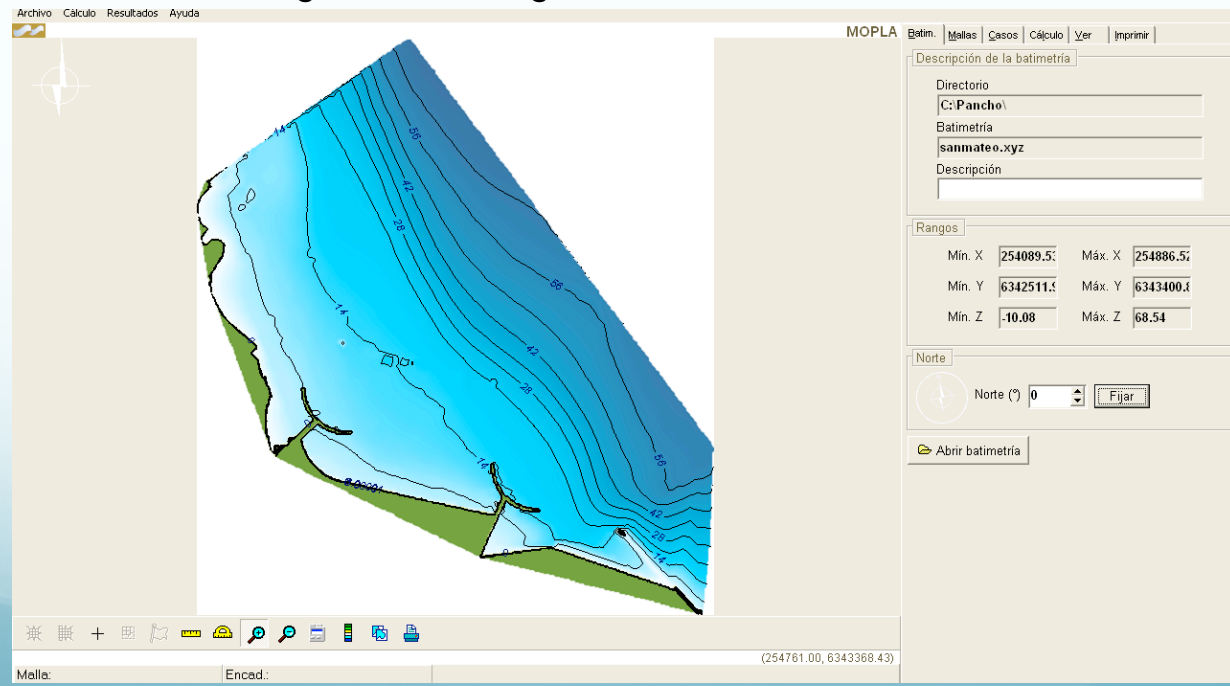
Tabla 11: Casos a modelar MOPLA.

Caso	Hs [m]	Tp [s]	Dir [°]
1	1.19	16	337.5
2	0.81	17	302
3	0.78	8	329

Caracterización del Medio: Proyecto de mejoramiento de playa.

- Evolución al corto plazo:
 - Modelación del comportamiento del layout.
 - Seteo de las propiedades del sistema.

Figura 42: Configuración del modelo.

