



La movilidad  
es de todos

Mintransporte

Presentación del resultado y conclusiones del estudio realizado por el INVÍAS,

**para el mejoramiento de la infraestructura y navegación del canal de acceso al Puerto de Barranquilla.**

/// Mayo 7 de 2020



Consultor:



CIARQUELET S.A.S



inypsa



Interventor:



# EQUIPO DE TRABAJO

- ▶ Ing. DANNY ORLANDO NARANJO L. Director de Estudios y Diseños
- ▶ Ing. ALLEN BATEMAN PINZÓN Especialista en Modelación Hidráulica de Ríos
- ▶ Ing. ANDRÉS FERNANDO OSORIO Especialista en Modelación Hidráulica de Costas
- ▶ Ing. EDDIE LORA YEPES Especialista en Obras en Enrocado
- ▶ Ing. JOSÉ MANUEL ALVAREZ Especialista en Geotecnia
- ▶ Ing. JUAN MANUEL MORENO Especialista en Geomorfología
- ▶ Ing. ORLANDO CASTAÑEDA Especialista en Ciencias Náuticas
- ▶ Ing. WALTER GARCÍA BLANDÓN Experto en Hidráulica de Ríos
- ▶ Ing. MARTHA CONRADO Especialista Ambiental

# EQUIPO DE TRABAJO

- ▶ Ing. KEVIN BERMUDEZ Residente de Campo
- ▶ Bio. YOLIMA MARTINEZ Bióloga Marina
- ▶ FELISA ARIZALA Profesional en Gestión Social
- ▶ WILHELM LONDOÑO Arqueólogo
- ▶ ASTRID BLANCO ALARCÓN Especialista en Evaluación Económica de Proyectos
- ▶ Ing. ALEXANDER GÓMEZ Especialista en Estructuras de Obras Fluviales
- ▶ Ing. WAYNE SOTELO Experto en Dragados
- ▶ Ing. CATALINA BLANCO A. Profesional en SIG

# ÍNDICE



1. Estudio de Transporte

2. Diseño Canal Navegable

3. Obras Fluviales

4. Casos de Éxito  
Paneles Sumergidos

5. Hidráulica de Costas

6. Obras en Enrocado

7. Presupuesto

8. Análisis Económico y Evaluación de Proyectos (Análisis Costo – Beneficio)



# ***1. Estudio de Transporte***

## ***Fases del Estudio de Transporte***

- FASE 1: Análisis de la situación actual de la ZPBq y resumen de estudios realizados. Realización de entrevistas.
- FASE 2: Caracterización de las tendencias actuales del transporte marítimo y los puertos. Incremento del tamaño de los buques y economías de escala.
- FASE 3: Análisis del tráfico de buques y cargas para la ZPBq en los últimos años
- FASE 4: Generación de posibles escenarios de desarrollo de la ZPBq. Benchmarking con Cartagena y Sta. Marta.
- FASE 5: Definición de los buques de diseño por tipo.

# ***Análisis del tráfico de buques y cargas para la ZPBq en los últimos años***

Se tomaron estadísticas de arribo de buques de la DIMAR de 2013 al primer semestre de 2018 (7030 arribos)

Intervalos máximos significativos de las dimensiones principales de los buques		
<b>Tipo de buque</b>	<b>Manga (m)</b>	<b>Eslora (m)</b>
Tanquero	manga entre 30 y 34,99	Eslora entre 180 y 189 m
Granelero	manga entre 30 y 34,99	Eslora de 190 m o más
Portacontenedor	manga entre 26 y 29,99	Eslora entre 170 y 179 m
Carguero Gral. / Multipropósito	manga entre 30 y 34,99	Eslora entre 180 y 189 m
Valor mayor significativo	32,26	190

# Resultados del análisis de mensajes de seguridad de la DIMAR (del 18 de Abril de 2015 a 10 de Enero de 2018 – 998 días)

Calados autorizados mayores a 10 m										
Aprov. del calado autorizado (calado bq / calado aut)	C. Grales. y Multi - propósito	%	Porta - contenedores	%	Graneleros	%	Tanqueros	%	Todos los buques	%
0,9 o más	25	20,8%	17	14,2%	69	57,5%	9	7,5%	120	11,7%
entre 0,7 y 0,89	147	27,5%	160	29,9%	127	23,7%	101	18,9%	535	52,1%
entre 0,5 y 0,69	115	37,6%	75	24,5%	71	23,2%	45	14,7%	306	29,8%
menos de 0,5	51	78,5%	2	3,1%	8	12,3%	4	6,2%	65	6,3%

Calados autorizados de 9,5 m a 9,9 m										
Aprov. del calado autorizado (calado bq / calado aut)	C. Grales. y Multi - propósito	%	Porta – contenedores	%	Granele-ros	%	Tanqueros	%	Todos los buques	%
0,9 o más	36	18,8%	62	32,3%	79	41,1%	15	7,8%	192	14,9%
entre 0,7 y 0,89	125	17,1%	277	37,9%	182	24,9%	146	20,0%	730	56,7%
entre 0,5 y 0,69	51	17,5%	94	32,3%	94	32,3%	52	17,9%	291	22,6%
menos de 0,5	29	39,2%	14	18,9%	29	39,2%	2	2,7%	74	5,7%

# BUQUE DE DISEÑO - PROPUESTA PARA LA ZPBQ

El estudio de Transporte refleja la necesidad operativa de la ZPBq y recomienda como buque de diseño para un escenario de profundización, un granelero Supramax, que supera la profundidad disponible que permite el Río en condición de equilibrio. Los resultados de las modelaciones hidráulicas establecen que la profundidad disponible que se puede garantizar está en el orden de 40 pies o 12 metros, por consiguiente las condiciones naturales del río, restringen la profundidad del canal navegable y definen tamaño de buque de diseño.

Tipos de Buques	Especificaciones de los buques					Valores Maximos Significativos	
	Eslora (m)	Manga (m)	Calado Verano (m)	Peso Muerto (t)	Clasificación	Calado Zarpe / Arribo (m)	Cant. De Carga Transp. (t)
Tanqueros	183	27,3	11,2	37200	Medium range tanker (oil/chemical)	9,0	22.000
Graneleros	200	32,3	12,7	59000	<u>Supramax bulk carrier</u>	9,7	36.750
Portacontenedores	170	25	9,85	21000	<u>Feeder</u>	9,2	No es representativo
Cargueros Grales. - Multipropósito	180	28	10,5	36000		9,3	27.000



## ***2. Diseño Canal Navegable***

# ÁREA OBJETIVO DEL ESTUDIO

El área objeto del estudio corresponde al canal de acceso al puerto Marítimo y Fluvial de Barranquilla, que para efectos del presente estudio, se ha catalogado en los siguientes tramos de atención:

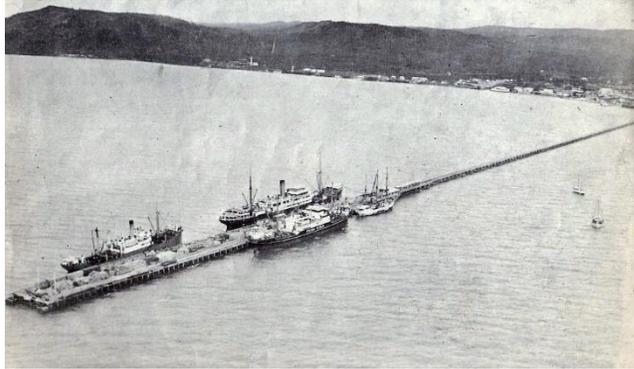
- Tramo -1: Longitud aprox de 4 Km. desde el mar hasta la desembocadura del río Magdalena.
- Tramo -2: Longitud aprox de 22 Km. desde la Desembocadura en Bocas de Ceniza hasta Puente Pumarejo.
- Tramo -3: Longitud aprox de 16 Km. desde el Puente Pumarejo hasta PIMSA.
- Tramo -4: Longitud aprox de 10 Km. desde PIMSA hasta el sector localizado 10 Km. aguas arriba.

## DEPARTAMENTO DEL ATLANTICO



# ESTUDIOS DE TRANSPORTE y BUQUE DE DISEÑO

## DEPARTAMENTO DEL ATLANTICO



MUELLE PUERTO COLOMBIA  
(1893)



TERMINAL PUBLICO DE BARRANQUILLA  
(1936)



PROYECTO PUERTO EN BOCAS DE CENIZA  
(2025?)



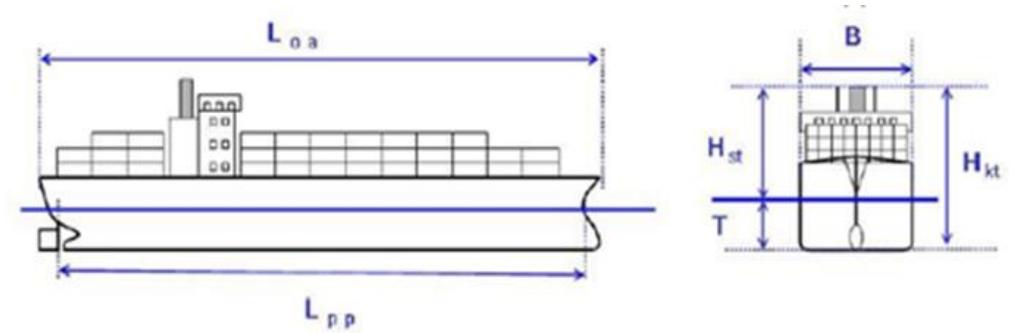
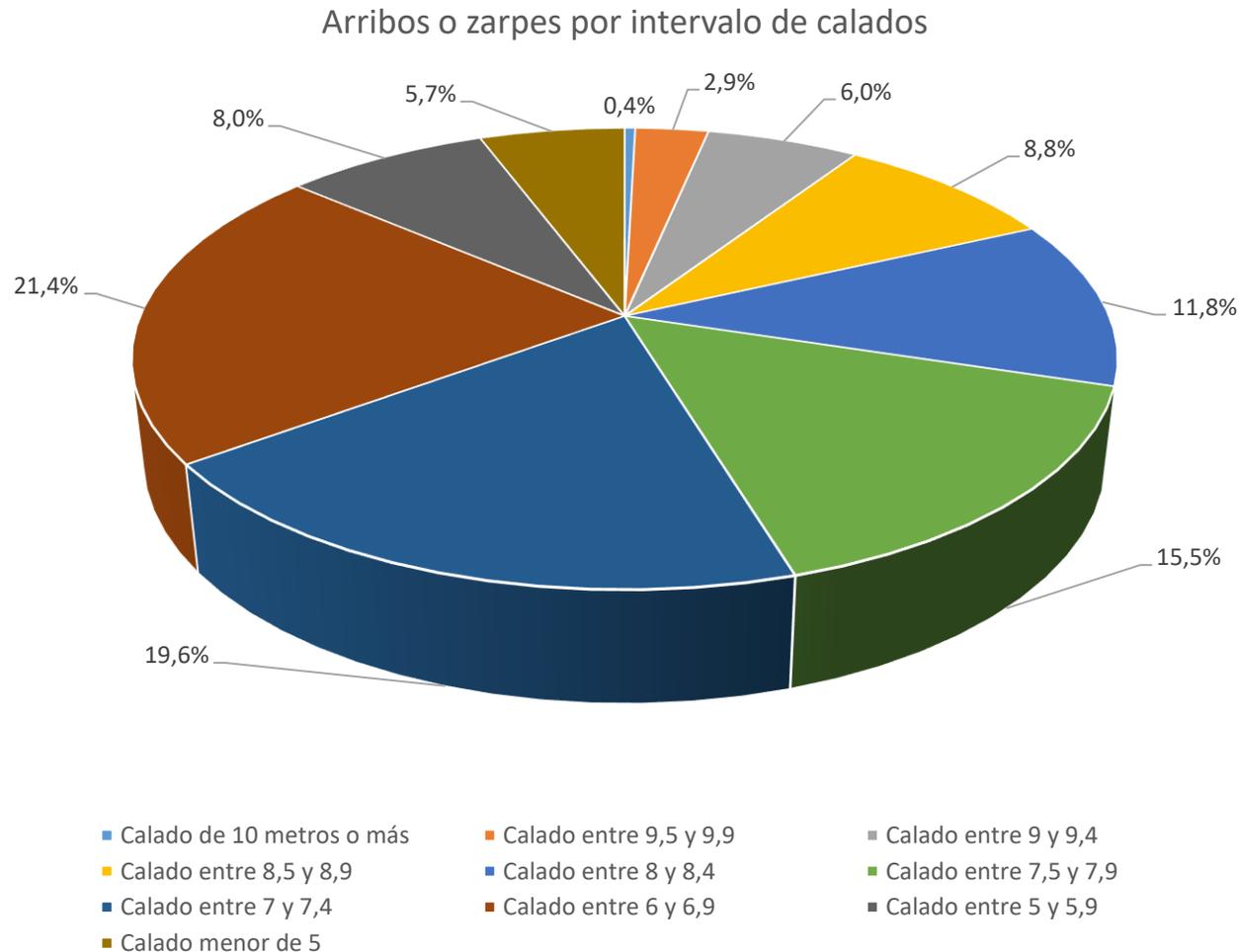
EFFECTO CANAL DE PANAMA  
(2016)

El canal de acceso al Puerto de Barranquilla debe atender a su vocación industrial y capacidad portuaria; la ZPBq consume el 70% del total de su carga, esto para atender la industria asociada a su hinterland y garantizar el suministro de commodities agrícolas para la seguridad alimentaria del norte del país, la industria metalmecánica y exportación de carbón.

Los puertos de la costa Caribe Colombiana (Bahías de Cartagena y Santa Marta) ya se han especializado y mantienen una tendencia de competencia intraportuaria que confirma esta vocación para la ZPBq.

# BUQUE DE DISEÑO

## Análisis de Resultados de Bases de datos de la DIMAR.



Con base en el análisis de crecimiento de tamaños de buque, composición de flota, tendencias tecnológicas de construcción de buques y las **restricciones de calado**; considerados en los estudios de transporte y demanda de carga en el Puerto de Barranquilla, se estableció el “BUQUE TIPO DE DISEÑO”, para las condiciones actuales y escenario de profundización.

El 85% de buques que recalca en la ZPBq tiene calados menores a 9,0 m. y mayores a 5,0 m.

Las restricciones de calado comprometen la competitividad del Puerto de Barranquilla (fletes, costos portuarios, costo final importados)

# BUQUE DE DISEÑO

## Crterios de diseo para la ZPBq. – Recomendaciones PIANC (condiciones crticas)

Tipos de Buques	Especificaciones de los buques					Valores Maximos Significativos	
	Eslora (m)	Manga (m)	Calado Verano (m)	Peso Muerto (t)	Clasificacin	Calado Zarpe / Arribo (m)	Cant. De Carga Transp. (t)
Tanqueros	183	27,3	11,2	37200	Medium range tanker (oil/chemical)	9,0	22.000
Graneleros	200	32,3	12,7	59000	Supramax bulk carrier	9,7	36.750
Portacontenedores	170	25	9,85	21000	Feeder	9,2	No es representativo
Cargueros Grales. - Multipropósito	180	28	10,5	36000		9,3	27.000

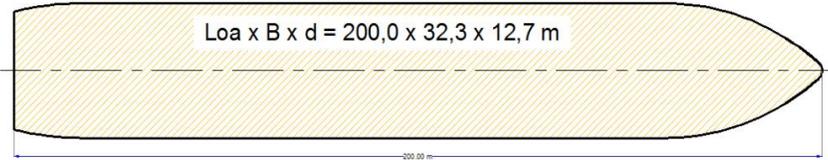
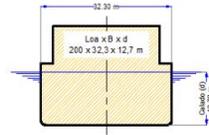
Los resultados de las modelaciones hidrúlicas establecen que la profundidad disponible que se puede garantizar está en el orden de 40 pies o 12 metros, por consiguiente las condiciones hidrúlicas del río, restringen la profundidad del canal navegable, en el thalweg.

El estudio de Transporte refleja la necesidad operativa de la ZPBq, recomienda como buque de diseo (el de mayor tamaño que ingresa al puerto) un granelero Supramax, cuyas exigencias de calado a plena carga, superan la profundidad disponible que permite el Río en condición de equilibrio hidrúlico.

La DIMAR de acuerdo con las condiciones de profundidad del canal, condiciona los permisos de arribo y zarpe.

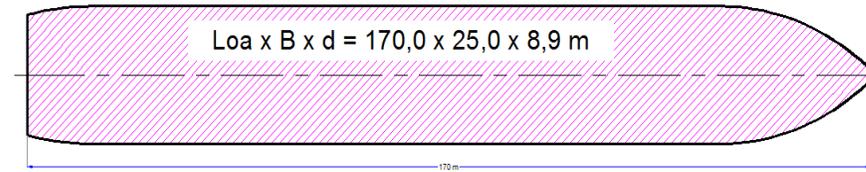
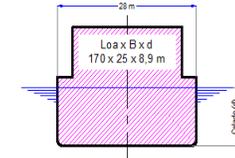
# BUQUE TIPO PARA DISEÑO DE CANAL DE ACCESO

SUPRAMAX BULK CARRIER  
GRANELERO  
Loa x B x d = 200,0 x 32,3 x 12,7 m  
Desplazamiento ( $\Delta$ ) = 59.000,0 Ton



SUPRAMAX BULK CARRIER	GRANELERO	
Length Overall (Loa)	200.0	m
Beam (B)	32.3	m
Draught max. (d) "Agua Salada"	12.70	m
Draught max. (d) "Agua Dulce"	13.02	m
Peso Muerto (t). DWT Máximo.	59000	Ton
Calado Zarpe/ Arribo	9.7	m
DWT para Calado Zarpe/ Arribo	36750	Ton

FEEDER  
PORTACONTENEDORES  
Loa x B x d = 170,0 x 25,0 x 8,9 m  
Desplazamiento ( $\Delta$ ) = 21.000,0 Ton



FEEDER	PORTACONTENEDORES	
Length Overall (Loa)	170.0	m
Beam (B)	25.0	m
Draught max. (d) "Agua Salada"	9.85	m
Draught max. (d) "Agua Dulce"	10.10	m
Peso Muerto (t). DWT Máximo.	21000	Ton
Calado Zarpe/ Arribo	9.7	m
DWT para Calado Zarpe/ Arribo	19614	Ton

Ante las limitantes de orden hidráulico que no permiten la profundización, el Canal de Acceso "virtual" se diseña para el tránsito seguro de un Buque con CALADO MAXIMO de -9,7 metros (32 fts).

Las mismas condiciones de profundidad se pueden garantizar en el paso del nuevo Pumarejo y hasta el sector de PIMSA.

