

MANEJO DE ARENAS CONTAMINADAS PARA EL DISEÑO DE LA PLAYA ARTIFICIAL EL SALITRE, TOCOPILLA



Mario Venenciano Vivanco

Enero 2014



UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO
INGENIERÍA CIVIL OCEÁNICA
MANEJO DE ARENAS CONTAMINADAS PARA EL DISEÑO DE LA
PLAYA ARTIFICIAL EL SALITRE, TOCOPILLA

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

ANÁLISIS DE CONDICIONES NATURALES

ANÁLISIS DE CALIDAD AMBIENTAL DE SEDIMENTOS

CONFIGURACIÓN DE PLAYA ARTIFICIAL

MANEJO DE ARENAS CONTAMINADAS

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



*UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO
INGENIERÍA CIVIL OCEÁNICA
MANEJO DE ARENAS CONTAMINADAS PARA EL DISEÑO DE LA
PLAYA ARTIFICIAL EL SALITRE, TOCOPILLA*

INTRODUCCIÓN



INTRODUCCIÓN

- Contaminación del borde costero con metales pesados y material particulado de origen minero.
- Construcción de la playa artificial Covadonga.
- Proyecto de diseño de la playa artificial El Salitre.
- El propósito del proyecto de título es analizar alternativas de manejo para las arenas contaminadas.





UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO
INGENIERÍA CIVIL OCEÁNICA
MANEJO DE ARENAS CONTAMINADAS PARA EL DISEÑO DE LA
PLAYA ARTIFICIAL EL SALITRE, TOCOPILLA

OBJETIVOS



OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

El objetivo general del presente Proyecto de Título, es realizar un estudio que contribuya al diseño de la playa artificial El Salitre, mediante el análisis técnico-económico de alternativas de manejo para los sedimentos contaminados que se encuentran en el sitio de estudio.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar las condiciones naturales del sector en estudio.
- Proponer y analizar la configuración de una playa artificial.
- Analizar la calidad ambiental de los sedimentos que se encuentran en la playa.
- Estimar los volúmenes de arenas contaminadas que se encuentran en el sitio de estudio y en el área directa del proyecto.
- Estudiar y analizar alternativas de manejo para las arenas contaminadas, con sus respectivos costos económicos.



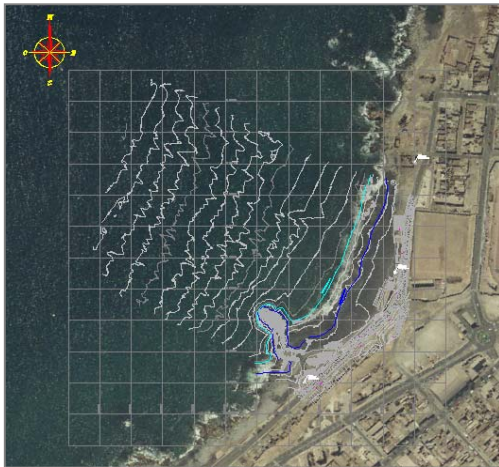
*UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO
INGENIERÍA CIVIL OCEÁNICA
MANEJO DE ARENAS CONTAMINADAS PARA EL DISEÑO DE LA
PLAYA ARTIFICIAL EL SALITRE, TOCOPILLA*

ANÁLISIS DE CONDICIONES NATURALES

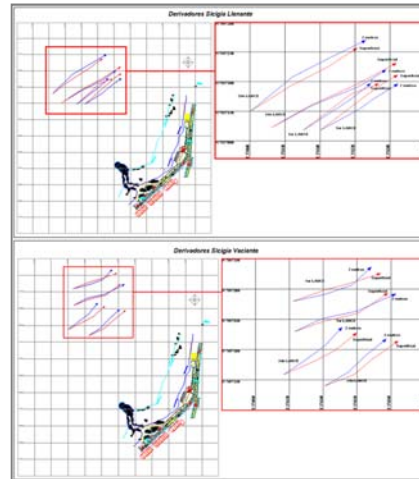


ANÁLISIS DE CONDICIONES NATURALES

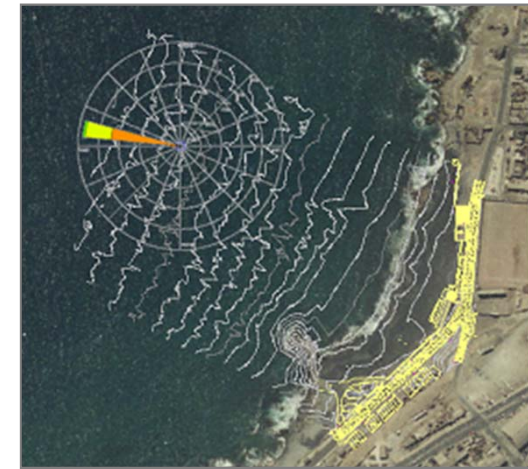
TOPO-BATIMETRÍA



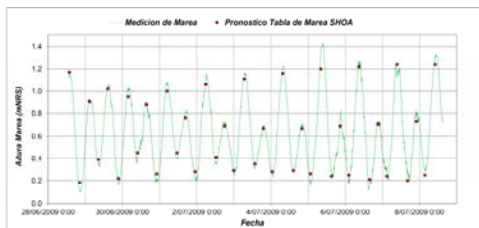
CORRIENTES



OLEAJE

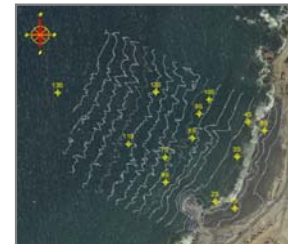


MAREA



Planos Maréales 2007, 2008 y 2009 Tocopilla	mNRS
Pleamar Máxima	1.55
Promedio Pleamares Mayores	1.13
Promedio Pleamares	0.96
Nivel Medio	0.62
Promedio Bajamares	0.28
Promedio Bajamares Menores	0.23
Bajamar Mínima (*)	-0.03 (*)
Nivel de Reducción de Sondas (NRS)	0

GRANULOMETRÍA



Estaciones	Tamaño Promedio (mm)	Tipo Sedimentario (Wentworth)
1S	0.35	Arena Mediana
2S	0.33	Arena Mediana
3S	0.39	Arena Mediana
4S	0.33	Arena Mediana
5S	0.32	Arena Mediana
6S	0.33	Arena Mediana
7S	0.34	Arena Mediana
8S	0.36	Arena Mediana
9S	0.35	Arena Mediana
10S	0.36	Arena Mediana
11S	0.35	Arena Mediana
12S	0.17	Arena Fina
13S	0.11	Arena Muy Fina



UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO
INGENIERÍA CIVIL OCEÁNICA
MANEJO DE ARENAS CONTAMINADAS PARA EL DISEÑO DE LA
PLAYA ARTIFICIAL EL SALITRE, TOCOPILLA