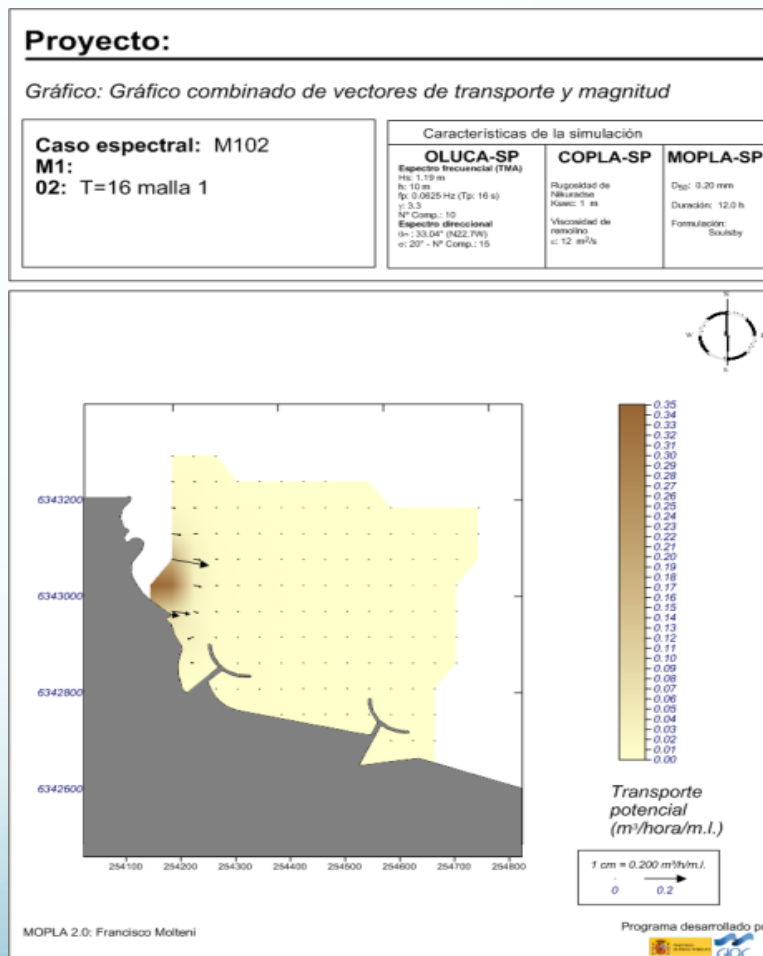




Caracterización del Medio: Proyecto de mejoramiento de playa.

- Evolución al corto plazo:

- Resultados caso 1.

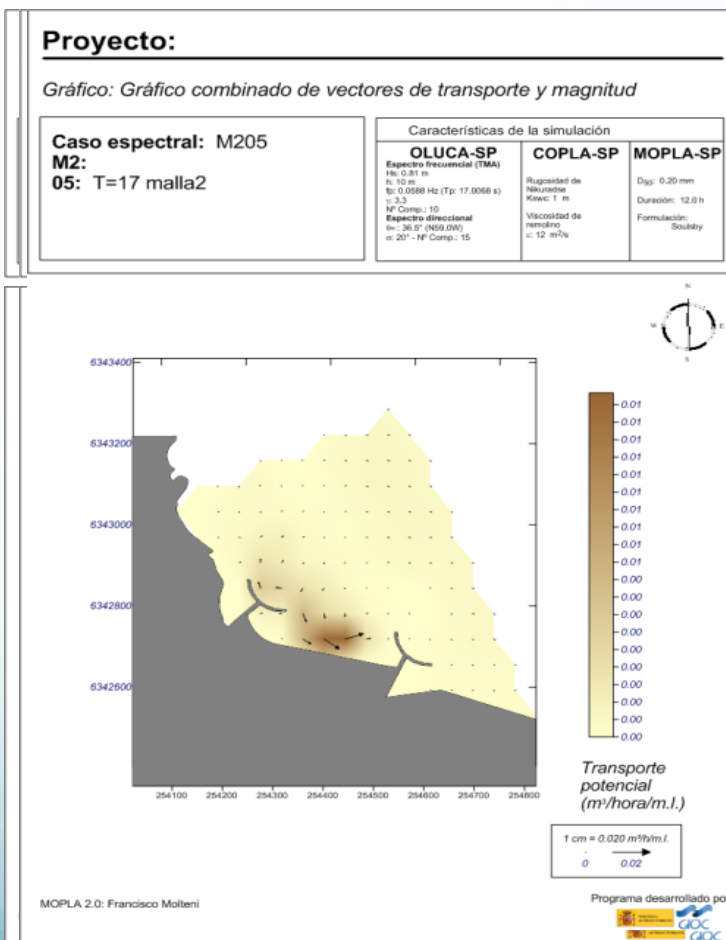




Caracterización del Medio: Proyecto de mejoramiento de playa.

- Evolución al corto plazo:

- Resultados caso 2.