# PROFUNDIDAD DE DISEÑO CANAL DE ACCESO.

## CANAL OCEÁNICO (Km -3,0 a Km 0,0)

		CANAL OCEANICO			
		TANKER	SUPRAMAX BULK CARRIER	FEEDER	BULK CARRIER
Factores Relacionados con el Buque "Ship related Factors"	Static draught including trim and list (Calado Estatico)	9.85	9.77	9.92	9.87
	UNDERKEEL CLEARANCE (UKC) La distancia libre bajo la quilla en metros (m)	2.66	2.82	2.58	2.68
	Allowance for static draught uncertainties (Tolerancia por incertidumbre Calado estatico)	0	0	0	0
	Change in water density (Agua Salada)	0	0	0	0
	Squat, Incl, Dynamic trim. CB =0.68, restricted (Trimado Dinamico)	0.90	0.95	0.78	0.88
	Dynamic Heel due to wind and turning (Escora Dinamica Viento) 1°	0.24	0.28	0.22	0.24
	Wave response allowance (Oleaje)	0.90	0.90	0.90	0.90
	Distribucion de Cargas	0.25	0.27	0.23	0.24
	Por Corriente 1°	0.24	0.28	0.22	0.24
	Cambio de Rumbo 1°	0.24	0.28	0.22	0.24
	Net UKC (minimum margin 0,5m-1 m)				
	Seguridad y Control de Navegacion	0.50	0.50	0.50	0.50
	Margen de Seguridad	0.30	0.30	0.30	0.30
	Factores Relacionados con el Fondo "Bottom related Factors"	Allowance for bed level uncertainties	Imprecisiones de Batimetria		0.20 m
Allowance for bottom changes between dredging		Deposito de Sedimentos		0.20 m	
Dredging Execution Tolerance "Tolerancia Dragado"		Tolerancia Dragado 0,2-0,5m		0.30 m	
<b>Total</b>				<b>0.70 m</b>	
TOTAL PROFUNDIDAD		13.22	13.29	13.20	13.25
<b>CHANNEL DEPTH (Profundidad Canal Oceanico, Q = 3000 m3/s)</b>		<b>13.29 m</b>			

**Relación (Profundidad / Calado) = 1,35**

## CANAL TRANSICIÓN (Km 0,0 a Km 4,0)

		CANAL TRANSICION			
		TANKER	SUPRAMAX BULK CARRIER	FEEDER	BULK CARRIER
Factores Relacionados con el Buque "Ship related Factors"	Static draught including trim and list (Calado Estatico)	9.85	9.77	9.92	9.87
	UNDERKEEL CLEARANCE (UKC) La distancia libre bajo la quilla en metros (m)	2.56	2.69	2.49	2.56
	Allowance for static draught uncertainties (Tolerancia por incertidumbre Calado estatico)	0	0	0	0
	Change in water density (Agua dulce y Agua salada)	0.14	0.16	0.12	0.13
	Squat, Incl, Dynamic trim. CB =0.68, restricted (Trimado Dinamico)	0.90	0.95	0.78	0.88
	Dynamic Heel due to wind and turning (Escora Dinamica Viento)	0.24	0.28	0.22	0.24
	Wave response allowance (Oleaje)	0.90	0.90	0.90	0.90
	Distribucion de Cargas	0.25	0.27	0.23	0.24
	Por Corriente	0.24	0.28	0.22	0.24
	Cambio de Rumbo	0	0	0	0
	Net UKC (minimum margin 0,5m-1 m)				
	Seguridad y Control de Navegacion	0.50	0.50	0.50	0.50
	Margen de Seguridad	0.30	0.30	0.30	0.30
	Factores Relacionados con el Fondo "Bottom related Factors"	Allowance for bed level uncertainties	Imprecisiones de Batimetria		0.20 m
Allowance for bottom changes between dredging		Deposito de Sedimentos		0.20 m	
Dredging Execution Tolerance "Tolerancia Dragado"		Tolerancia Dragado 0,2-0,5m		0.30 m	
<b>Total</b>				<b>0.70 m</b>	
TOTAL PROFUNDIDAD		13.12	13.16	13.10	13.14
<b>CHANNEL DEPTH (Profundidad Canal Transicion, Q = 3000 m3/s)</b>		<b>13.16 m</b>			

**Relación (Profundidad / Calado) = 1,33**

Siguiendo metodología y recomendaciones PIANC, se realizó evaluación de requerimientos de profundidad para los tramos de canal con diferentes condiciones mete omarinas, para los tipos de buque considerados en el diseño y condiciones de calado.

El requerimiento de profundidad de canal, para condición de calado máximo de los buques, supera la profundidad disponible en el sector crítico de Bocas de Ceniza.

# ANCHO Y PROFUNDIDAD DE DISEÑO DEL CANAL

## CANAL INTERIOR (Km 4,0 a Km 22,0)

Factores Relacionados con el Buque "Ship related Factors"	CANAL INTERIOR			
	TANKER	SUPRAMAX BULK CARRIER	FEEDER	BULK CARRIER
Static draught including trim and list (Calado Estatico)	9.85	9.77	9.92	9.87
UNDERKEEL CLEARANCE (UKC) La distancia libre bajo la quilla en metros (m)	1.45	1.53	1.38	1.43
Allowance for static draught uncertainties (Tolerancia por incertidumbre Calado estatico)	0	0	0	0
Change in water density (Cambio por Densidad Agua)	0.28	0.32	0.25	0.26
Squat, Incl, Dynamic trim. CB =0.68, restricted (Trimado Dinamico)	0.68	0.84	0.59	0.67
Dynamic Heel due to wind and turning (Escora Dinamica Viento)	0.12	0.14	0.11	0.12
Wave response allowance (Sin Oleaje)	0	0	0	0
Distribucion de Cargas	0.25	0.27	0.23	0.24
Por Corriente (Sin corrientes transversales)	0	0	0	0
Cambio de Rumbo	0	0	0	0
Net UKC (minimum margin 0,5m-1 m)				
Seguridad y Control de Navegacion	0.50	0.50	0.50	0.50
Margen de Seguridad	0.30	0.30	0.30	0.30
Factores Relacionados con el Fondo "Bottom related Factors"	Allowance for bed level uncertainties	Imprecisiones de Batimetria		0.20 m
	Allowance for bottom changes between dredging	Deposito de Sedimentos		0.20 m
	Dredging Execution Tolerance "Tolerancia Dragado"	Tolerancia Dragado 0,2-0,5m		0.30 m
	<b>Total</b>			<b>0.70 m</b>
TOTAL PROFUNDIDAD	12.00	12.00	12.00	12.00
<b>CHANNEL DEPTH (Profundidad Canal interior, Q = 3000 m3/s)</b>			12.00 m	

**Relación (Profundidad / Calado) = 1,22**

## ALTERNATIVAS DE ANCHO DEL CANAL

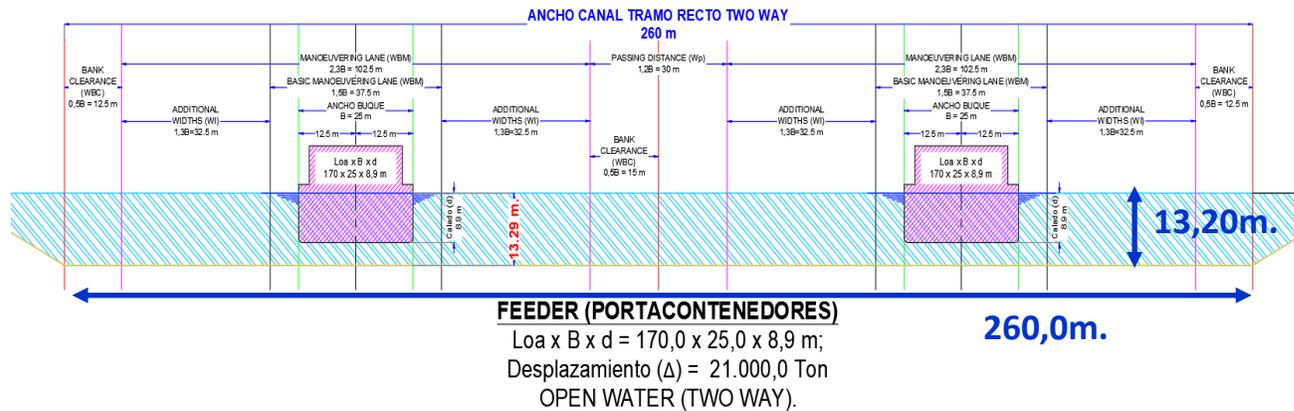
BUQUES DE DISEÑO	SUPRAMAX BULK CARRIER	FEEDER
Canal Oceanico (Open Water) k(-3) - k0		
Ancho Canal Una Direccion	164.7	127.5
Ancho Canal Dos Direcciones	335.9	260.0
Canal Trasicion k0 - k4		
Ancho Canal Una Direccion	132.4	102.5
Ancho Canal Dos Direcciones	264.9	205.0
Canal Interior (Protected Water) k4-k22		
Ancho Canal Una Direccion	113.1	87.5
Ancho Canal Dos Direcciones	226.1	175.0
Canal Interior (Protected Water) k4 -k34		
Ancho Canal Una Direccion		87.5
Ancho Canal Dos Direcciones		175.0

El ancho de solera del canal de aproximación será B= 260 metros, en el tramo de transición será B= 205 metros y en el canal interior será B= 175 metros, que habilita tráfico seguro en doble vía para buques tipo Feeder o en una sola vía para buques tipo Supramax. El ancho de solera del canal interior (km 22 a Km 34) será B= 88 metros; una vía para buques tipo Feeder.

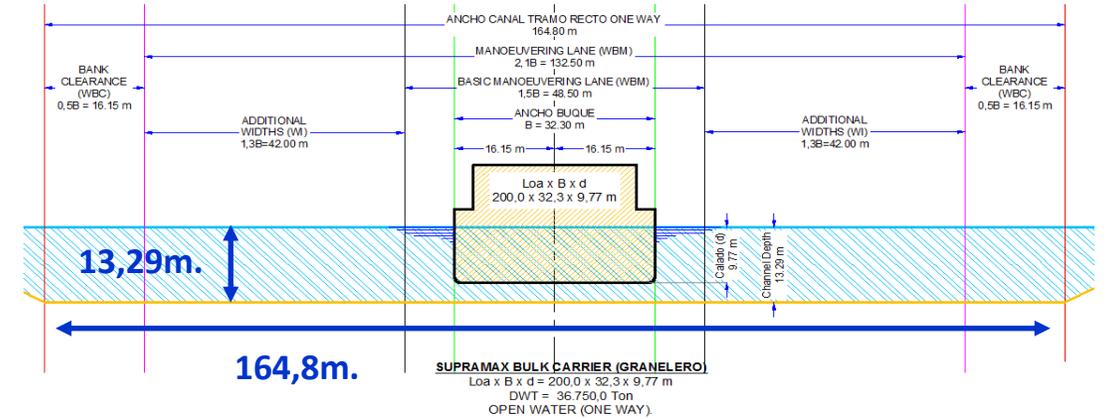
# ESPECIFICACIONES CANAL – TRAMO: APROXIMACIÓN Y ENFILAMIENTO.

## SUPRAMAX UNA VÍA

### FEEDER DOBLE VÍA



### SUPRAMAX UNA VÍA



CANAL DE APROXIMACIÓN MAR ABIERTO		SECTOR	PROF. DISEÑO	ANCHO DE SOLERA	LONGITUD DEL TRAMO	ANGULO DEFLEXIÓN	RADIO CURVA	TALUD TEÓRICO	CAPACIDAD VÍA (TIPOS DE BUQUE)
Desde	Hasta		D (m.)	B (m.)	L (m.)	φ (+/-)	R (m.)	V : H	DOBLE VÍA BUQUE PORTACONTENEDORES FEEDER - UNA VÍA SUPRAMAX BULK CARRIER
Tramo Recto		Enfilamiento al Canal			2709,00				
(-) Km 3+000	(-) Km 0+291		-13,29	260,00			n/a.		

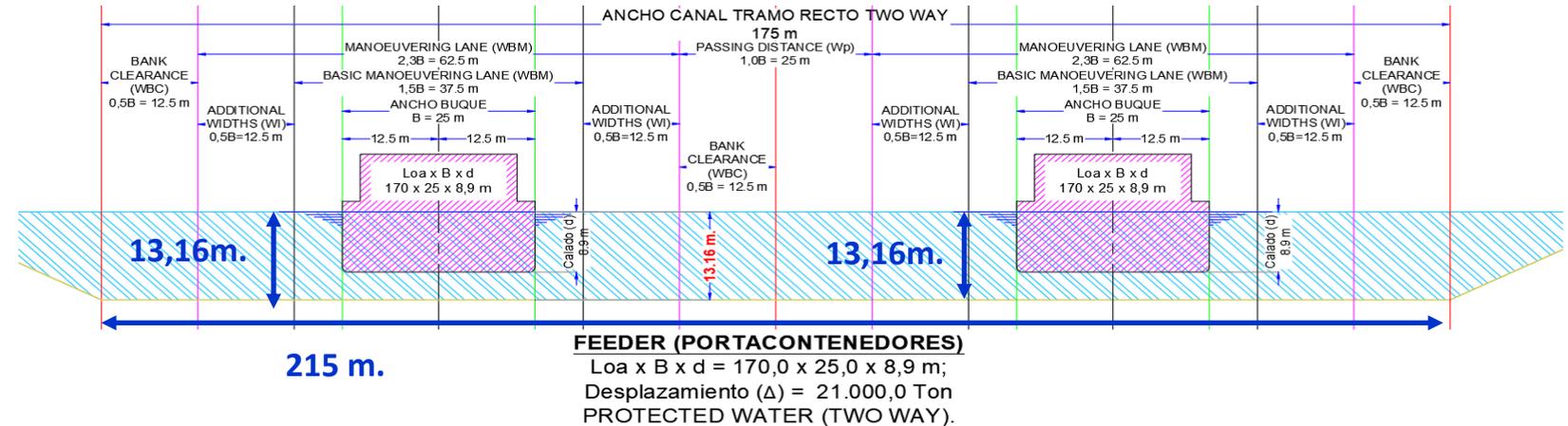
Se consideran condiciones críticas para tipos de Buque, tramos de canal y condiciones de servicio una o dos vías.

El ancho de solera del canal de aproximación y enfilamiento será; B= 260 m., para doble vía con buque Feeder o B=175 m., para una vía con buque tipo Supramax.

La profundidad requerida para estos tipos de Buque, será H= 13,29 m., que para condiciones naturales en mar abierto se cumplen y permanecen estables según modelación hidráulica.

# ESPECIFICACIONES CANAL – TRAMO: CANAL DE TRANSICIÓN SECTOR BOCAS DE CENIZA.

FEEDER DOBLE VÍA



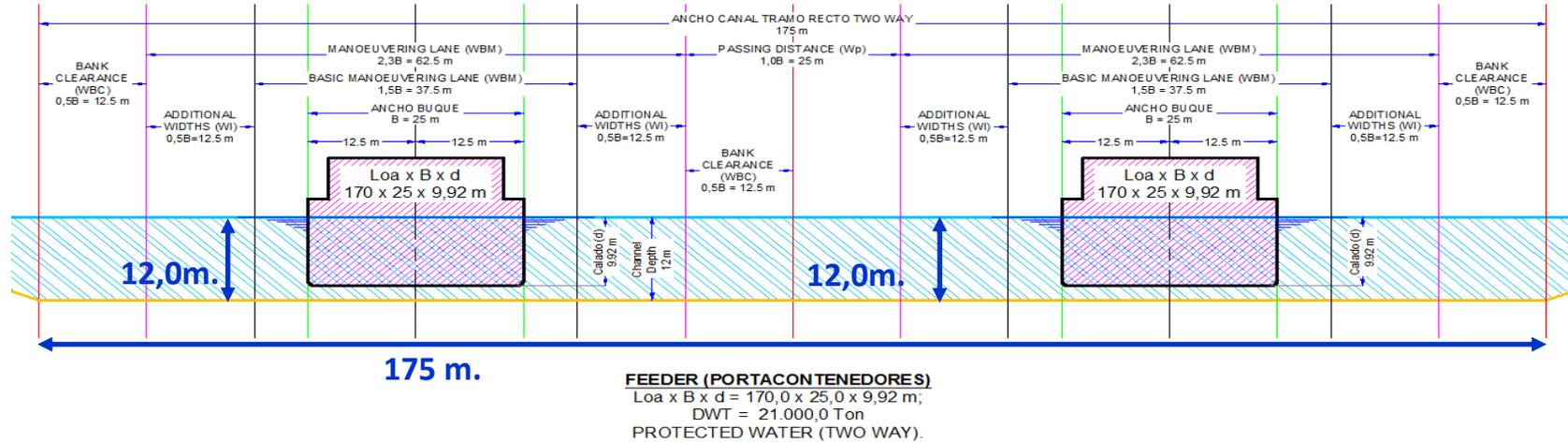
CANAL DE TRANSICIÓN BOCAS DE CENIZA		SECTOR	PROF. DISEÑO	ANCHO DE SOLERA	LONGITUD DEL TRAMO	ANGULO DEFLEXIÓN	RADIO CURVA	TALUD TEÓRICO	CAPACIDAD VÍA (TIPOS DE BUQUE)
Desde	Hasta		D (m.)	B (m.)	L (m.)	$\varphi$ (+/-)	R (m.)	V : H	
Tramo en Curva - 1 (a Estribor)		Curva el Faro				$\varphi = +36^\circ$	1000,00	1V : 3H	DOBLE VÍA BUQUE PORTACONTENEDORES FEEDER - UNA VÍA SUPRAMAX BULK CARRIER
(-) Km 0+291	(+) Km 1+088	Bocas de Ceniza	-13,16	215,00					
Tramo Recto		Tajamares			3048,00				
(+) Km 1+088	(+) Km 4+136		-13,16	175,00					

El ancho de solera del canal de Transición en el sector de Bocas de Ceniza será; B= 215 m., para doble vía buques Feeder o una vía para buques Supramax.

La profundidad requerida para estos tipos de Buque, será H= 13,16 m., que para condiciones hidráulicas de modelación, se deben garantizar en el tramo de transición en Bocas de Ceniza.