ANÁLISIS DE CALIDAD AMBIENTAL DE SEDIMENTOS



NORMATIVA Y CONCENTRACIONES DE METALES

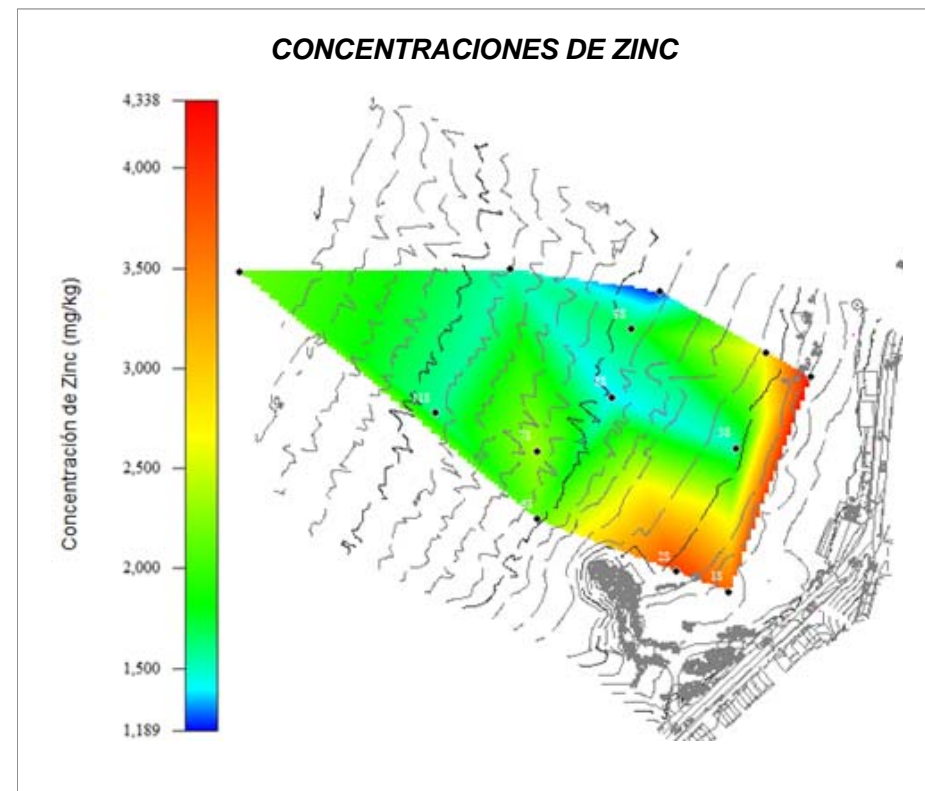
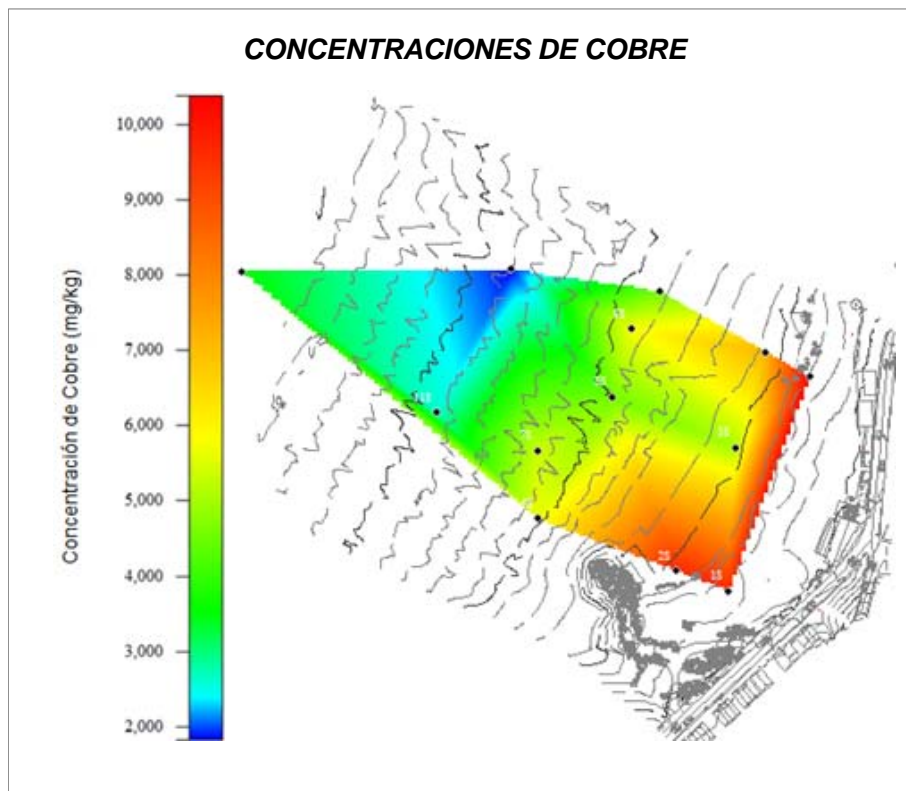
Parámetro	CEDEX (España) (mg/Kg)
Arsénico (As)	80
Cadmio (Cd)	0.5
Cromo total (Cr)	200
Cobre (Cu)	50
Mercurio (Hg)	0.3
Niquel (Ni)	-
Plomo (Pb)	60
Zinc (Zn)	250



Estación	Concentraciones de Metales Pesados (mg/Kg)									
	Nitrógeno	Fósforo	Arsénico	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Plomo	Zinc	
1S	94.1	245.4	2.3	0.2	9,624	21.3	0.1	34.9	3,655	
2S	90.7	256.0	1.9	0.4	9,692	23.3	0.1	30.7	3,972	
3S	85.2	6.1	2.7	0.2	5,023	21.0	0.1	18.0	1,517	
4S	80.5	223.0	2.8	0.4	7,128	8.8	0.1	24.1	2,744	
5S	55.2	111.5	3.0	0.5	10,390	10.2	0.1	32.3	4,338	
6S	54.5	19.7	3.1	0.3	5,674	21.3	0.1	15.8	2,114	
7S	54.7	17.1	2.2	0.2	5,347	25.2	0.1	16.0	2,335	
8S	54.0	12.8	2.6	0.3	4,558	19.8	0.2	10.2	1,384	
9S	54.0	18.0	2.5	0.3	5,753	20.8	0.2	10.0	1,711	
10S	54.5	4.6	2.2	0.4	4,520	17.0	0.2	3.1	1,189	
11S	71.1	24.9	2.9	<0.2	2,604	27.5	0.1	16.0	1,580	
12S	70.7	29.9	2.8	<0.2	1,823	30.2	0.1	17.3	1,536	
13S	67.0	5.4	2.8	0.2	3,557	20.8	0.1	23.0	2,184	
Promedio	68.2	75.0	2.6	0.3	5,823	20.6	0.1	19.3	2,328	
Máximo	94.1	256.0	3.1	0.5	10,390	30.2	0.2	34.9	4,338	
Mínimo	54.0	4.6	1.9	0.2	1,823	8.8	0.1	3.1	1,189	



DISTRIBUCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES





ORIGEN DE LA CONTAMINACIÓN



PELIGROSIDAD DE LAS ARENAS

Las arenas se clasificaron como residuos industriales **No Peligrosos**.



*UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO
INGENIERÍA CIVIL OCEÁNICA
MANEJO DE ARENAS CONTAMINADAS PARA EL DISEÑO DE LA
PLAYA ARTIFICIAL EL SALITRE, TOCOPILLA*

CONFIGURACIÓN DE PLAYA ARTIFICIAL



CONFIGURACIÓN DE PLAYA ARTIFICIAL



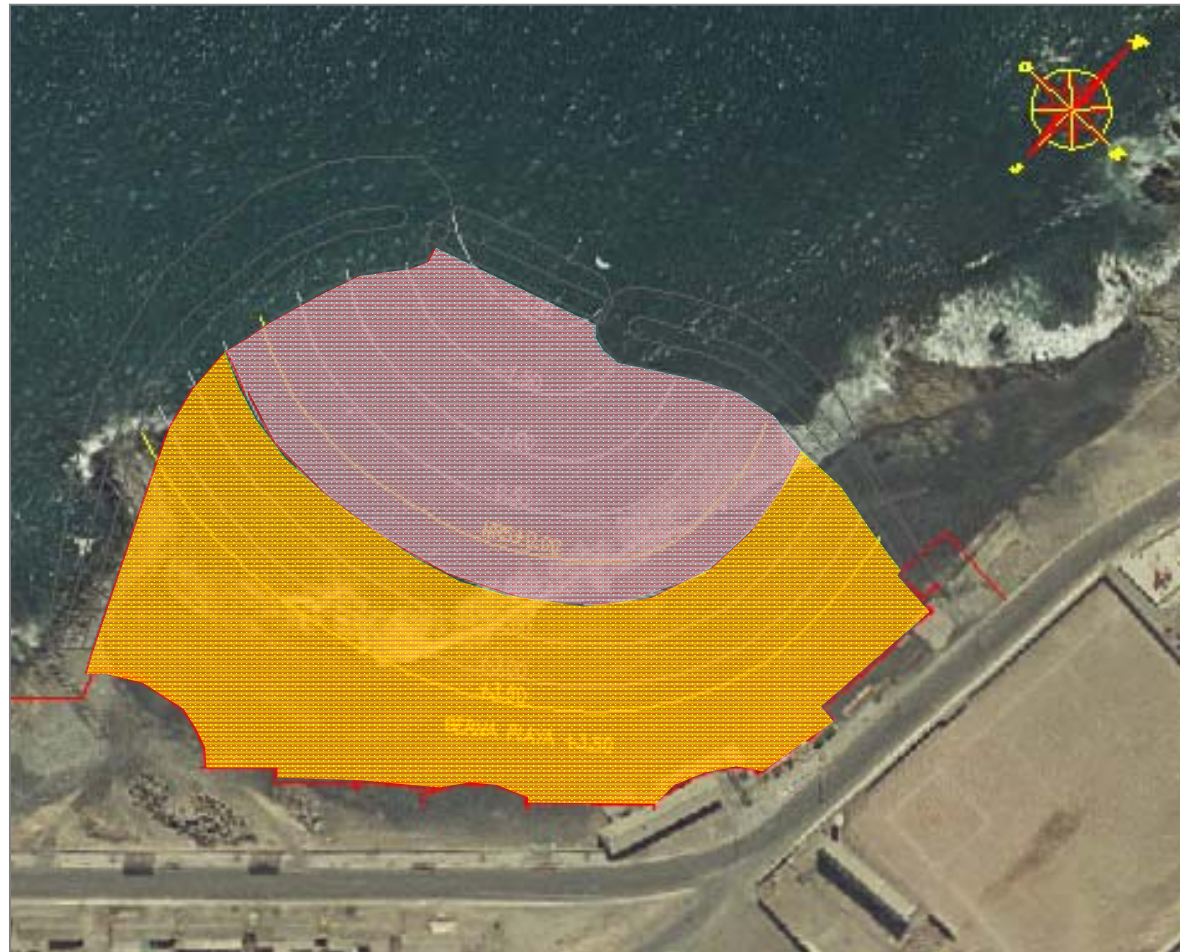
Parábola Hsu (1989)

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

Perfil de Equilibrio, Dean (1977)

$$h = Ax^{\frac{2}{3}}$$

- Longitud de Playa: **250 m.**
- Superficie Total **21.085 m²**
 - Superficie Agua: **10,356 m²**
 - Superficie Playa **16,729 m²**





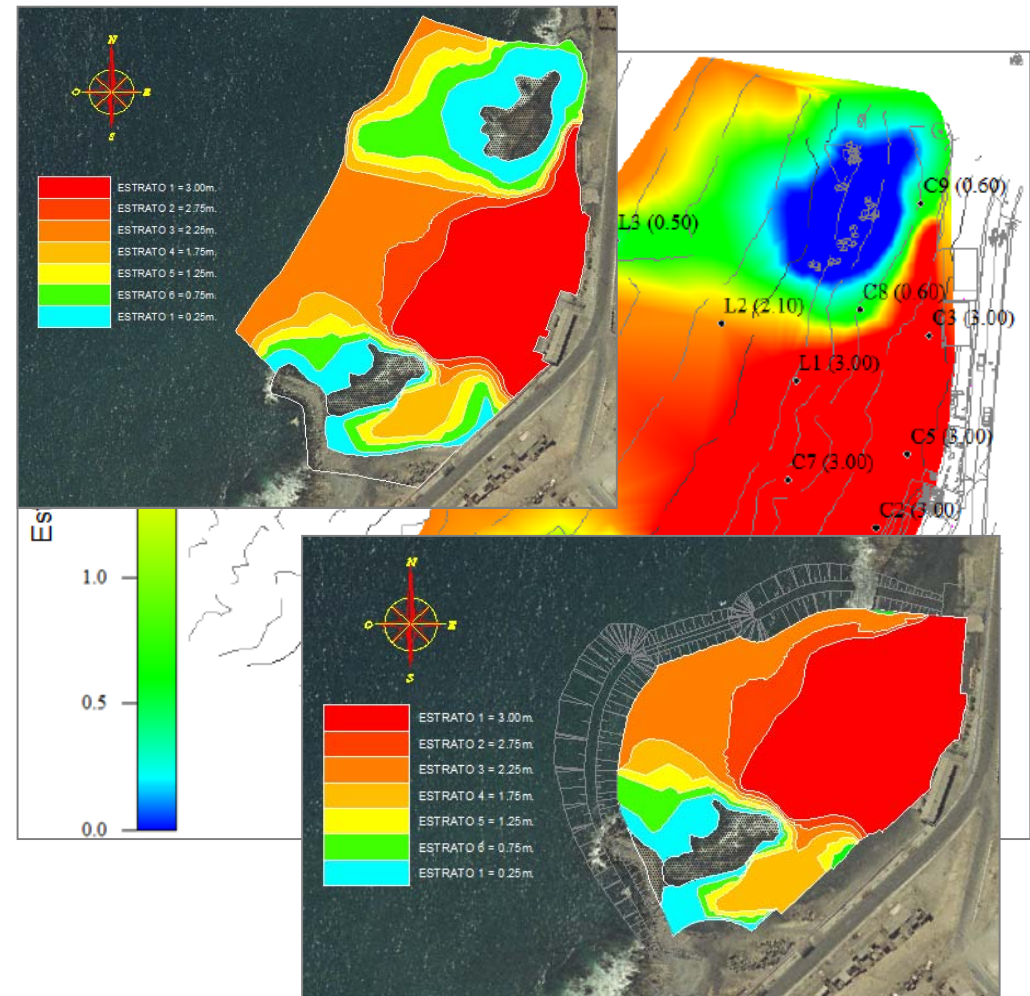
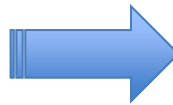
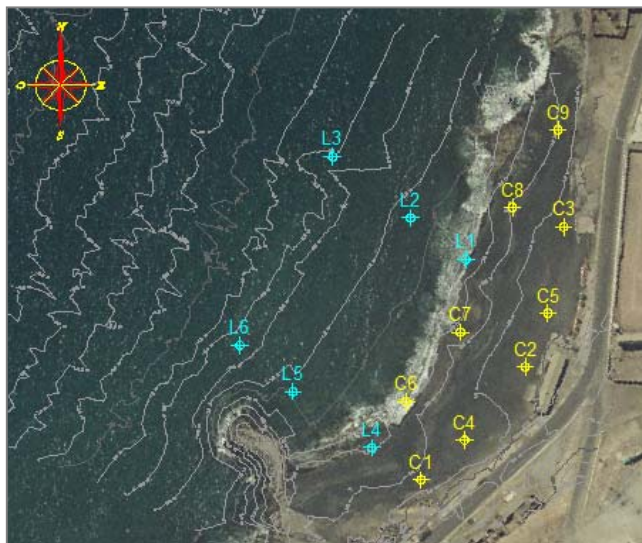
*UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO
INGENIERÍA CIVIL OCEÁNICA
MANEJO DE ARENAS CONTAMINADAS PARA EL DISEÑO DE LA
PLAYA ARTIFICIAL EL SALITRE, TOCOPILLA*