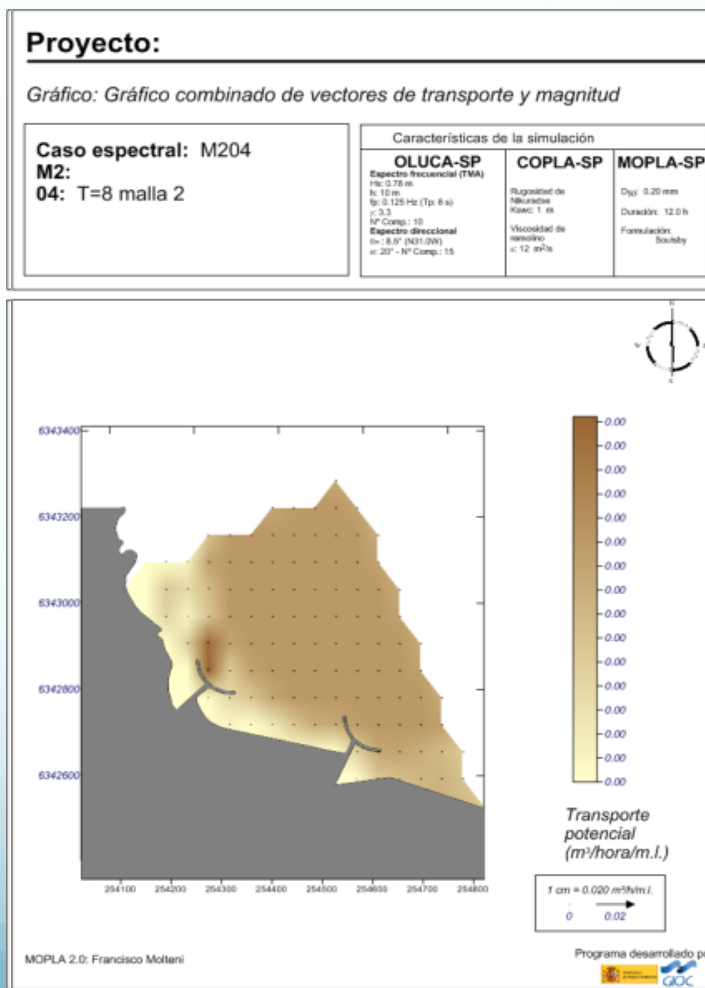




Caracterización del Medio: Proyecto de mejoramiento de playa.

- Evolución al corto plazo:

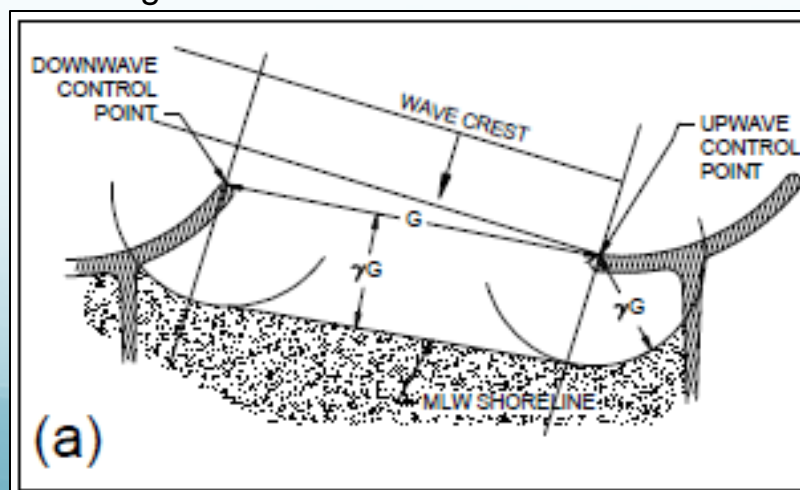
- Resultados caso 3.



Caracterización del Medio: Proyecto de mejoramiento de playa.

- Evolución al largo plazo: Planta de equilibrio.
 - El ángulo entre el frente de oleaje y la posición de las T, no debe superar los 25° .
 - El factor de crecimiento de la línea de costa g , no puede ser menor que 0,35 ni mayor de 0,65, donde 0,35 es el máximo crecimiento que tiene la línea de costa y 0,65 el mínimo.
 - Mientras menor sea la separación entre las T (G), mayor es la zona de solana.

Figura 43: Alternativa seleccionada.





Caracterización del Medio: Proyecto de mejoramiento de playa.

- Evolución al largo plazo: Planta de equilibrio.
 - Ángulo entre el frente de oleaje y las T es de 14°
 - $G=193.76$ [m].
 - $g=0.35$

Figura 44: Descripción del diseño.



Caracterización del Medio: Proyecto de mejoramiento de playa.