# ESPECIFICACIONES CANAL – TRAMO: CANAL TRANSITO INTERIOR.

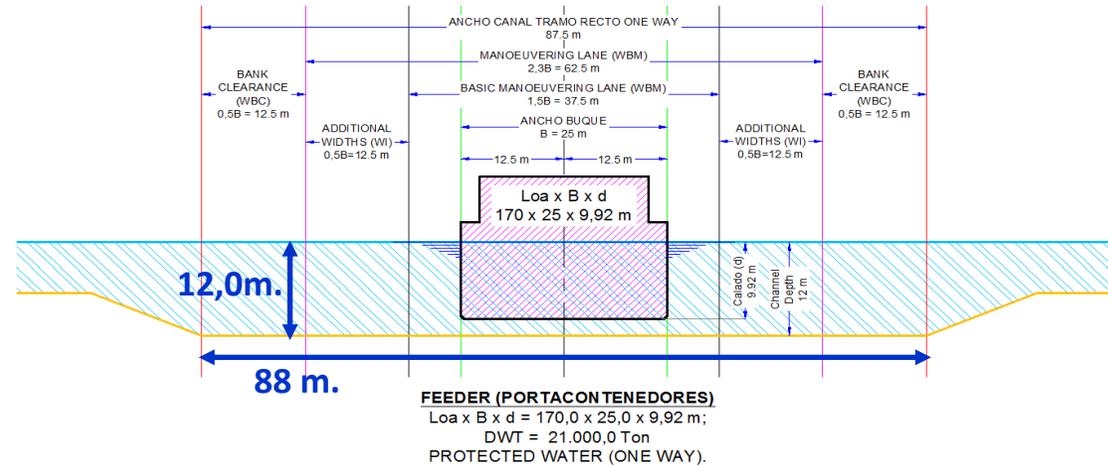
FEEDER DOBLE VÍA



CANAL DE TRANSITO INTERIOR		SECTOR	PROF. DISEÑO	ANCHO DE SOLERA	LONGITUD DEL TRAMO	ANGULO DEFLEXIÓN	RADIO CURVA	TALUD TEÓRICO	CAPACIDAD VÍA (TIPOS DE BUQUE)
Desde	Hasta		D (m.)	B (m.)	L (m.)	$\varphi$ (+/-)	R (m.)	V : H	DOBLE VÍA BUQUE PORTACONTENEDORE FEEDER - UNA VÍA SUPRAMAX BULK CARRIER
Tramo en Curva - 2 (a Babor)	Puerto Mocho		-12,00	215,00				1V : 3H	
(+) Km 4+136	(+) Km 4+598				960,00				
Tramo Recto		Dique Boyacá	-12,00	175,00					
(+) Km 4+598	(+) Km 5+557								
Tramo en Curva - 3 (a Babor)		Mallorquín - I				$\varphi = -10^\circ$	1000,00		
(+) Km 5+557	(+) Km 5+682								
Tramo Recto		Terminales			1201,00				
(+) Km 17+175	(+) Km 18+376								
Tramo en Curva - 9 (a Estribor)		SP Palermo				$\varphi = +18^\circ$	1000,00		
(+) Km 18+376	(+) Km 18+681								
Tramo Recto		Barrio Abajo			3319,00				
(+) Km 18+681	(+) Km 22+000								

Ancho de solera del canal de Transito Interior, desde Puerto Mocho hasta Puente Pumarejo será; B= 175 m., para doble vía buques Feeder o una vía para buques Supramax. La profundidad requerida, será H= 12,0 m.

# ESPECIFICACIONES CANAL – TRAMO: CANAL INTERIOR A PIMSA.

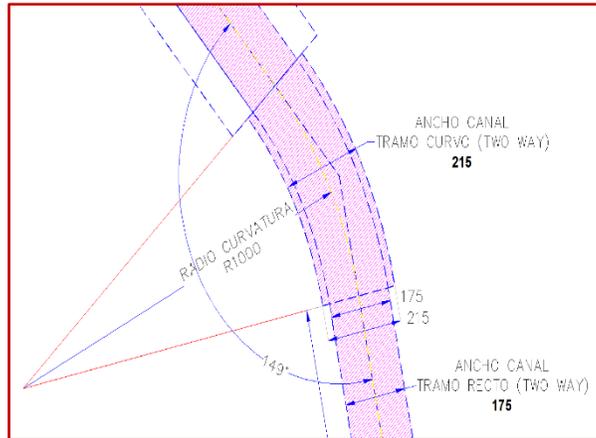


**FEEDER UNA VÍA**

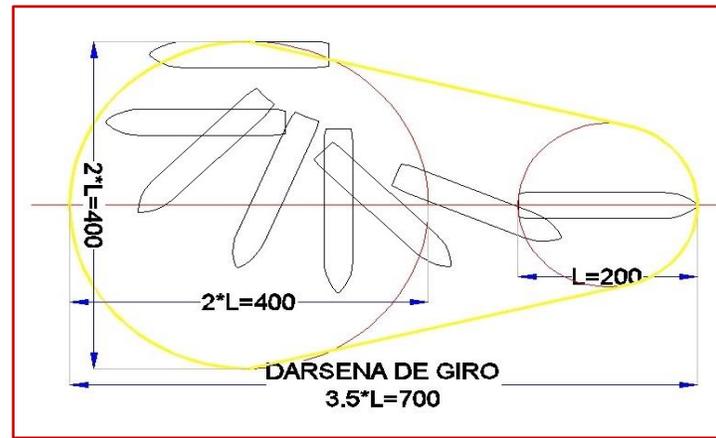
CANAL DE INTERIOR PUENTE PUAREJO - PIMSA		SECTOR	PROF. DISEÑO	ANCHO DE SOLERA	LONGITUD DEL TRAMO	ANGULO DEFLEXIÓN	RADIO CURVA	TALUD TEÓRICO	CAPACIDAD VÍA (TIPOS DE BUQUE)
Desde	Hasta		D (m.)	B (m.)	L (m.)	$\varphi$ (+/-)	R (m.)	V : H	UNA VÍA BUQUE PORTACONTENEDORES FEEDER
Tramo en Curva - 10 (a Babor)		Curva Isla Rondon	-12,00	128,00	2297,00	$\varphi = -53^\circ$	1000,00	1V : 3H	
(+) Km 22+477	(+) Km 23+402	Soledad a Cavica	-12,00	88,00					
Tramo Recto		Astillero IMPALA	-12,00	88,00	3025,00				
(+) Km 31+104	(+) Km 34+129	Cavica - 4	-12,00	128,00	798,00	$\varphi = -7^\circ$	1000,00		
(+) Km 34+129	(+) Km 34+217		-12,00	88,00					
Tramo Recto		Curva PIMSA	-12,00	128,00		$\varphi = -8^\circ$	1000,00		
(+) Km 34+217	(+) Km 35+015		-12,00	88,00					
Tramo en Curva - 17 (a Babor)			-12,00	128,00					
(+) Km 35+015	(+) Km 35+162		-12,00	128,00					

Ancho de solera del canal de Interior, desde Puente Pumarejo hasta PIMSA será; B= 88,0 m., para buques Feeder en una vía y profundidad requerida H= 12,0 m.

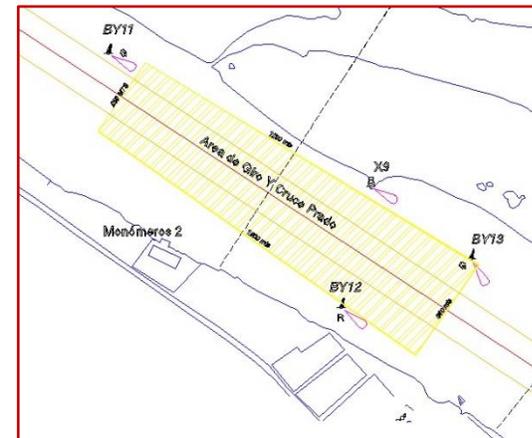
# ESPECIFICACIONES EN ZONAS DE MANIOBRA EN EL CANAL



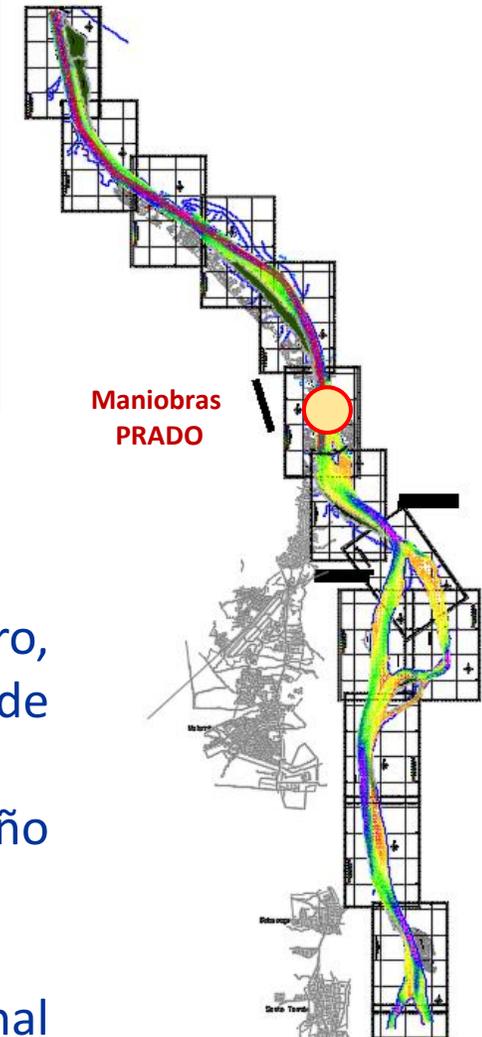
TRAMO EN CURVA



DÁRSENAS DE GIRO



ZONAS DE SOBREPASO



## ELEMENTOS DE DISEÑO CANAL:

La trayectoria del canal en planta se conserva al actual y se ajusta al thalweg:

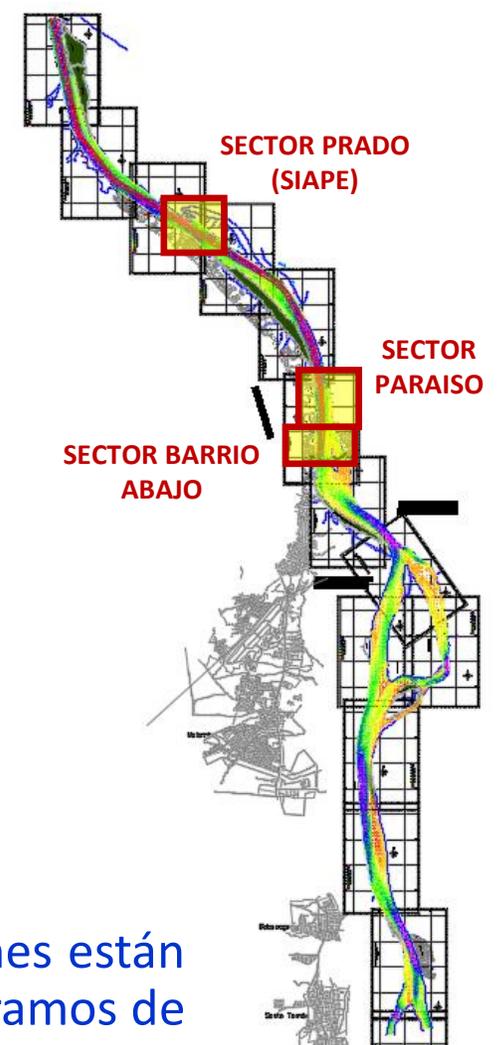
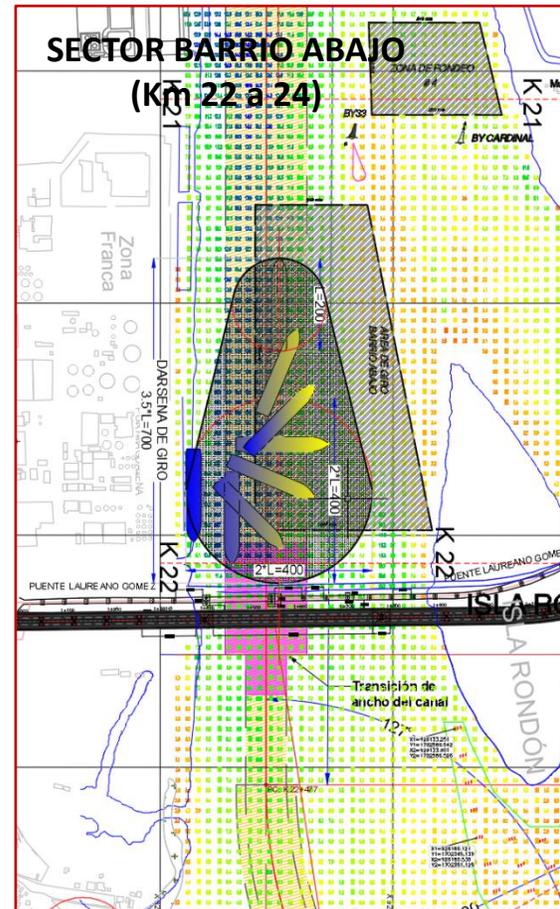
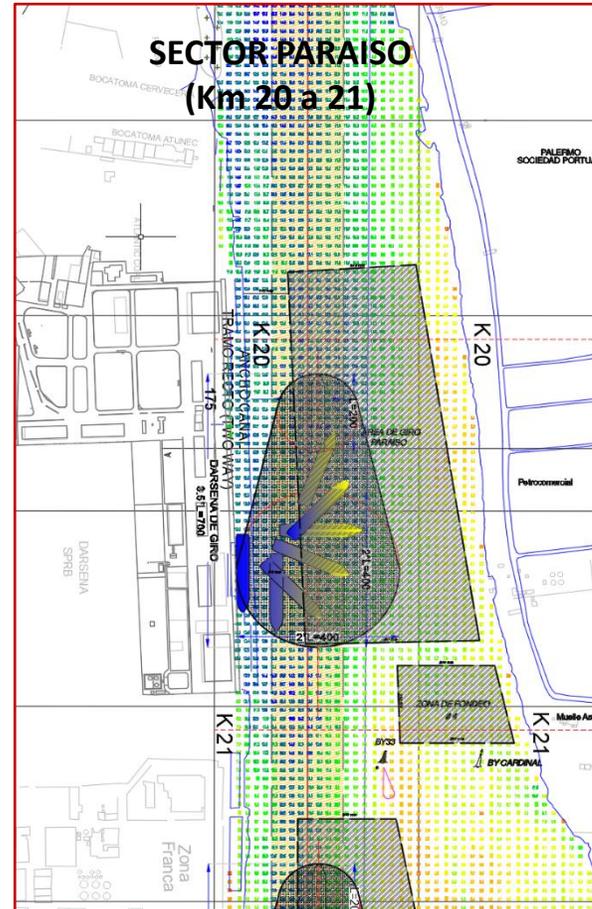
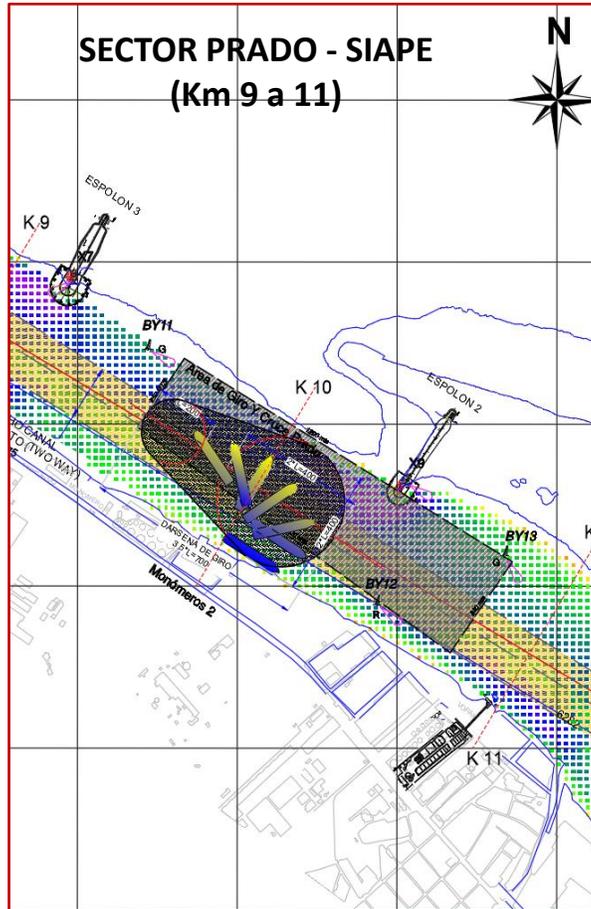
- Radio de Curvas  $R = 1.000$  m.
- Angulo de deflexión en curvas  $\phi = -53^\circ$
- Sobreancho en curvas 20 m. (interior y exterior)
- Taludes 1V : 3H.

## ELEMENTOS DE DISEÑO - MANIOBRAS:

Se mantienen las zonas de giro, maniobras de sobrepaso y áreas de fondeo establecidas DIMAR.

- Dársenas de Giro para eslora de diseño  $Loa = 200$  m.
- Ancho de Dársena  $2 * Loa$ .
- Profundidades natural, similar al canal ( $H = -12$  m.)

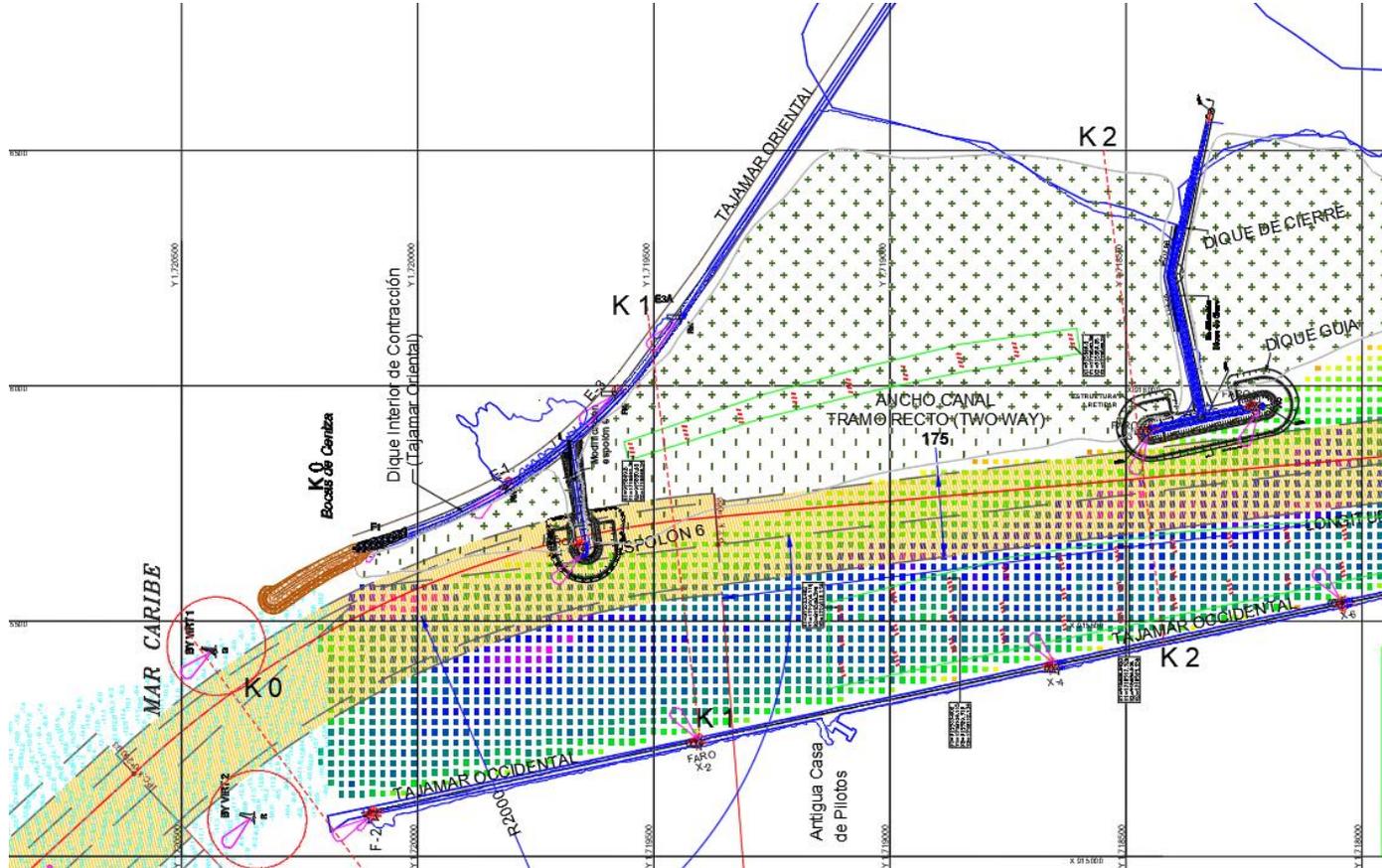
# ZONAS DE MANIOBRA Y FONDEO



Dadas las restricciones de espacio y de aguas para maniobras náuticas, las operaciones están condicionadas a un traslape de áreas de maniobra de giro, de zonas de fondeo y de tramos de sobrepaso; sobre el mismo canal navegable.