VOLÚMENES DE ARENAS A MANEJAR



VOLUMEN TOTAL DE ARENAS EN LA PLAYA Y EN PROYECTO

- Lanzas de Agua (6)
- Calicatas (9)

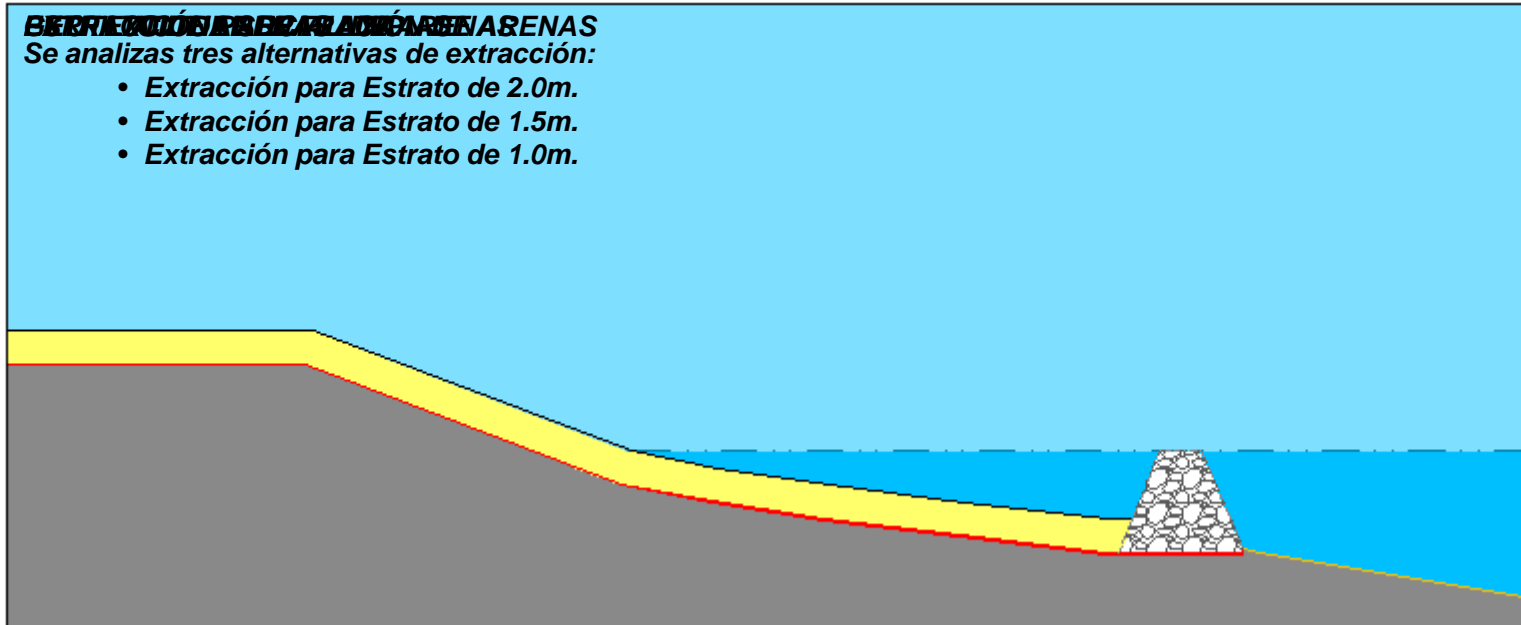




ALTERNATIVAS DE EXTRACCIÓN PARCIAL DE ARENAS

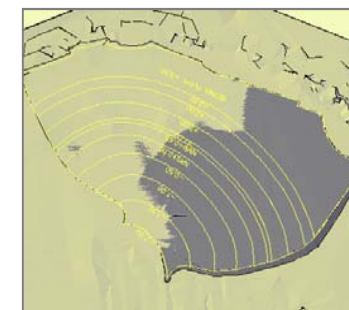
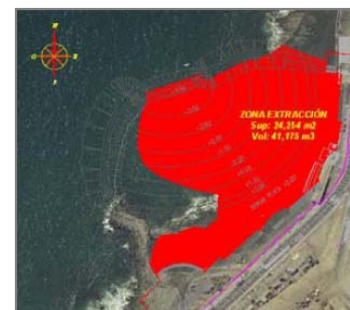
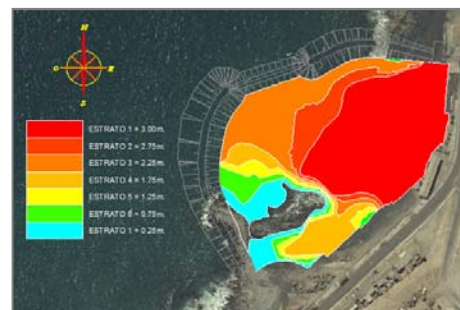
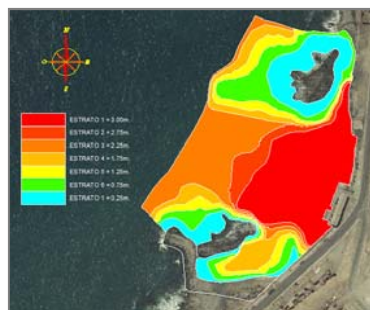
EXTRACCIÓN PARCIAL DE ARENAS
Se analizan tres alternativas de extracción:

- Extracción para Estrato de 2.0m.
- Extracción para Estrato de 1.5m.
- Extracción para Estrato de 1.0m.