- Evolución al largo plazo: Planta de equilibrio.
 - Crecimiento obtenido

Figura 45: San Mateo antes y después del proyecto



Caracterización del Medio: Proyecto de mejoramiento de playa.

- Evolución al largo plazo: Perfil de equilibrio.

- Brunn (1954):

$$h(x) = Ax^{2/3}$$

- Dean (1987):

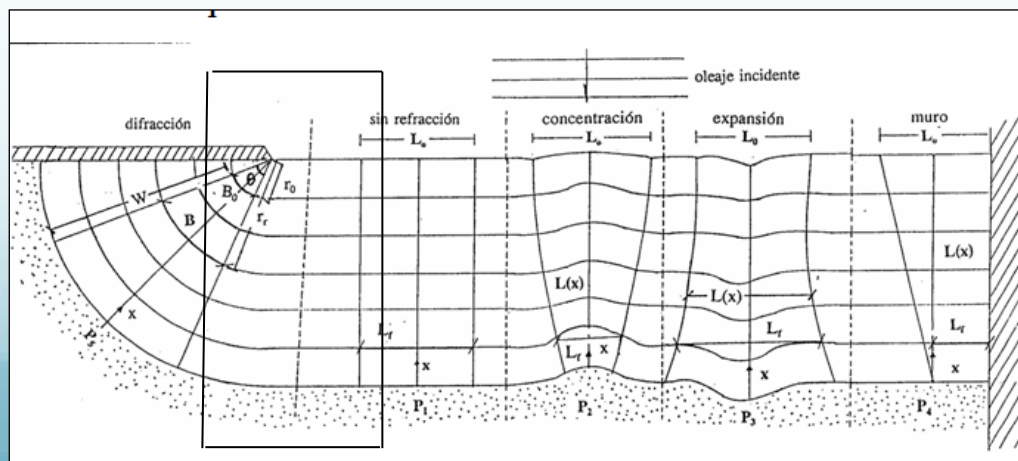
$$A = K\omega_s^{0.44}$$

$$K \approx 0.51$$

- Kriebel (1991):

$$A = 1.05\omega_s^{2/3}$$

Figura 46: Zonas de refracción-difracción.



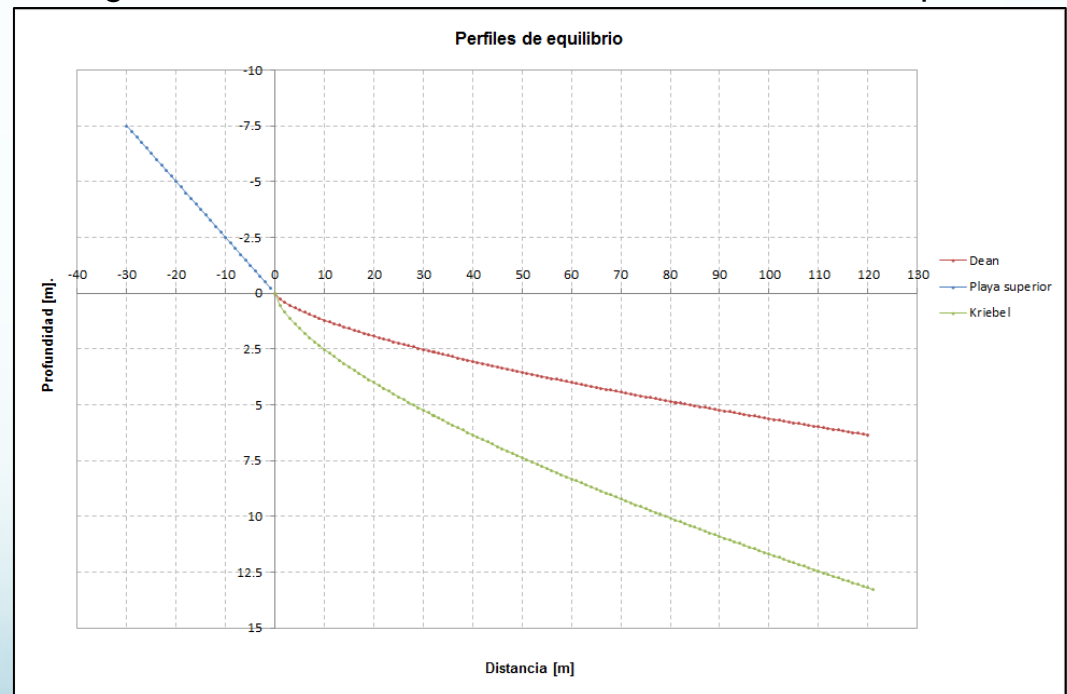
Caracterización del Medio: Proyecto de mejoramiento de playa.