Maniobras en los sectores de: el Prado, el Paraíso, Barrio Abajo, Isla Rondon y puerto PIMSA.

# SEÑALIZACIÓN DEL CANAL NAVEGABLE



El canal entrega al mar en la “Curva el Faro”, siguiendo la trayectoria de un thalweg estable, modificando el alineamiento actual.

Se requiere “actualizar” la señalización marítima del canal, pues el enfilamiento de las maniobras de arribo al Puerto, se deben modificar y actualizar la Carta Náutica del Puerto de Barranquilla.



### ***3. Obras Fluviales***

# Obras Fluviales



Se estudiaron 22 alternativas divididas en 4 tramos de estudio

## Funcionamiento del cauce del Magdalena para diferentes caudales

Q Barranquilla	Q Calamar	S0	B	U	n Medio	h	h
m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	—	(m)	(m/s)		(m)	(pies)
10000	14663	0.0000773	470	1.48	0.035	14.3	47.1
7400	9415	0.0000410	470	1.15	0.032	13.7	45.0
3000	2494	0.0000061	470	0.71	0.015	9.0	29.4
3000	2494	0.0000061	280	0.88	0.015	12.2	40.1
7400	9415	0.0000410	280	1.41	0.032	18.7	61.4
10000	14663	0.0000773	281	1.92	0.032	18.5	60.7

# ISLA CABICA

5 alternativas estudiadas

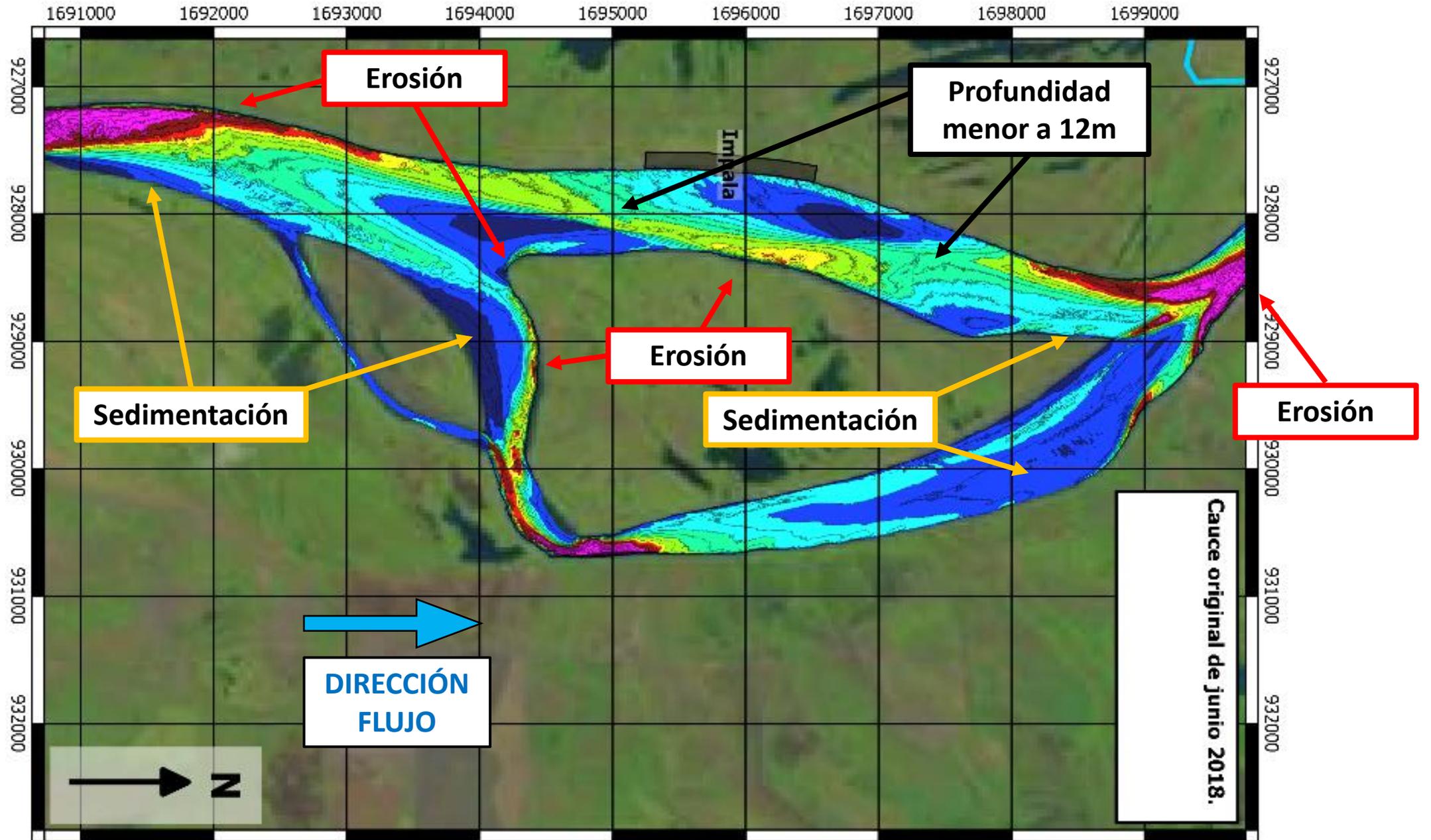


# ISLA CABICA

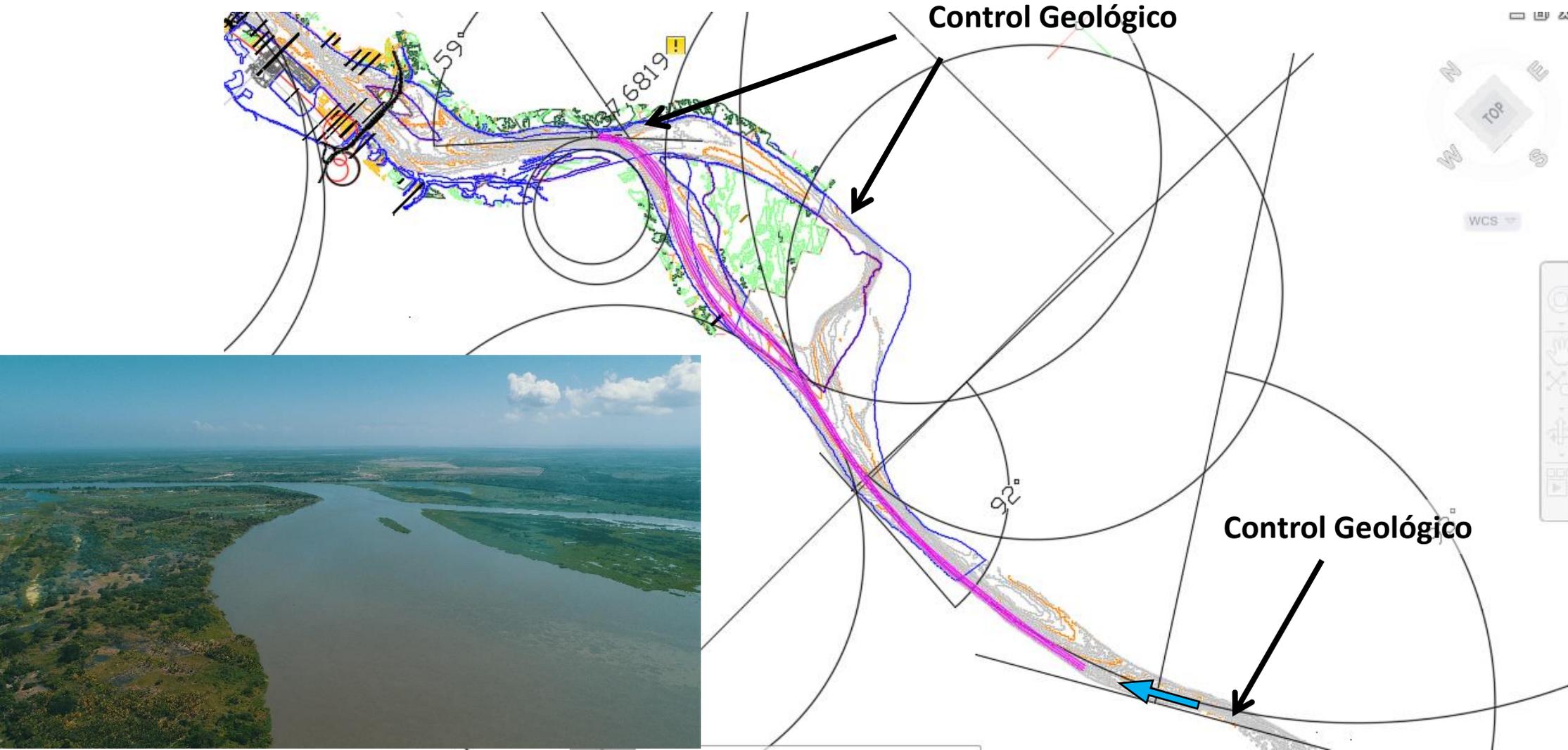
Descripción: uso de paneles sumergidos para estabilizar y profundizar el canal y estabilizar la situación actual de la isla.

Descripción: uso de paneles sumergidos para modificar y estabilizar el canal navegable de manera que éste pase por el puerto de Impala.	Descripción: uso de paneles sumergidos y un dragado para modificar y estabilizar el canal navegable de manera que éste pase por el puerto de Impala.	Descripción: uso de diques para modificar y estabilizar el canal navegable de manera que éste pase por el puerto de Impala.	Descripción: uso de paneles sumergidos y un dique en "T" para modificar y estabilizar el canal navegable de manera que éste pase por el puerto de Impala.
---	--	---	---

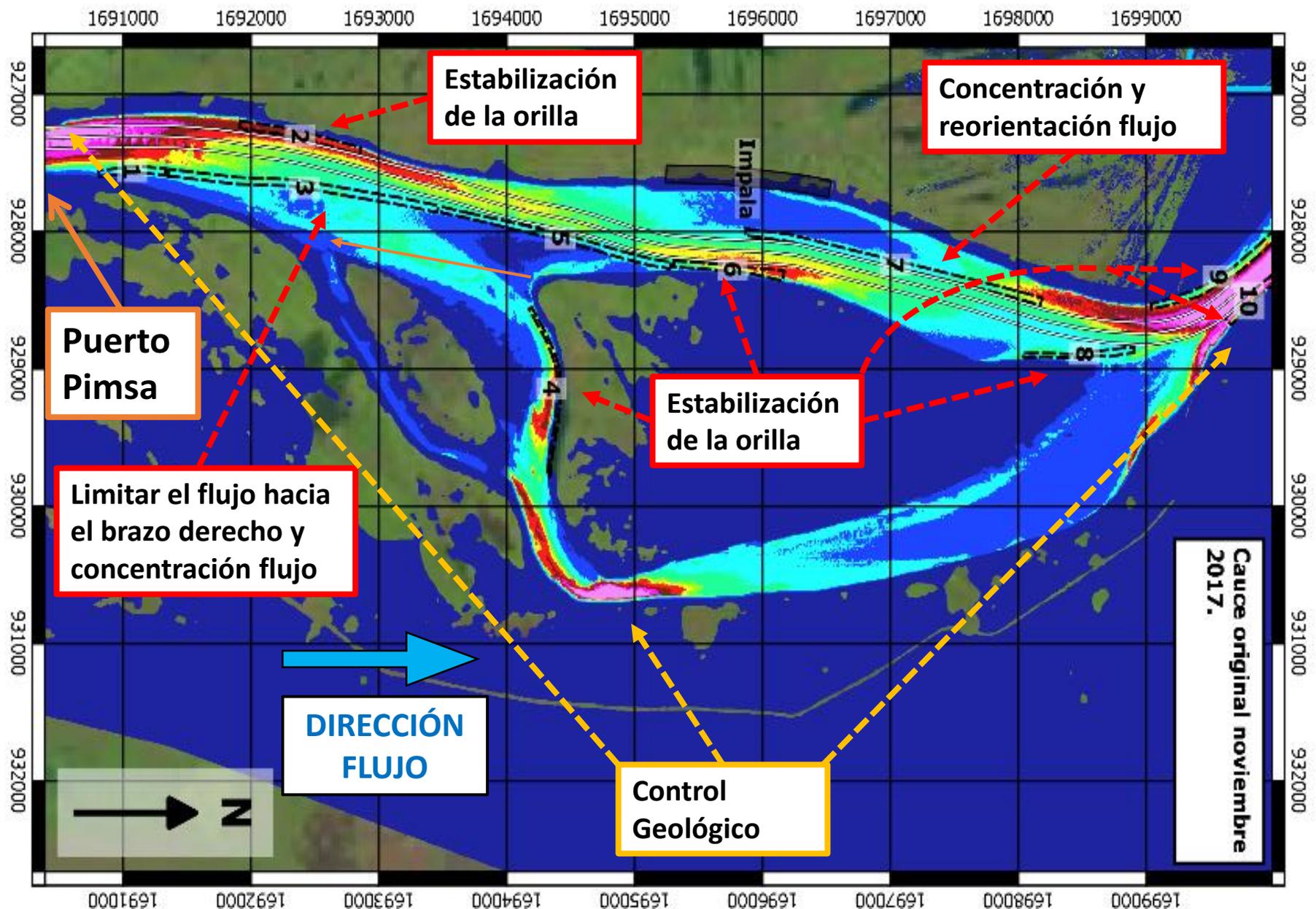
# PROBLEMÁTICA ISLA CABICA

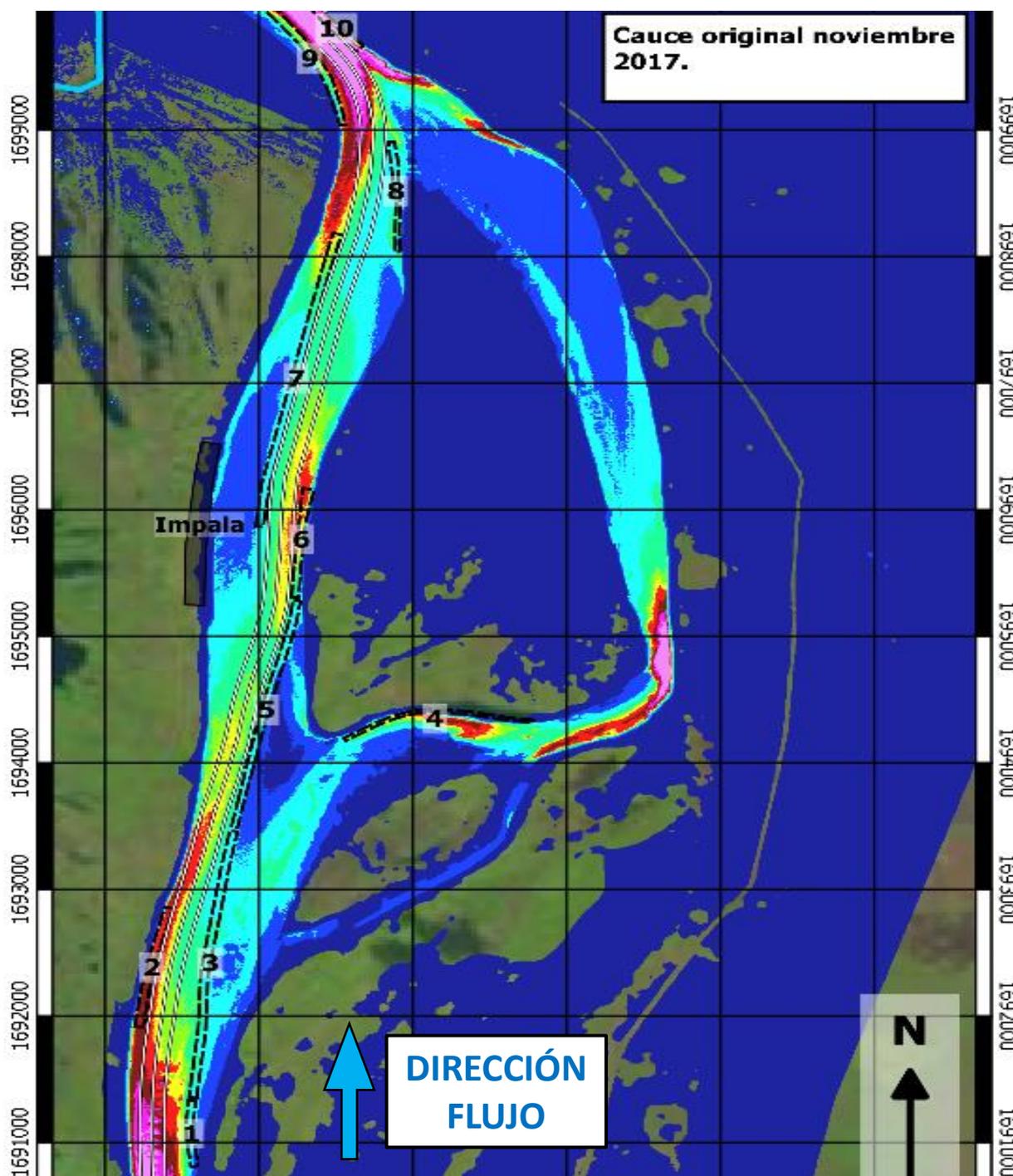


# El Thalweg, como cuerda de guitarra, se tiene que adaptar al control geológico



# ALTERNATVIA ELEGIDA: ALTERNATIVA 1





## ISLA CABICA: OBRAS

Grupo paneles	H (m)	L (m)	Separación grupos (m)	Nº de paneles por grupo
1, 3, 5	2 - 2.5	6 - 7.5	60 - 75	3 - 4
2	3	9	100	3
4	2	6	60	3
6	2 - 3	6 - 9	60 - 100	3 - 5
7	2.5	7.5	75	3 - 4
8	2	6	60	3
9, 10	3	9	100	3