VOLÚMENES DE ARENAS A MANEJAR



ALTERNATIVAS DE EXTRACCIÓN	VOLUMEN DE EXTRACCIÓN ARENAS (m ³)
Extracción Total	80,959
Extracción Total Proyecto	57,711
Extracción Estrato 2.0 m	53,587
Extracción Estrato 1.5 m	41,175
Extracción Estrato 1.0 m	29,928



*UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO
INGENIERÍA CIVIL OCEÁNICA
MANEJO DE ARENAS CONTAMINADAS PARA EL DISEÑO DE LA
PLAYA ARTIFICIAL EL SALITRE, TOCOPILLA*

MANEJO DE ARENAS CONTAMINADAS



ALTERNATIVAS DE MANEJO

Se analizan tres alternativas de manejo para las arenas contaminadas:

- Traslado de las arenas a una planta de tratamiento.
- Vertido de las arenas en el mar.
- Reutilización de arenas.

TRASLADO DE LAS ARENAS A UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

PLANTA HIDRONOR - ANTOFAGASTA





UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO

INGENIERÍA CIVIL OCEÁNICA

MANEJO DE ARENAS CONTAMINADAS PARA EL DISEÑO DE LA

PLAYA ARTIFICIAL EL SALITRE, TOCOPILLA

VERTIDO DE LAS ARENAS EN EL MAR



Tipo	<i>Draga de succión en marcha y estacionaria.</i>
Año de Construcción	<i>1975 en Valdivia</i>
Dimensiones	<i>Eslora 51,1 m Manga 12,0 m Puntal 4,6 m Calado máximo 4,0 m</i>
Propulsión	<i>Dos motores diesel Caterpillar de 565 HP a 1.500 RPM</i>
Planta de Energía	<i>Dos generadores principales de 150 KVA cada uno. Un generador auxiliar o de puerto de 50 KVA.</i>
Acomodaciones	<i>Completas para 20 personas</i>
Dotación de Trabajo	<i>17 oficiales y tripulantes</i>
Puerto Base	<i>Valdivia</i>



MANEJO DE ARENAS CONTAMINADAS

CLASIFICACION DE ARENAS PARA VERTIDO EN EL MAR

Rangos de clasificación de material dragado (CEDEX 1994)

CEDEX 1994 (España)	Concentraciones (mg/Kg)						
	Arsénico	Cadmio	Cobre	Zinc	Mercurio	Plomo	Cromo
Categoría I	< 80	< 1	< 100	< 500	< 0.6	< 120	< 200
Categoría II	80 - 200	1 - 5	100 - 400	500 - 3000	0.6 - 3	120 - 600	200 - 1000
Categoría III a	200 - 1600	5 - 40	400 - 3200	3000 - 24000	3 - 24	600 - 4800	1000 - 8000
Categoría III b	> 1600	> 40	> 3200	> 24000	> 24	> 4800	> 8000

- **Categoría I:** Los materiales de esta categoría podrán verterse libremente en el mar.
- **Categoría II:** Se podrán verter de al mar de forma contralada.
- **Categoría III:** No se recomienda realizar el vertido en el mar. Caso contrario el material deberá ser aislado de las aguas marinas (aislamiento blando ó duro).

	Concentraciones de Metales Pesados (mg/Kg)						
	Arsénico	Cadmio	Cobre	Zinc	Mercurio	Plomo	Cromo
Concentraciones Medias	2.6	0.3	5,823	2,328	0.1	19.3	20.6
Concentraciones Máximas	3.1	0.5	10,390	4,338	0.2	34.9	30.2



CATEGORÍA III



**NO SERÍA RECOMENDABLE
REALIZAR EL VERTIDO EN EL MAR**



ALTERNATIVAS DE REUTILIZACIÓN DE LAS ARENAS





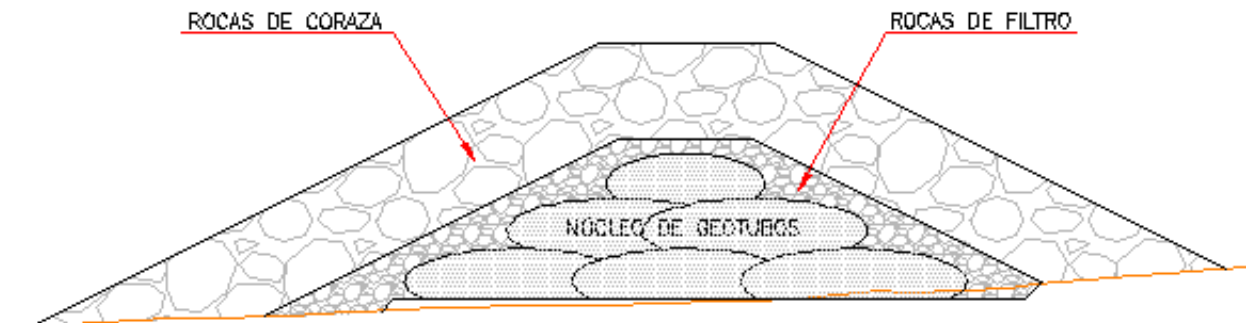
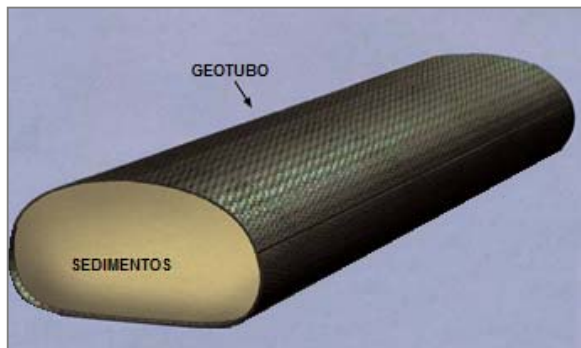
REUTILIZACIÓN DE ARENAS EN NIVELACIÓN DE LA PLAYA



ALTERNATIVA DE EXTRACCIÓN	SUPERFICIE NIVELACION (m ²)	VOLUMEN NIVELACIÓN (m ³)
Extracción Estrato 2.0 m	3,841	3,818
Extracción Estrato 1.5 m	5,422	6,356
Extracción Estrato 1.0 m	7,978	10,088