- Evolución al largo plazo: Perfil de equilibrio.

Figura 47: Selección del perfil a analizar.



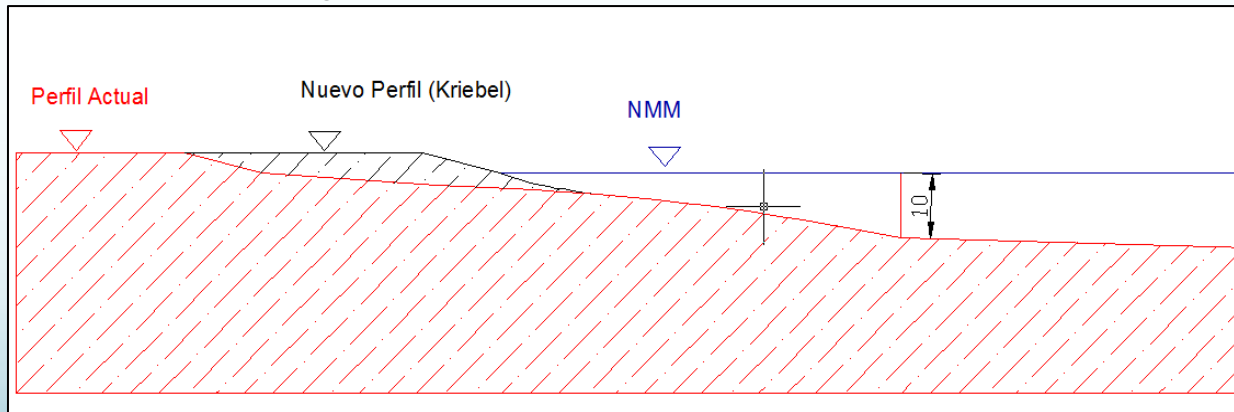
Figura 48: Perfiles obtenidos con formulaciones empíricas.



Caracterización del Medio: Proyecto de mejoramiento de playa.

- Evolución al largo plazo: Determinación del perfil de relleno.
 - Área de relleno

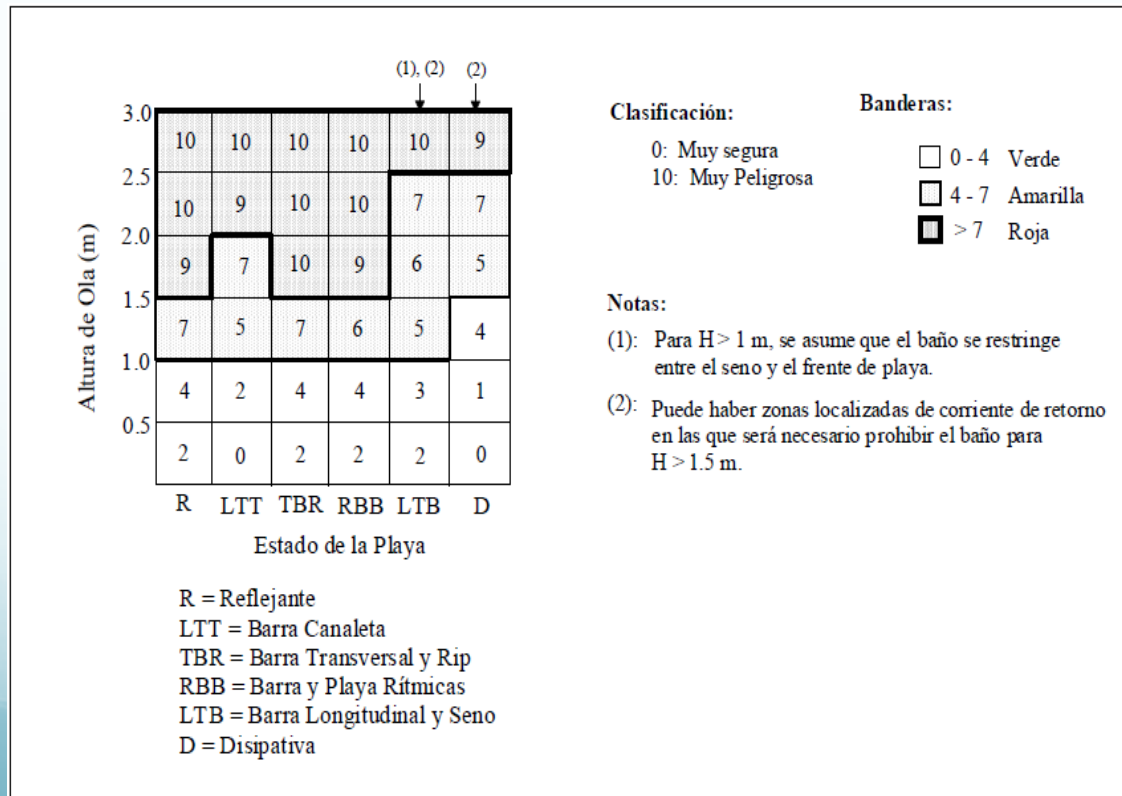
Figura 49: Obtención del perfil de la playa.