TOTAL PANELES 615

# ISLA RONDÓN

5 alternativas estudiadas



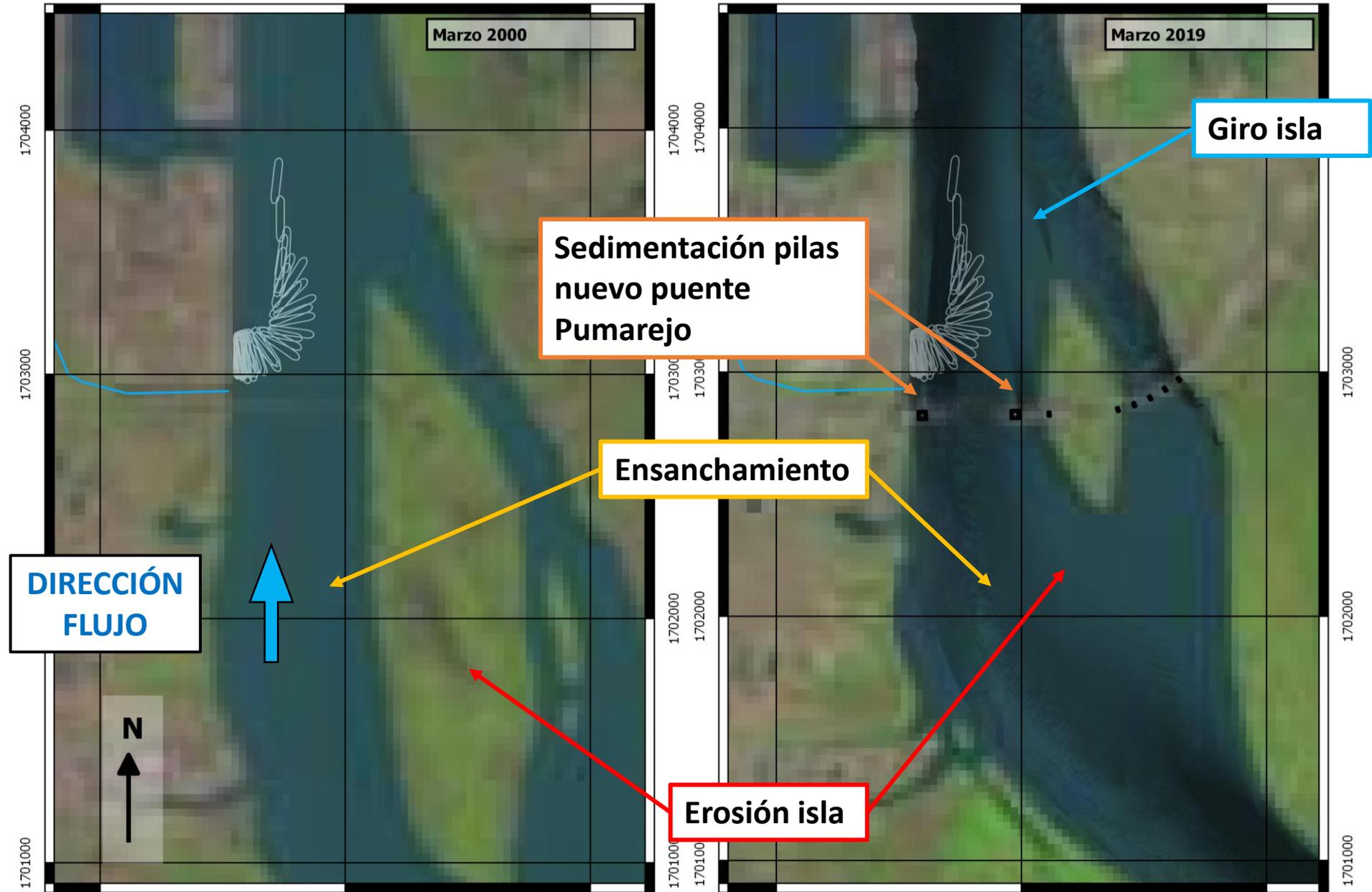
# ISLA RONDON

Descripción: Dragado hasta la  $z=-12\text{m}$  de un tramo de 2km aguas arriba del puente Pumarejo, que conecta con el cañón de gran profundidad situado entre isla Rondón e isla Cabica.

Descripción: Colocación de paneles sumergidos para recrecer y estabilizar la Isla Rondón. Sí se sedimenta la pila Este del nuevo puente Pumarejo.

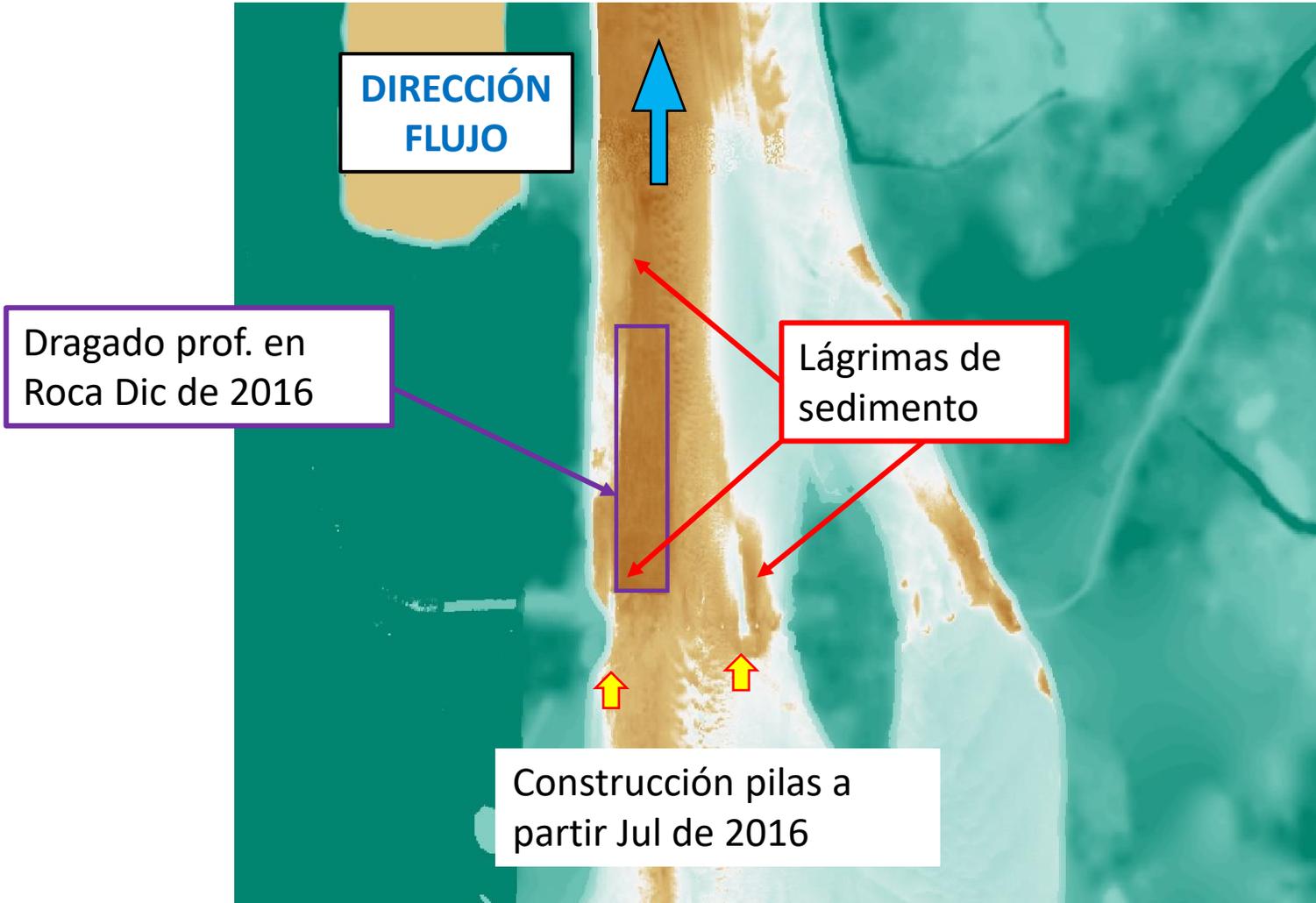
Descripción: Colocación de paneles sumergidos y pantallas para recrecer y estabilizar la Isla Rondón. No se sedimenta la pila Este del nuevo puente Pumarejo.	Descripción: Colocación de paneles sumergidos y pantallas para recrecer y estabilizar la Isla Rondón. Sí se sedimenta la pila Este del nuevo puente Pumarejo.	Descripción: Colocación de paneles sumergidos para recrecer y estabilizar la Isla Rondón. No se sedimenta la pila Este del nuevo puente Pumarejo.
---	---	---

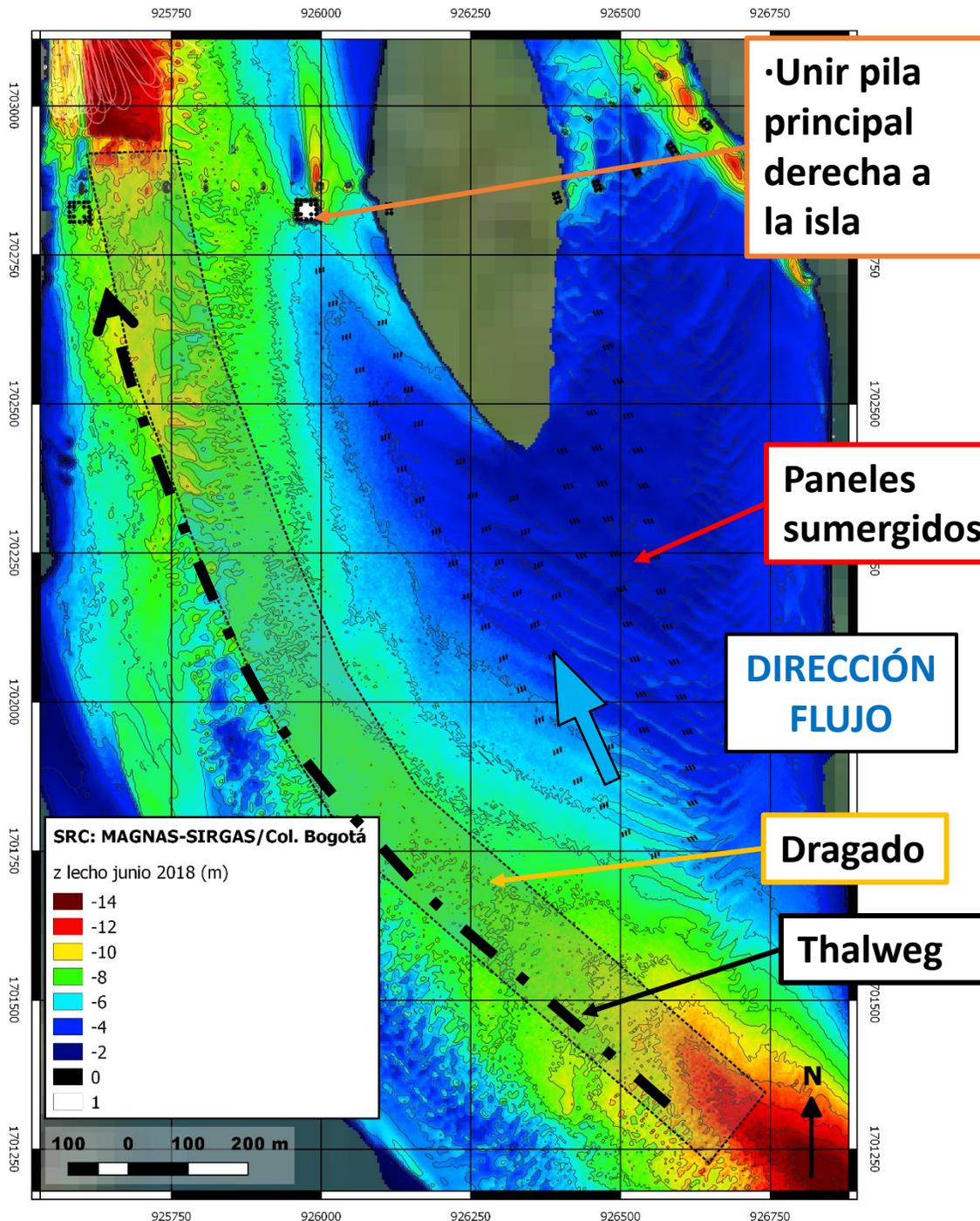
# EVOLUCIÓN, TENDENCIAS Y PROBLEMÁTICA ISLA RONDÓN



# ANÁLISIS DEL PUENTE PUMAREJO

## Pilas y dragado





# DETALLE OBRAS ISLA RONDÓN

PANELES SUMERGIDOS				
H (m)	L (m)	Separación grupos (m)	Nº de paneles por grupo	Nº total paneles
2	6	60	3	<b>204</b>

DRAGADO					
L (m)	B (m)	z (m)	$\Delta z$ (m)	V (m <sup>3</sup> )	V lecho duro (m <sup>3</sup> )
2000	150	-12	4.3	<b><math>1.3 \cdot 10^6</math></b>	$1.5 \cdot 10^5$

El dragado se hará después de recrecer la isla Rondón, ya que esta encauzará el flujo aumentando la velocidad media y por tanto generando un Thalweg más profundo que el actual

# EL PALMAR

6 alternativas estudiadas



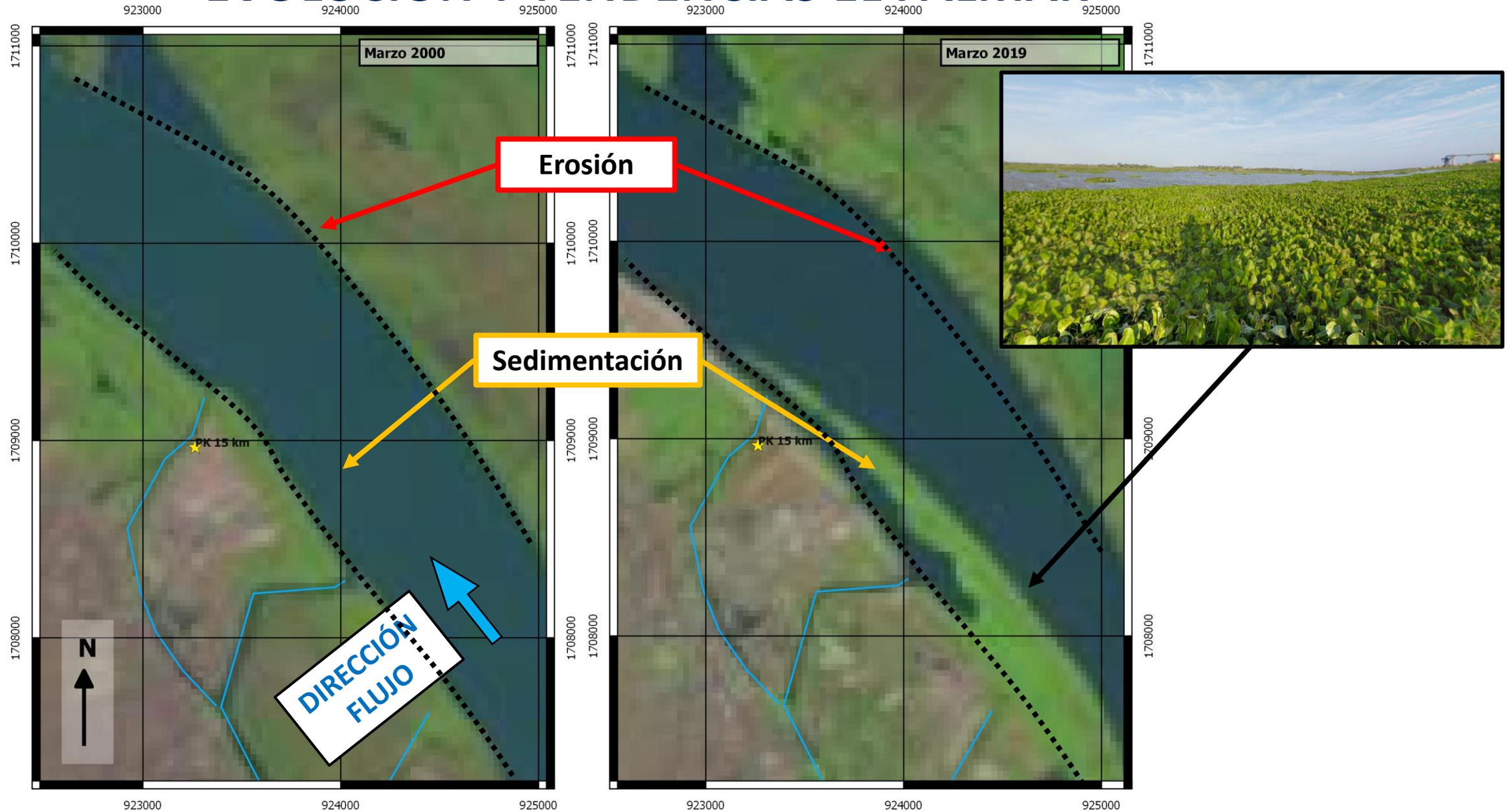
# EL PALMAR

Descripción: Colocación de paneles sumergidos en la margen derecha inclinados hacia el exterior unos 22°

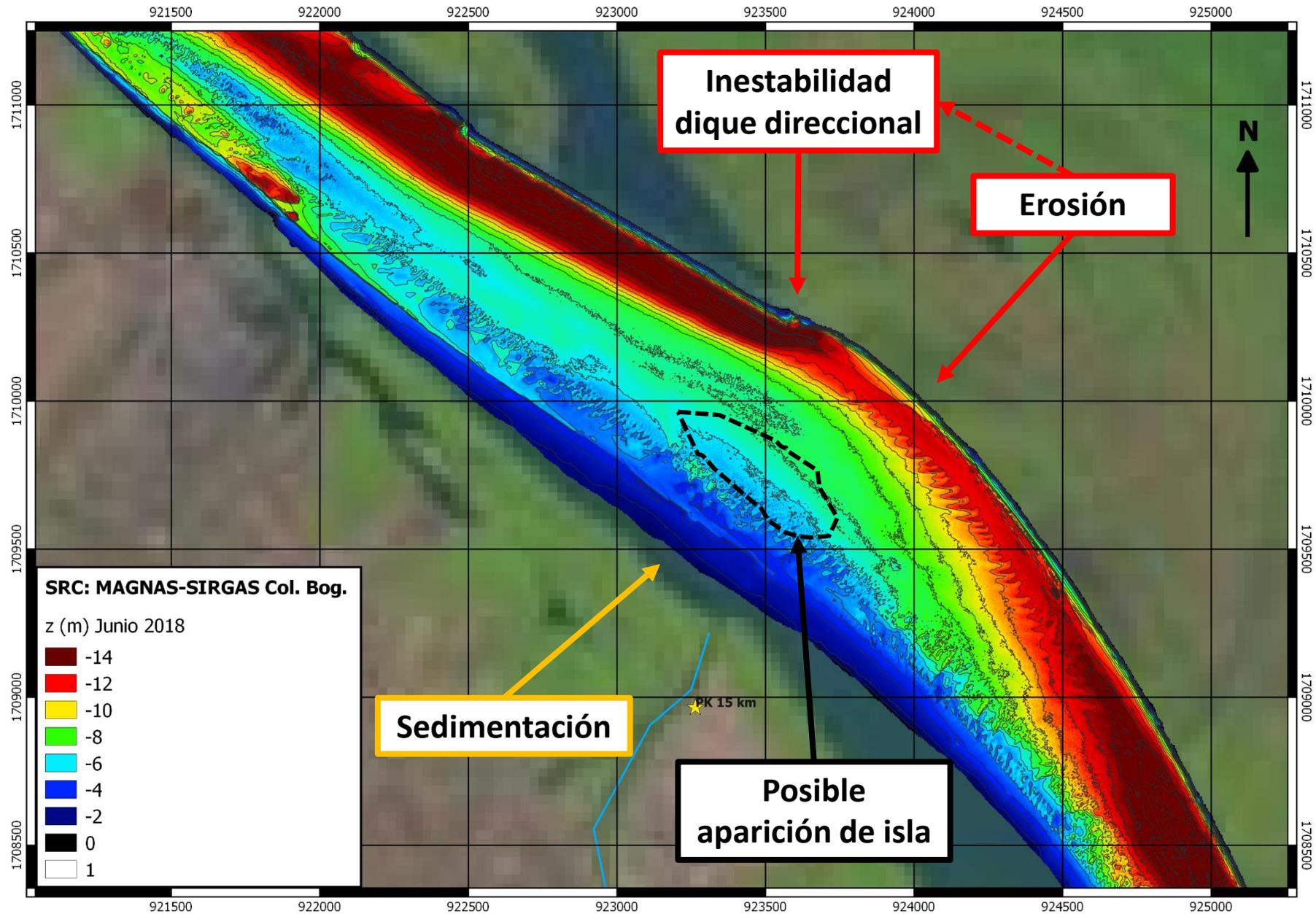
Descripción: Crear una isla, mediante la colocación de paneles sumergidos, aprovechando la actual acumulación de sedimentos en la margen izquierda.