REUTILIZACIÓN DE ARENAS EN ROMPEOLAS CON NÚCLEO DE GEOTUBOS



FUNCIONAMIENTO DE LOS GEOTUBOS

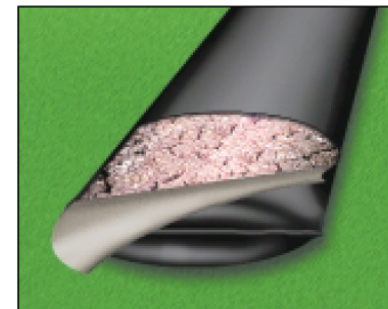
CONFINAMIENTO



DRENAJE



CONSOLIDACION





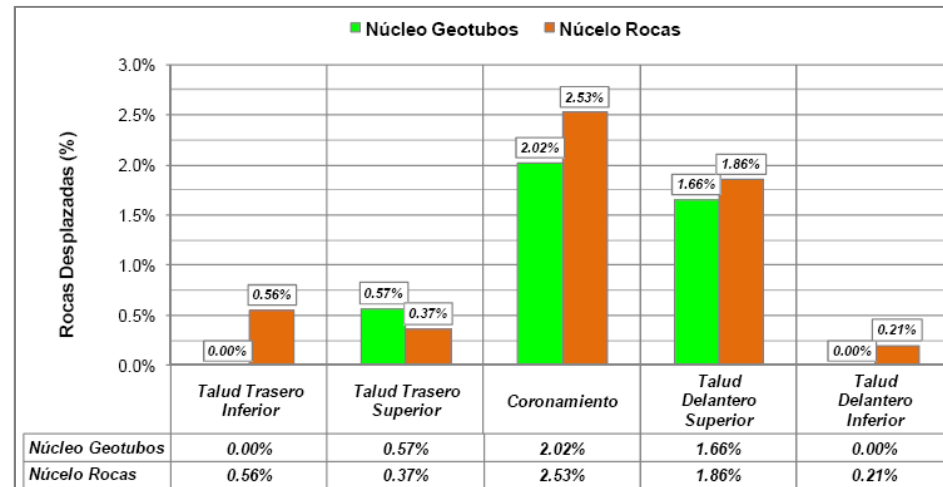
MODELACIÓN FÍSICA DE SECCIÓN DE ROMPEOLAS



MODELACIÓN ROMPEOLAS
 NÚCLEO DE GEOTUBOS



MODELACIÓN ROMPEOLAS
 NÚCLEO DE ROCAS





VOLUMEN DE ARENAS A REUTILIZAR EN LOS GEOTUBOS

Rompeolas Norte	Cantidad	Longitud (m)	Volumen (m ³ /m)	Volumen Arenas (m ³)
Geotubo GT1000, C 10.70m, L=20 m	1	20	5.93	119
Geotubo GT1000, C 10.70m, L=22 m	2	22	5.93	261
Geotubo GT1000, C 10.70m, L=25 m	2	25	3.00	150
Geotubo GT1000, C 10.70m, L=25 m	4	25	5.93	593
Geotubo GT1000, C 13.70m, L=25 m	1	25	10.97	274
Volumen Total de Arenas - Rompeolas Norte				1,397

Rompeolas Sur	Cantidad	Longitud (m)	Volumen (m ³ /m)	Volumen Arenas (m ³)
Geotubo Gt1000, C 15.20m, L=20 m	1	20	10.86	217
Geotubo Gt1000, C 15.20m, L=25 m	1	25	10.86	272
Geotubo Gt1000, C 12.20m, L=20 m	11	20	7.05	1,551
Geotubo Gt1000, C 12.20m, L=25 m	5	25	7.05	881
Geotubo Gt1000, C 16.8m, L=20 m	10	20	11.48	2,296
Geotubo Gt1000, C 16.8m, L=25 m	5	25	11.48	1,435
Geotubo Gt1000, C 16.8m, L=22 m	2	22	11.48	505
Geotubo Gt1000, C 16.8m, L=24 m	3	24	11.48	827
Volumen Total de Arenas - Rompeolas Sur				7,984

- Volumen Total Arenas Reutilizadas en Geotubos: **9,381 m³**



REUTILIZACIÓN DE ARENAS EN RELLENO DE OBRAS TERRESTRES



- Se podrían reutilizar **6,056 m³** de arenas como material de relleno.



AMPLIACIÓN DE OBRAS EN PROYECTO MINVU

TOTAL REUTILIZADO: 5,719 m³



SECTOR SUR: REUTILIZA 3,589 m³



SECTOR SUR: REUTILIZAR 2,130 m³



DISTRIBUCIÓN DE ARENAS REUTILIZADAS



ALTERNATIVA DE EXTRACCIÓN	EXTRACCIÓN (m ³)	ALTERNATIVAS DE REUTILIZACIÓN (m ³)				TOTAL ARENAS REUTILIZADAS (m ³)
		NIVELACIÓN PLAYA	NÚCLEO ROMPEOLAS (GEOTUBOS)	RELLENO OBRAS TERRESTRES	RELLENO OBRAS AMPLIACIÓN OBRAS TERRESTRES	
Extracción Total	80,959	0	9,381	6,056	5,719	21,156
Extracción Total Proyecto	57,711	0	9,381	6,056	5,719	21,156
Extracción Estrato 2.0 m	53,587	3,818	9,381	6,056	5,719	24,974
Extracción Estrato 1.5 m	41,175	6,356	9,381	6,056	5,719	27,512
Extracción Estrato 1.0 m	29,928	10,088	9,381	6,056	5,719	31,244



COSTOS ECONÓMICOS DE ALTERNATIVAS DE MANEJO

COSTOS TRASLADO DE LAS ARENAS A UNA PLANTA DE TRATAMIENTO



ALTERNATIVA	VOL. EXTRACCIÓN (m ³)	COSTO TOTAL
Extracción Total	80,959	\$ 11,918,864,939
Extracción Total Proyecto	57,711	\$ 8,496,271,131
Extracción Estrato 2.0 m	53,587	\$ 7,889,131,727
Extracción Estrato 1.5 m	41,175	\$ 6,061,824,675
Extracción Estrato 1.0 m	29,928	\$ 4,406,030,088

COSTOS VERTIDO DE LAS ARENAS EN EL MAR



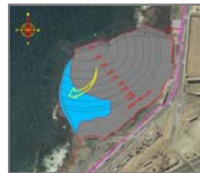
ALTERNATIVA	VOL. EXTRACCIÓN (m ³)	COSTO TOTAL
Extracción Total	80,959	\$ 1,986,740,000
Extracción Total Proyecto	57,711	\$ 1,543,640,000
Extracción Estrato 2.0 m	53,587	\$ 1,395,940,000
Extracción Estrato 1.5 m	41,175	\$ 1,100,540,000
Extracción Estrato 1.0 m	29,928	\$ 952,840,000