Caracterización del Medio: Proyecto de mejoramiento de playa.

- Evolución al largo plazo: Condición de baño seguro.

Figura 50: Estimación de condiciones para el baño seguro.





Caracterización del Medio: Proyecto de mejoramiento de playa.

- Evolución al largo plazo: Uso lúdico humano.

- Diámetro del sedimento.

$$R_{crit} = \frac{\sigma_{\phi R}}{\sigma_{\phi N}} \exp \left[-\frac{(M_{\phi N} - M_{\phi R})^2}{2(\sigma_{\phi N}^2 - \sigma_{\phi R}^2)} \right]$$

- Geometría de la playa.

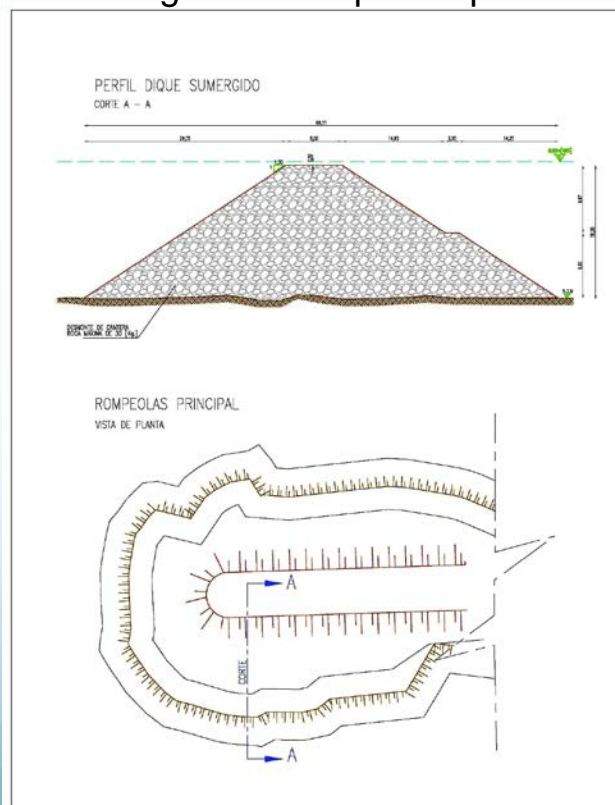
- Intensidad de uso.

Caracterización del Medio: Proyecto de mejoramiento de playa.

- Pre-diseño de las obras.

- Dique sumergido.
- Fish-tale izquierdo.
- Fish-tale derecho.

Figura 51: Dique disipante



Conclusiones:

- El layout propuesto no pierde su forma inicial.
- Se mejoró la condición del baño en el sector.
- Se mejoró el diámetro de sedimento.
- Aumento el área de solana.
- Se disminuyó la energía del oleaje.
- El perfil de equilibrio representa estabilidad de la playa.

Recomendaciones:

- Realizar campañas de medición in situ de corrientes, vientos, mareas, oleaje y sedimentos en verano e invierno, para así obtener información más acabada del lugar.
- Utilizar programas que modelen de mejor manera los fenómenos de refracción y difracción del oleaje.
- Realizar un análisis acabado de las estructuras a utilizar en el diseño.
- Realizar un seguimiento morfodinámico al sector en cuestión.