Descripción: Colocación de paneles sumergidos en la margen izquierda, inclinados hacia el centro unos 22°	Descripción: Colocación de un espolón sumergido en la margen izquierda, de manera que se forme un foso de erosión en esta margen y atraiga al flujo de agua hacia la izquierda.	Descripción: Colocación de un espolón emergente en la margen izquierda, de manera que se forme un foso de erosión en esta margen y atraiga al flujo de agua hacia la izquierda.	Descripción: Crear una isla, mediante la colocación de pantallas y paneles sumergidos, aprovechando la actual acumulación de sedimentos en la margen izquierda
---	---	---	--

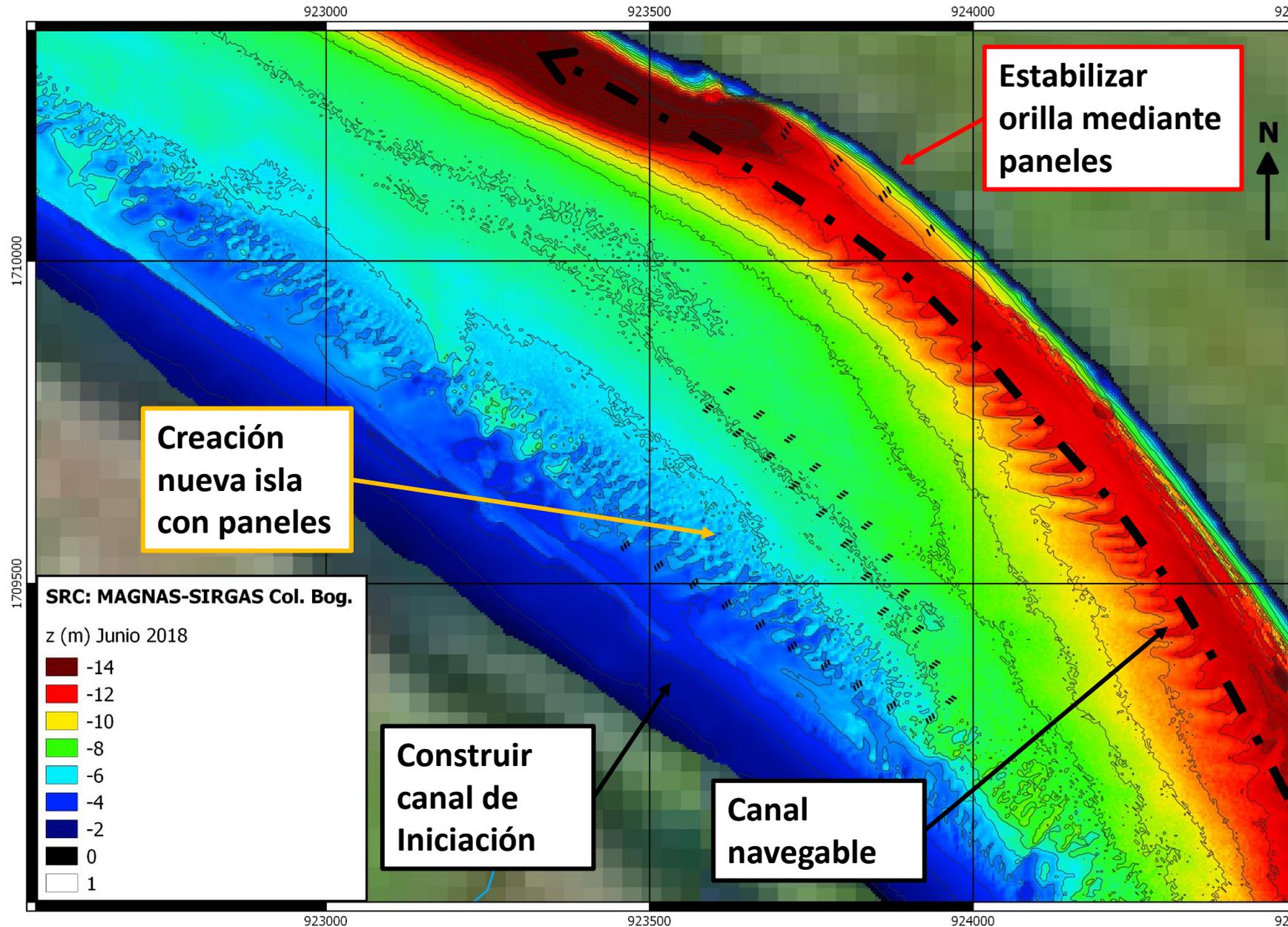
# EVOLUCIÓN Y TENDENCIAS EL PALMAR



# PROBLEMÁTICA EL PALMAR

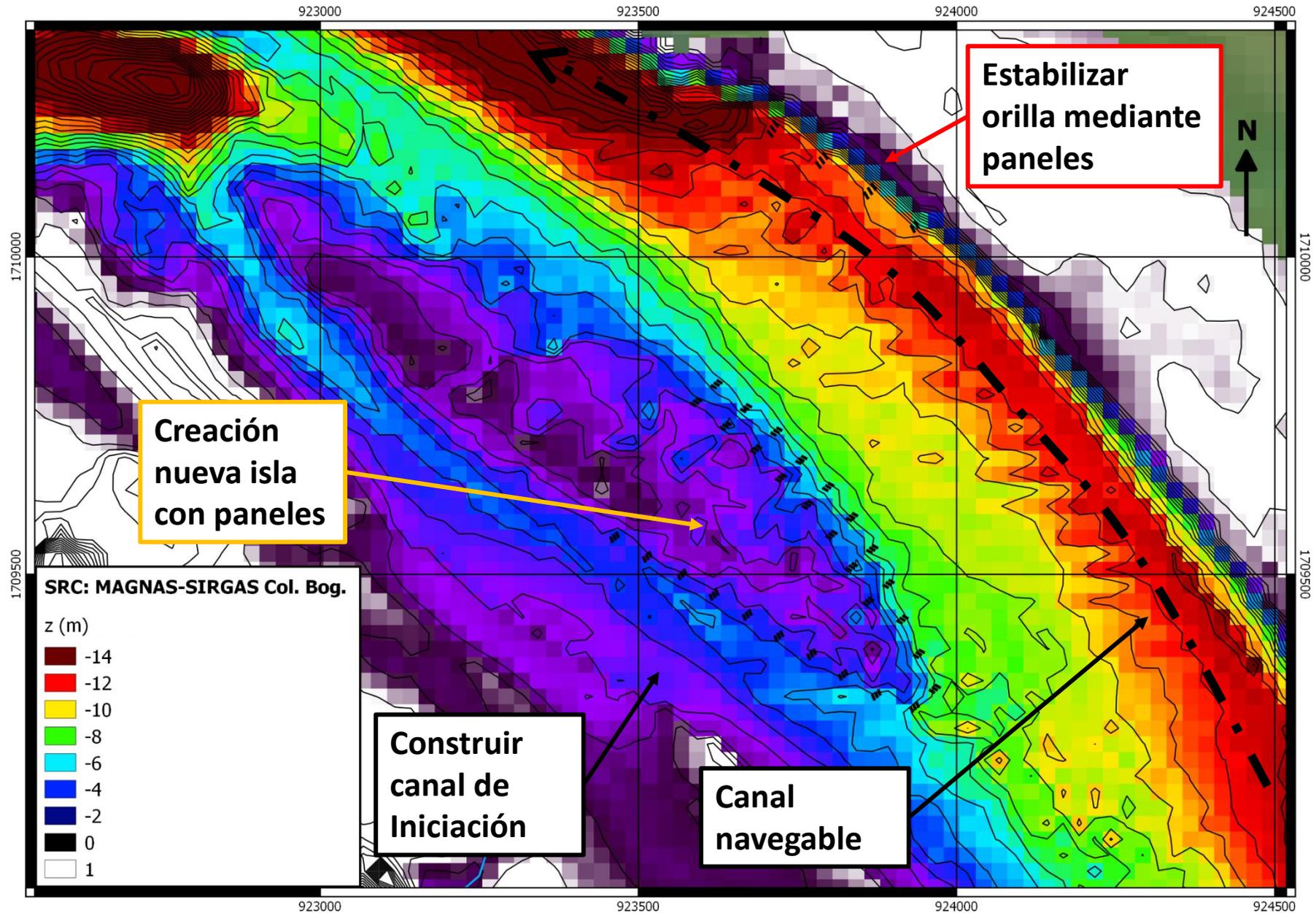


# DETALLE OBRAS EL PALMAR



Grupo paneles	H (m)	L (m)	Separación grupos (m)	Nº de paneles por grupo
Isla	2	6	60	3
Orilla derecha (dique)	3	9	90	2 - 3
<b>Un total de 98 paneles sumergidos</b>				

# MODELIZACIÓN 2D (IBER) GENERACIÓN ISLA



TAJAMAR OCCIDENTAL

Bocas de Cerriza

TAJAMAR ORIENTAL

Bocas de Cerriza

# BOCAS DE CENIZA

6 alternativas estudiadas

*Josue Alcalá*

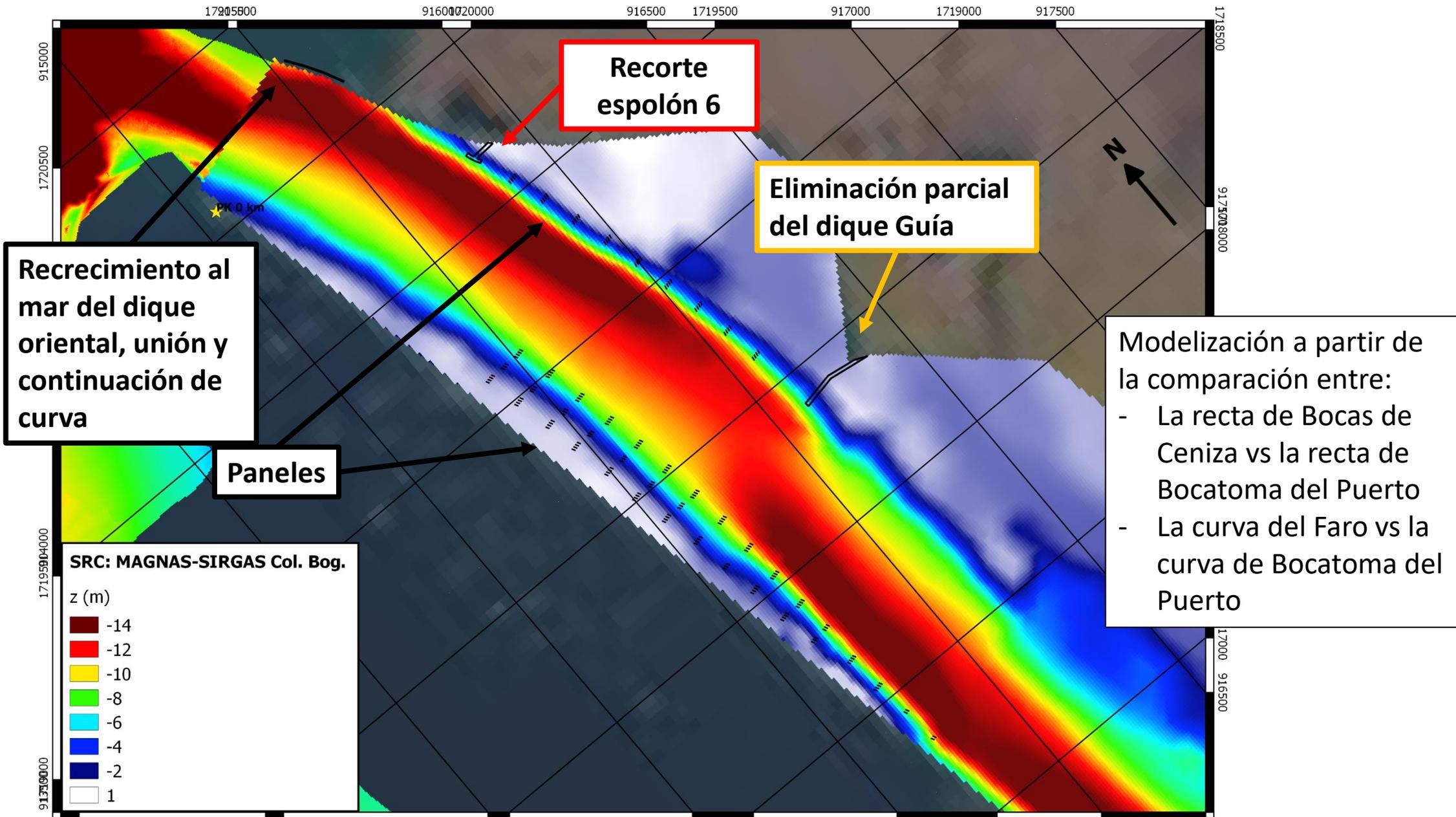
# EVOLUCIÓN, TENDENCIAS Y PROBLEMÁTICA BOCAS DE CENIZA