COSTOS ECONÓMICOS DE ALTERNATIVAS DE MANEJO

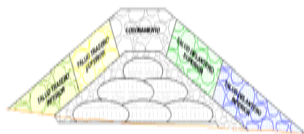
COSTOS REUTILIZACIÓN DE ARENAS

• NIVELACIÓN DE LA PLAYA

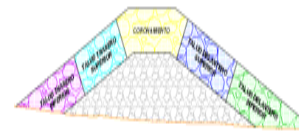


ALTERNATIVA DE EXTRACCIÓN	VOL. NIVELACIÓN (M ³)	COSTO TOTAL
Extracción Estrato 2.0 m	3,818	\$79,497,000
Extracción Estrato 1.5 m	6,356	\$95,860,524
Extracción Estrato 1.0 m	10,088	\$120,040,152

• NÚCLEOS DE ROMPEOLAS



ROMPEOLAS CON NÚCLEO DE GOTUBOS	COSTO
ROMPEOLAS NORTE	
Núcleo	\$115,266,700
Coraza	\$419,935,000
<i>Subtotal</i>	\$535,201,700
ROMPEOLAS SUR	
Núcleo	\$463,196,600
Coraza	\$1,191,378,000
<i>Subtotal</i>	\$1,654,574,600
COSTO TOTAL	\$2,189,776,300



ROMPEOLAS CON NÚCLEO DE ROCAS	COSTO
ROMPEOLAS NORTE	
Núcleo	\$99,640,000
Coraza	\$419,935,000
<i>Subtotal</i>	\$519,575,000
ROMPEOLAS SUR	
Núcleo	\$477,614,000
Coraza	\$1,191,378,000
<i>Subtotal</i>	\$1,668,992,000
COSTO TOTAL	\$2,188,567,000