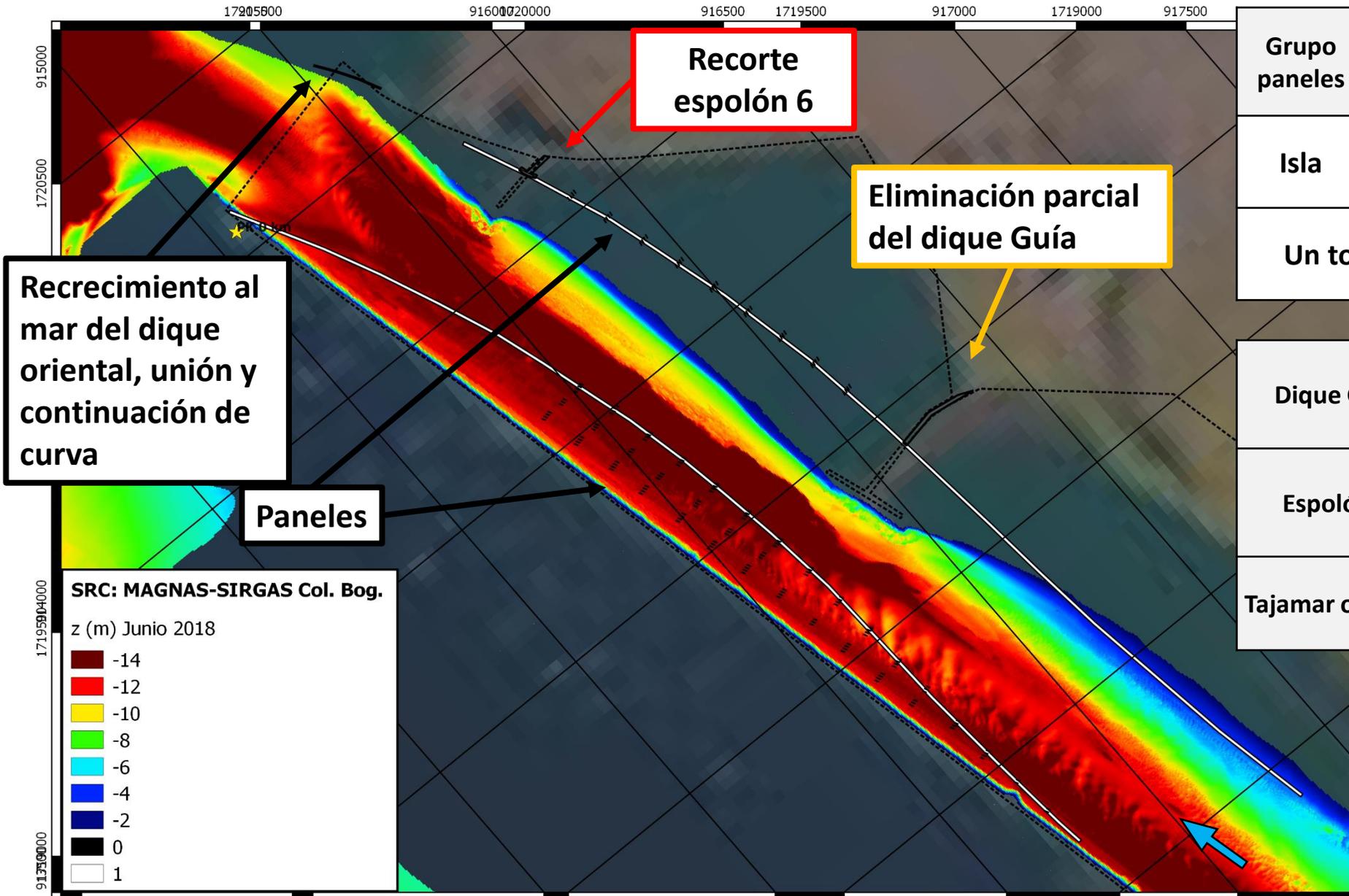
# PROBLEMÁTICA BOCAS DE CENIZA



# MODELIZACIÓN DE LA CURVA DEL FARO



# DETALLE OBRAS CURVA DEL FARO

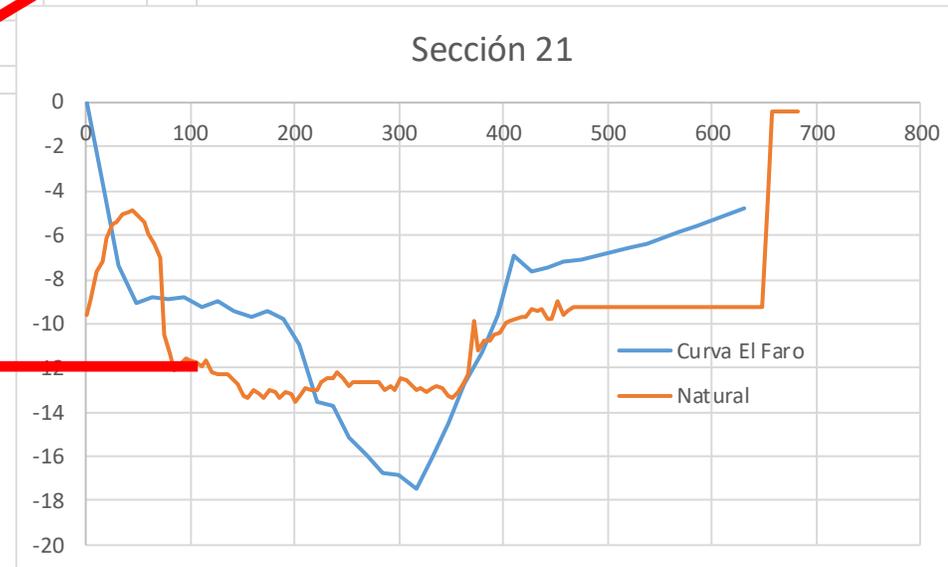
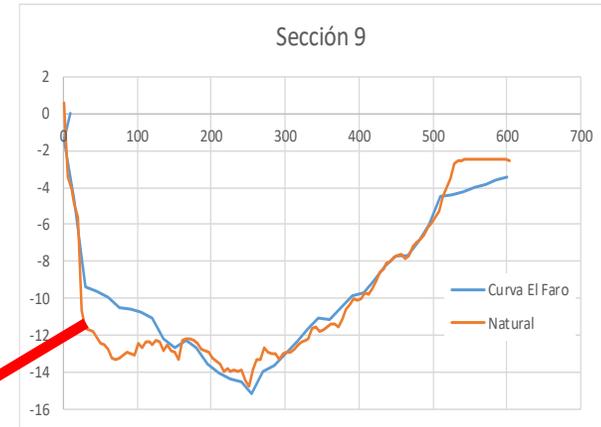
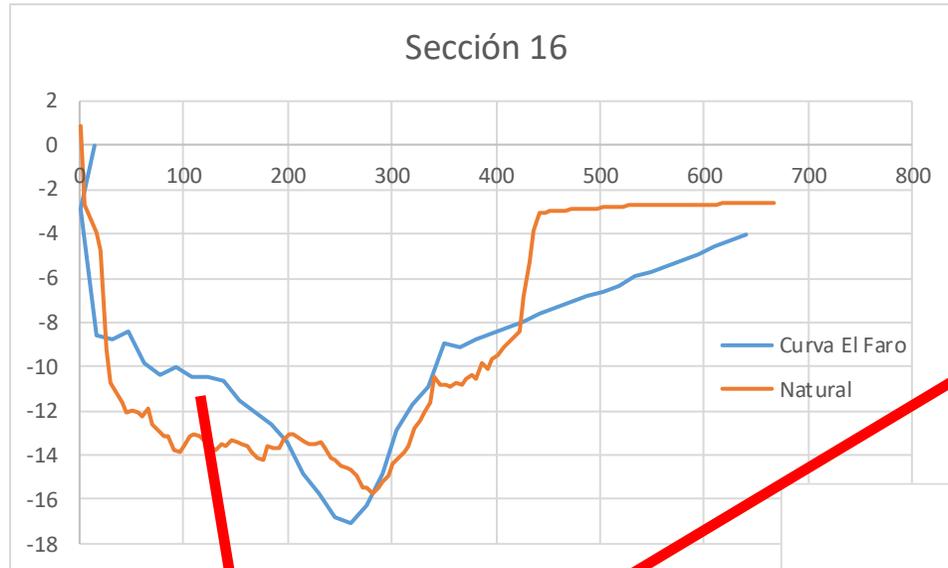


Grupo paneles	H (m)	L (m)	Separación grupos (m)	Nº de paneles por grupo
Isla	4	9	120	4

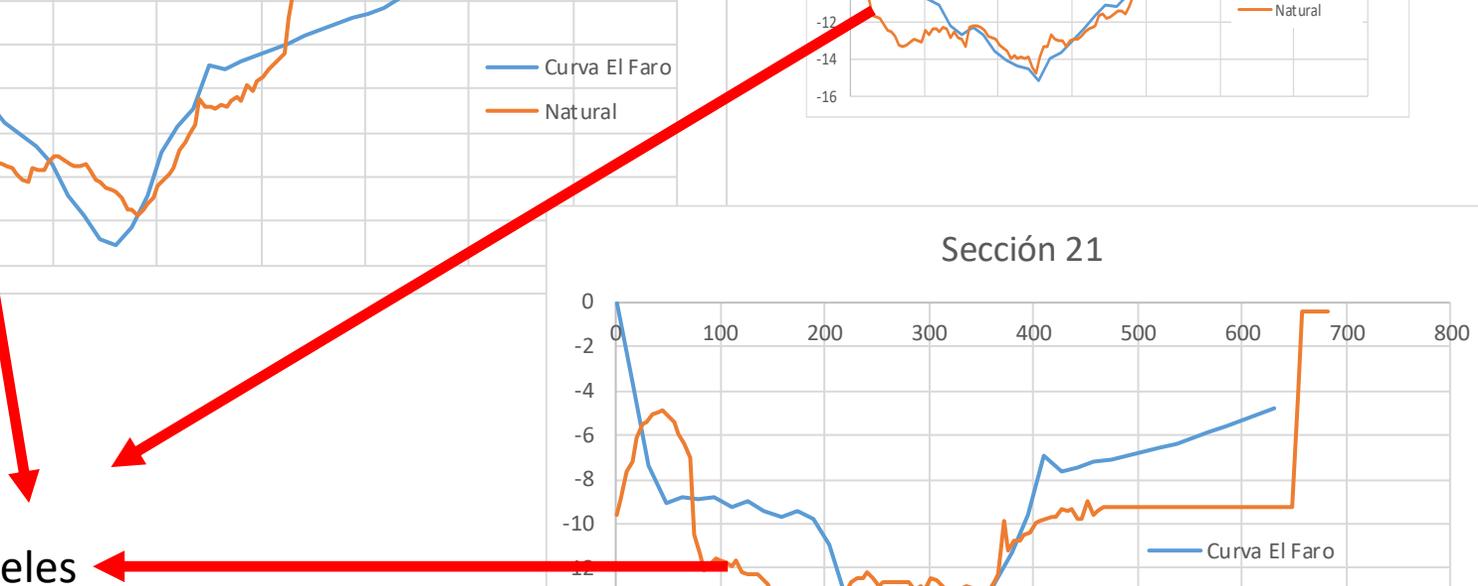
**Un total de 163 paneles sumergidos**

<b>Dique Guía</b>	Eliminación de 400m de dique, quedando un dique en punta de 200m.
<b>Espolón 6</b>	Eliminación de 110m de Espolón, quedando un espolón de 50m con una "T" de 50m.
<b>Tajamar oriental</b>	Recrecimiento de 120m mar adentro.

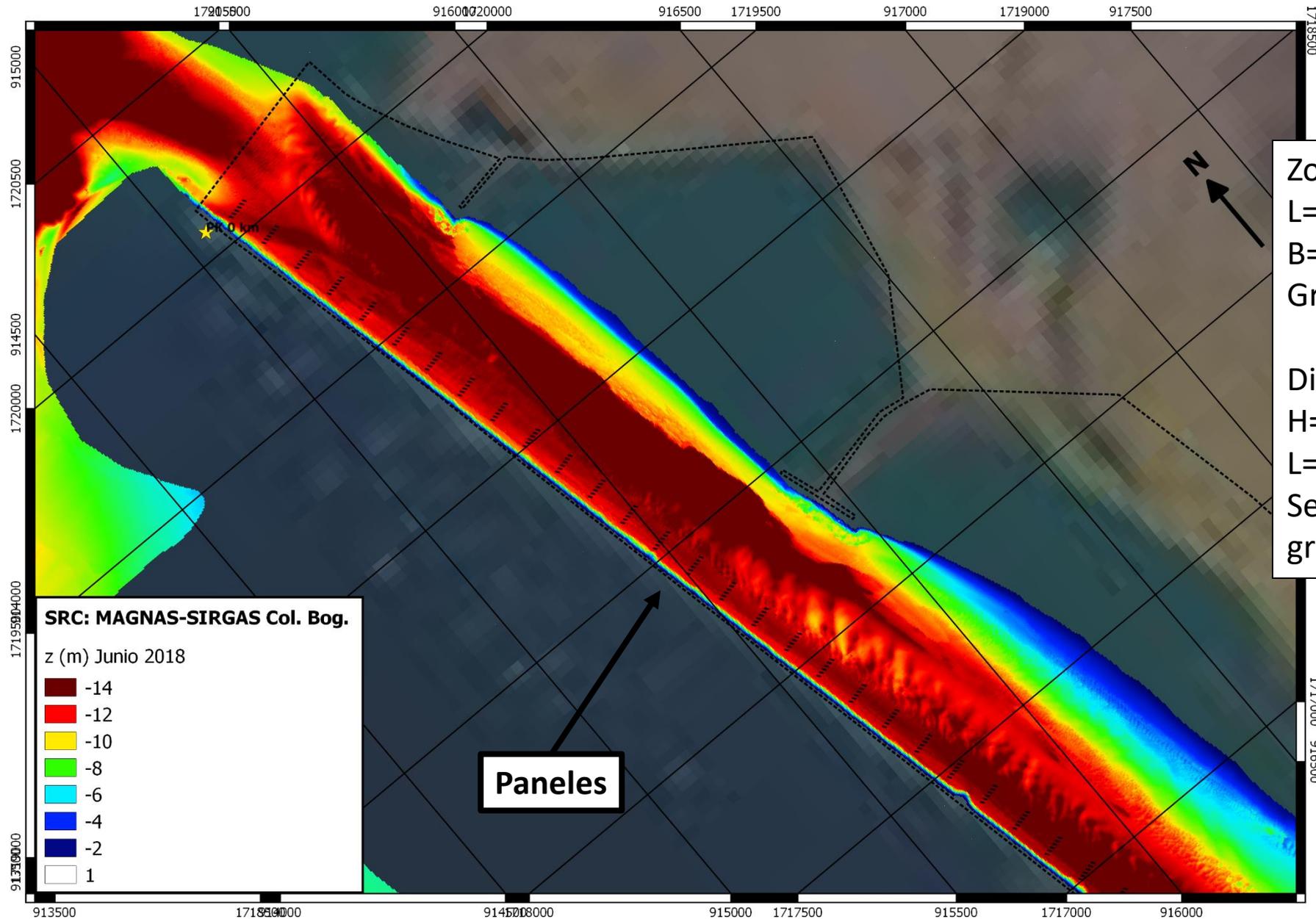
# Deformación del lecho con paneles según un modelo 2D



Zona de Paneles



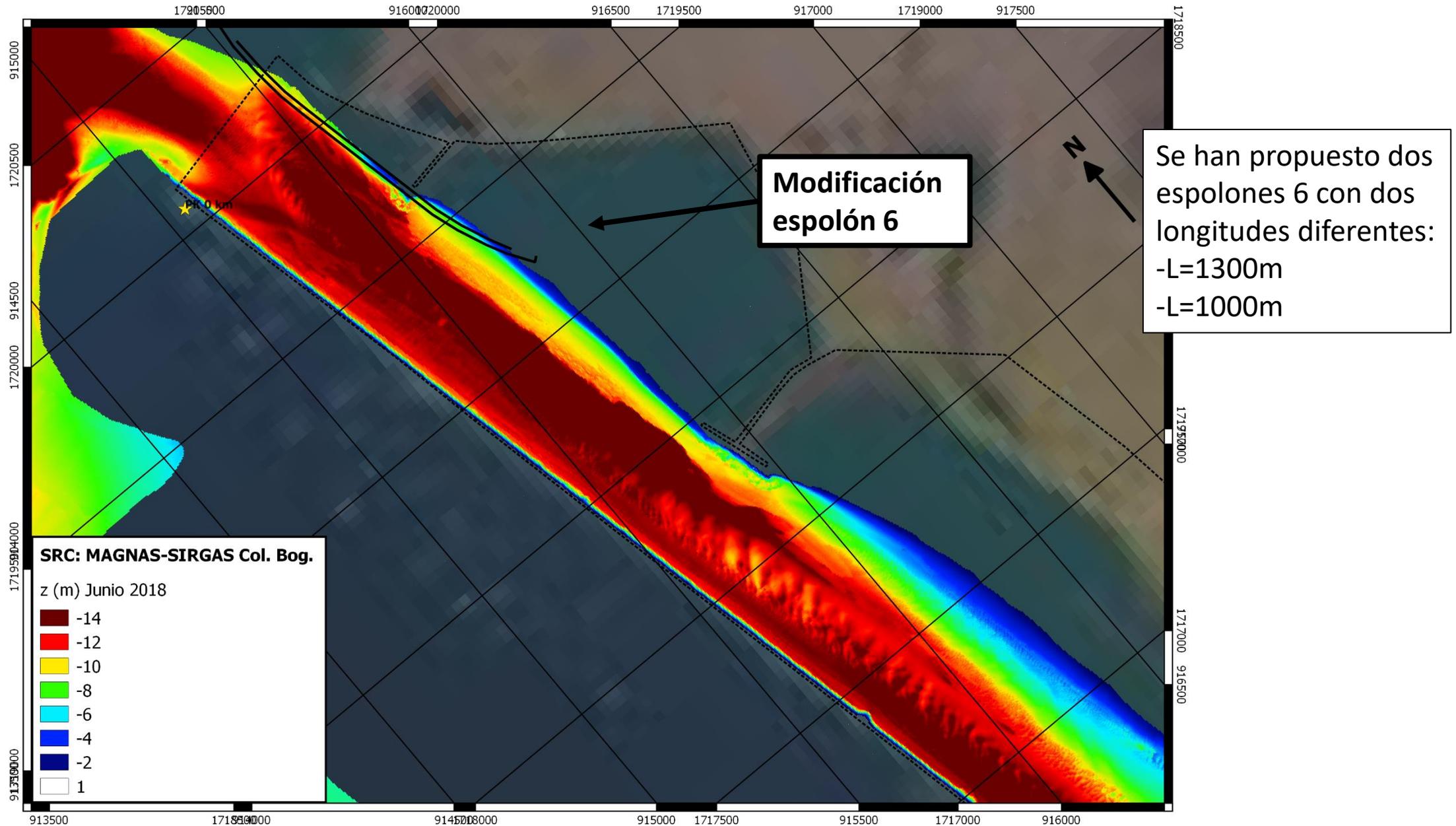
# ALTERNATIVAS DESCARTADAS: ALTERNATIVA 1



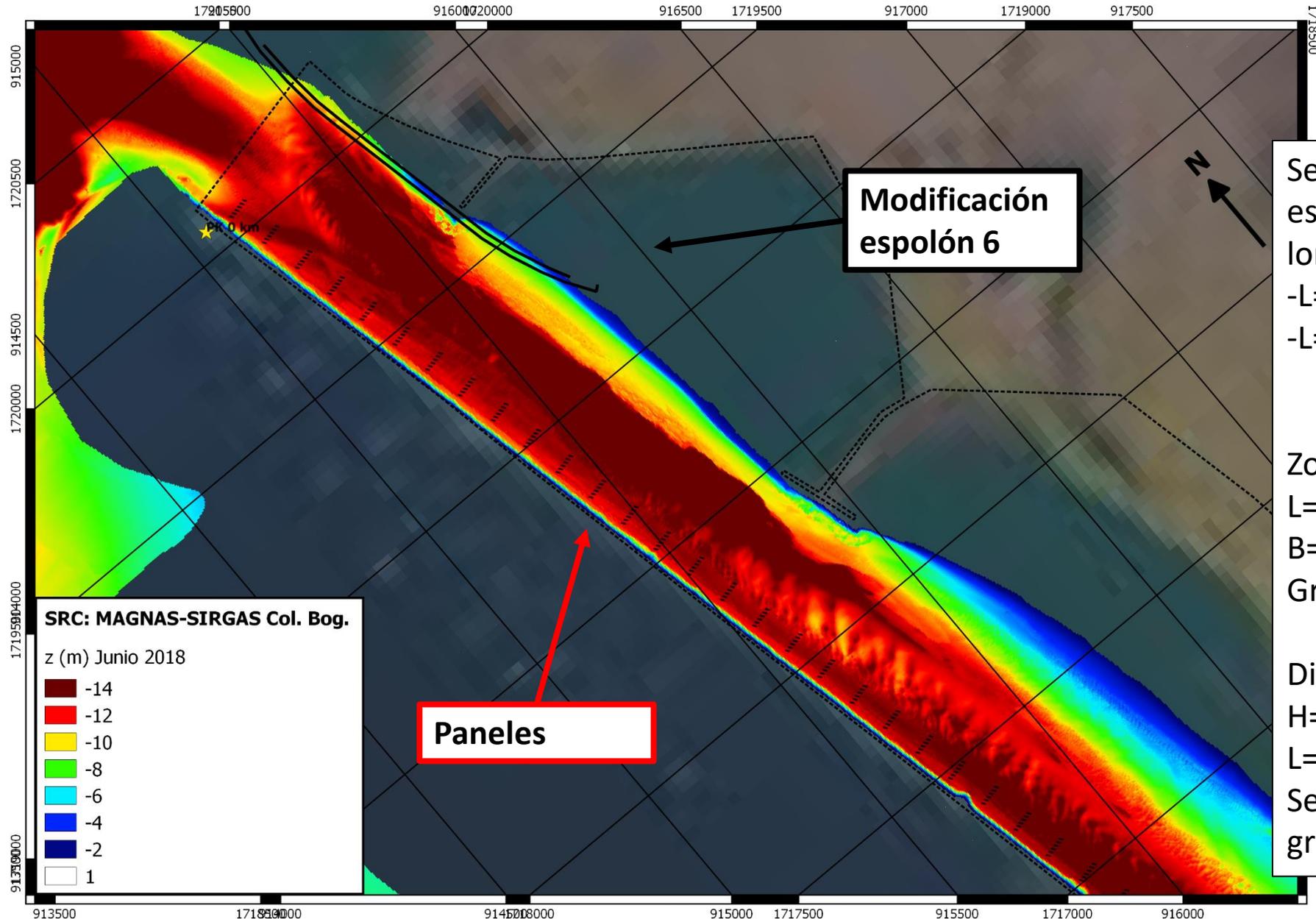
Zona de paneles:  
L=3.5km  
B=100m  
Grupos de 6 paneles.