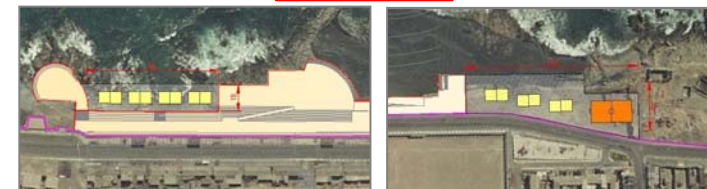
• RELLENO DE OBRAS TERRESTRES



RELLENO DE OBRAS TERRESTRES	COSTO TOTAL
ARENAS DE PLAYA	\$41,672,000
RELLENO GRANULAR	\$56,320,800

AMPLIACIÓN OBRAS TERRESTRES

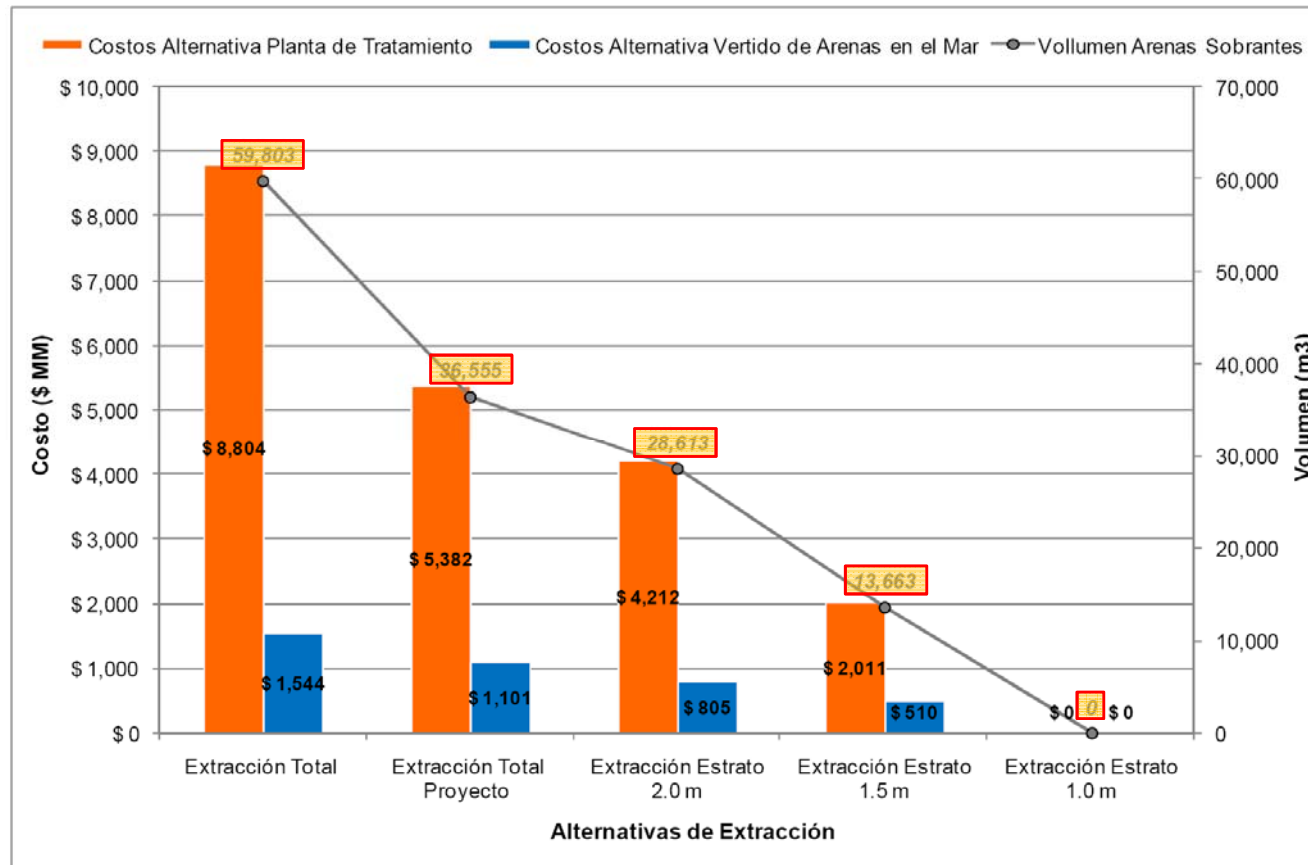
\$ 578,463,300



PLANTA TRATAMIENO: **\$ 842 MM**
 VERTIDO EN EL MAR: **\$ 558 MM**

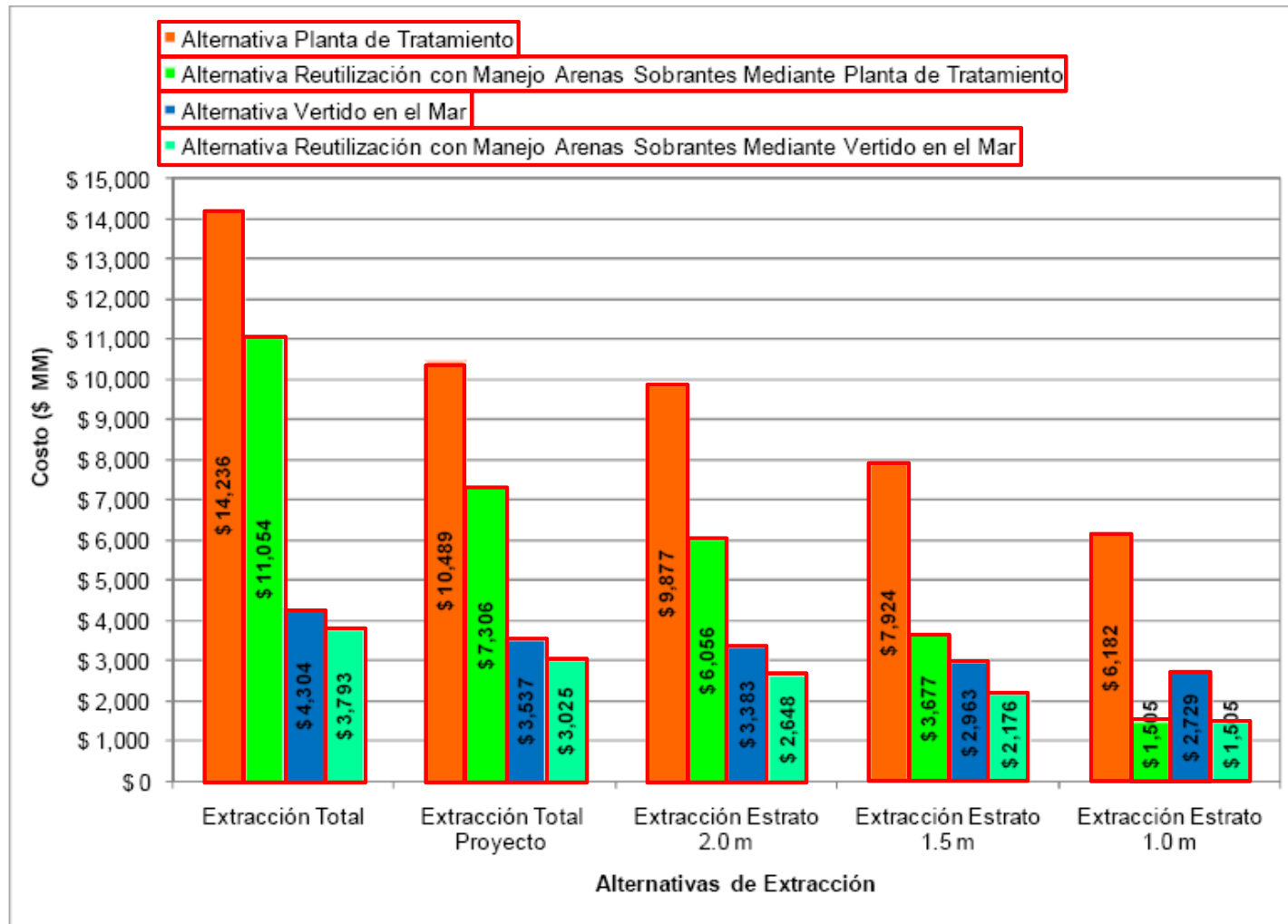


ARENAS SOBRAINTES EN ALTERNATIVAS DE REUTILIZACIÓN





COMPARACIÓN DE COSTOS TOTALES





UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO
INGENIERÍA CIVIL OCEÁNICA
MANEJO DE ARENAS CONTAMINADAS PARA EL DISEÑO DE LA
PLAYA ARTIFICIAL EL SALITRE, TOCOPILLA

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONDICIONES NATURALES:

- De acuerdo a la revisión de condiciones naturales del sector de estudio, se puede concluir que éstas no son perjudiciales para el desarrollo de un proyecto de playa artificial.

CALIDAD AMBIENTAL DE SEDIMENTOS:

- Elevadas concentraciones de metales pesados (Cobre y Zinc).
- Revisión bibliográfica y análisis de imágenes aéreas, se detecta que el borde costero ha sido alterado con metales pesados.
- Arenas se clasificaron como Residuos Industriales No Peligrosos.

VOLUMEN DE ARENAS CONTAMINADAS:

- Volumen total de arenas contaminadas que se encuentran en la playa es de aproximadamente **81,000 m³**.
- Volumen de arenas que se interviene con el proyecto es de aproximadamente **58,000 m³**.
- Se analizaron alternativas de extracción parcial de arenas, las cuales forman estratos de arenas limpias, permitiendo disminuir los volúmenes y costos por el manejo. Los volúmenes para estas alternativas varían desde **30,000 m³** hasta **53,500 m³**.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

ALTERNATIVAS DE MANEJO DE ARENAS CONTAMINADAS:

- **Alternativa de Trasladar las Arenas a una Planta de Tratamiento:**
 - Técnicamente factible y ejecutable.
 - Se evita contaminar un sector para habilitarlo como botadero.
 - Presenta costos elevados.
- **Alternativa de Verter las Arenas en el Mar:**
 - Presenta menores costos que la alternativa de planta de tratamiento.
 - Por las elevadas concentraciones de metales pesados, no sería recomendable verter las arenas en el mar.
- **Alternativa de Reutilización de Arenas:**
 - Se analizaron tres alternativas para reutilizar las arenas.
 - Los rompeolas con geotubos no presentarían problemas de estabilidad, Además los costos serían similares a un rompeolas con núcleo de roca.
 - Al utilizar las arenas como material de relleno, las obras de contención no presentarían problemas de estabilidad, y se genera un ahorro para ambos proyectos. Además resulta más económico ampliar las obras del paseo costero, duplicando el volumen reutilizado, que trasladar las arenas a una planta de tratamiento o verterlas en el mar.
 - Con las alternativas analizadas, dependiendo del volumen de extracción a considerar, se podrían reutilizar desde **21,000 m³** hasta **31,000 m³**.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES GENERALES PARA EL PROYECTO DE PLAYA ARTIFICIAL:

- Realizar el manejo de arenas contaminadas mediante la aplicación de las alternativas de reutilización de arenas.
- Seleccionar la alternativa de extracción que mejor cumpla los requerimientos ambientales y económicos del proyecto.
- Para el manejo de las arenas sobrantes se recomienda analizar la alternativa que mejor cumpla con los requerimientos del proyecto.
- Todas las alternativas analizadas consideran la extracción o movilización de las arenas existentes, y de acuerdo a la legislación ambiental vigente, se deben realizar los estudios ambientales correspondientes.
- Para la reutilización óptima de las arenas como material de relleno de las obras terrestres, se recomienda que el proyecto del MINVU se materialice de forma simultánea al proyecto de playa artificial.
- Realizar un análisis de calidad ambiental para las arenas limpias que serán depositadas en la nueva playa artificial. Además se recomienda realizar un seguimiento a la calidad ambiental de estas arenas.

RECOMENDACIONES PARA FUTURAS INVESTIGACIONES:

- Faenas Mineras para Recuperación de Metales Pesados
- Mezcla de Arenas Limpias con Arenas Contaminadas.
- Generación de Hormigones con Arenas Contaminadas.
- Estudiar el Comportamiento de Playas sobre Arenas Confinadas con Geotextil.



UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO
INGENIERÍA CIVIL OCEÁNICA
MANEJO DE ARENAS CONTAMINADAS PARA EL DISEÑO DE LA
PLAYA ARTIFICIAL EL SALITRE, TOCOPILLA

GRACIAS