Diseño panel:  
H=4m  
L=6m  
Separación entre grupos de 120m

# ALTERNATIVAS DESCARTADAS: ALTERNATIVA 2



# ALTERNATIVAS DESCARTADAS: ALTERNATIVA 3

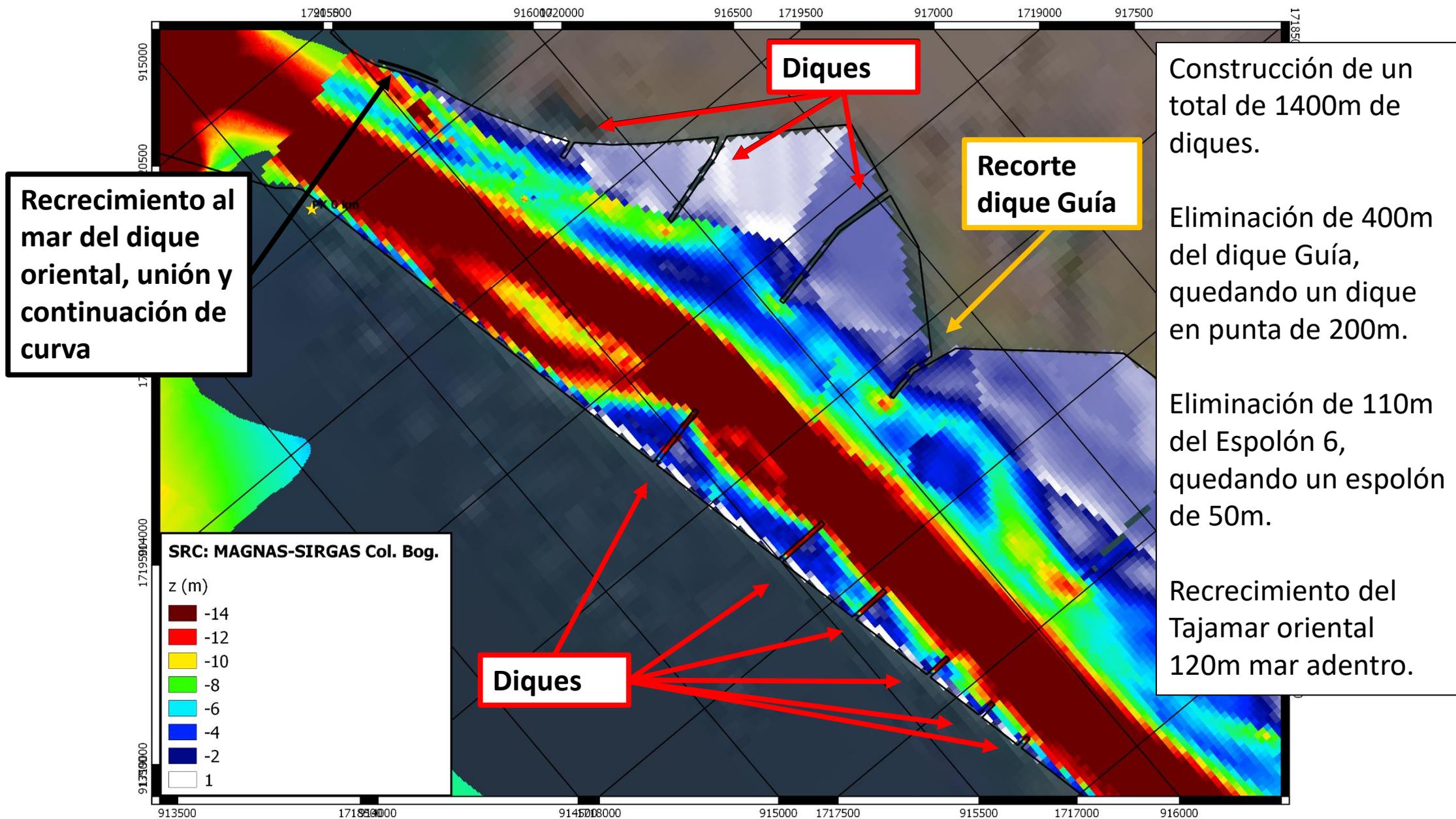


Se han propuesto dos espolones 6 con dos longitudes diferentes:  
 -L=1300m  
 -L=1000m

Zona de paneles:  
 L=3.5km  
 B=100m  
 Grupos de 6 paneles.

Diseño panel:  
 H=4m  
 L=6m  
 Separación entre grupos de 120m

# ALTERNATIVAS DESCARTADAS: ALTERNATIVA 6





## *4. Casos de Éxito Paneles Sumergidos*

# USO DE PANELES SUMERGIDOS CASOS REALES EXITOSOS



Foto Tomada de Odgaard 2009.

Huntly vane nose-pipe and main-pipe sleeve detail. Source: Electricity Corporation of New Zealand (1993),

# Río Nishnabotna. IOWA USA

**Fuente:** Odgaard 1987

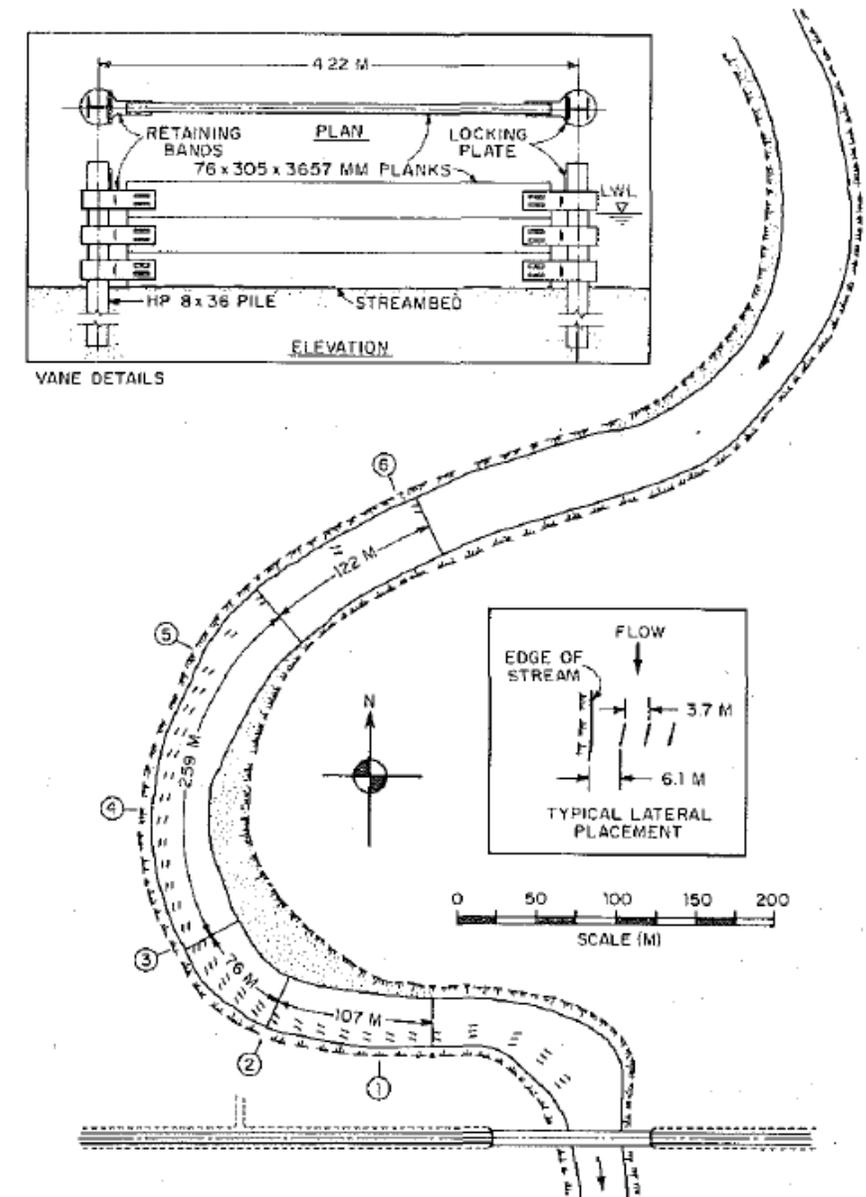
**Río:** Nishnabotna River

**Caudal Medio:** 50 m<sup>3</sup>/s

**Propósito:** Control de Orilla

**Conclusión:**

The data from the field installation show that the bank protection technique described herein is a feasible and realistic alternative to the traditional techniques, e.g., rock riprap and spur dikes.



**FIG. 4.—Layout of Vane System in East Nishnabotna Bend**

# Río Missouri. IOWA USA

Fuente: Nakato 1989

Río: Missouri River

Caudal Medio: 1600 m<sup>3</sup>/s

Propósito: Control Toma Agua Hidroeléctrica

Conclusión: The combination of flow-turning vanes and a sediment-barrier wall is an effective means of limiting the inflow of bedload sediment into riverside intake structures on sand-bed rivers.

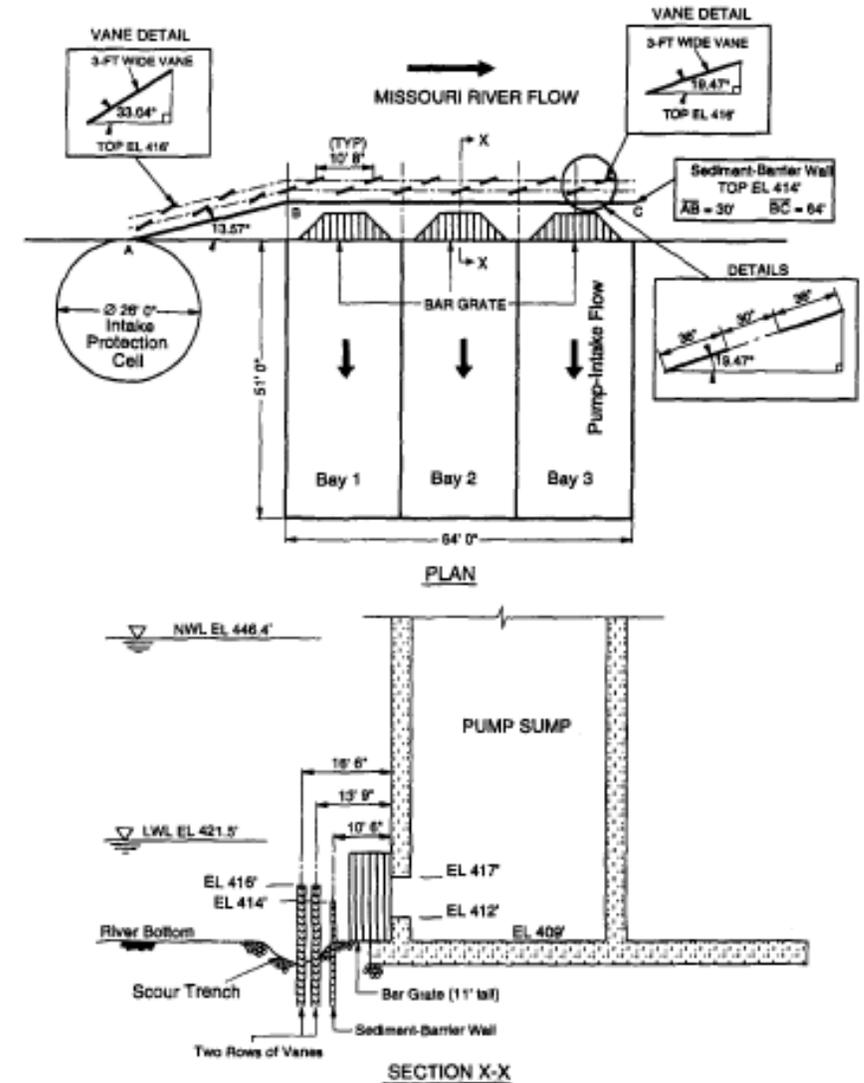


FIG. 6. Plan and Section of Sediment-Barrier Wall and Flow-Turning Vanes Developed for Study 3

# Rock River. Illinois USA

Fuente: Wang 1996

Río: Rock River

Caudal Medio: 500 m<sup>3</sup>/s

Propósito: Sistema de Refrigeración planta de energía

Conclusión: The aforementioned examples demonstrate the merit of submerged vanes as a sediment management tool at water intakes.c

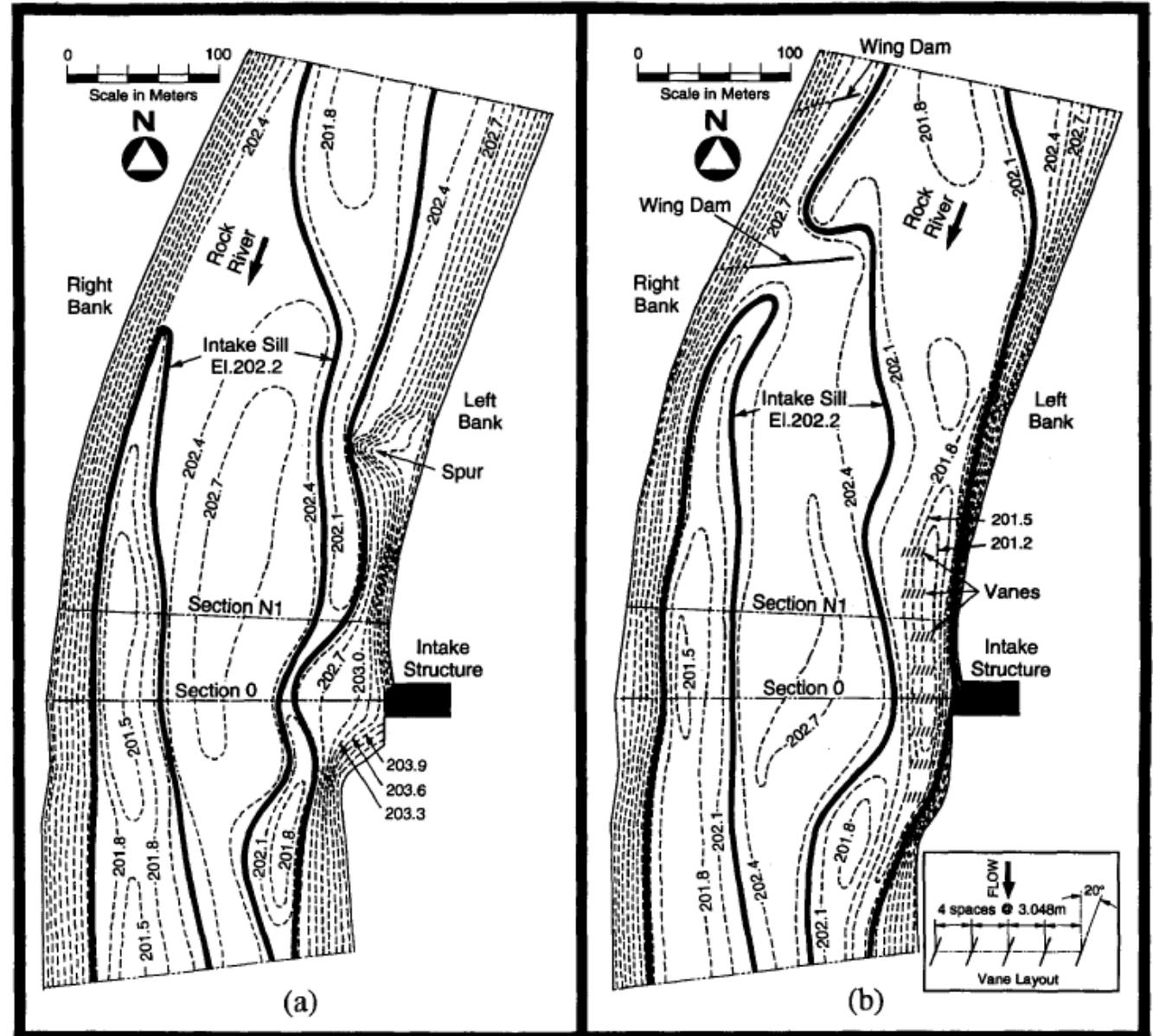


FIG. 4. Bed-Level Contours in Rock River at Byron Station Intake Structure: (a) In 1990; (b) in 1994

# North fish Creek. Wisconsin USA

**Fuente:** Fitzpatrick 2005

**Río:** NorthFish Creek

**Caudal Medio:** 50 m<sup>3</sup>/s

**Propósito:** Evitar erosión en el pie del talud en cauces de alta montaña

**Conclusión:** channel cross-section data from 2000 to 2003 indicate that the vanes have caused the channel to move away from the base of the bluff (outside of the bend) and toward the point bar (inside of the bend), allowing sediment to deposit at the base of the bluff.



# Muskingum River. Illinois USA

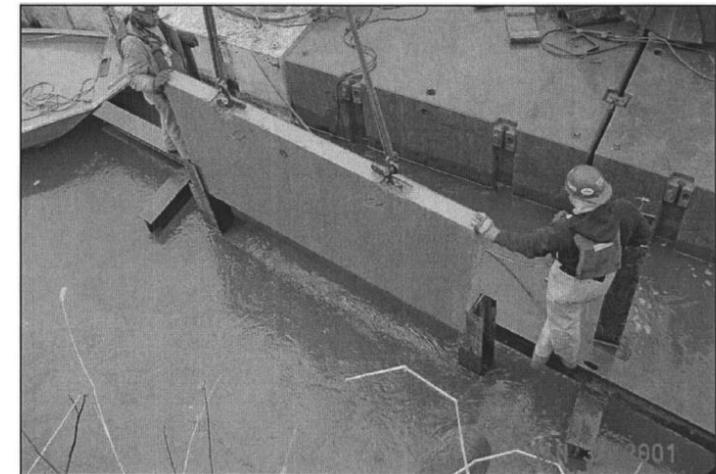
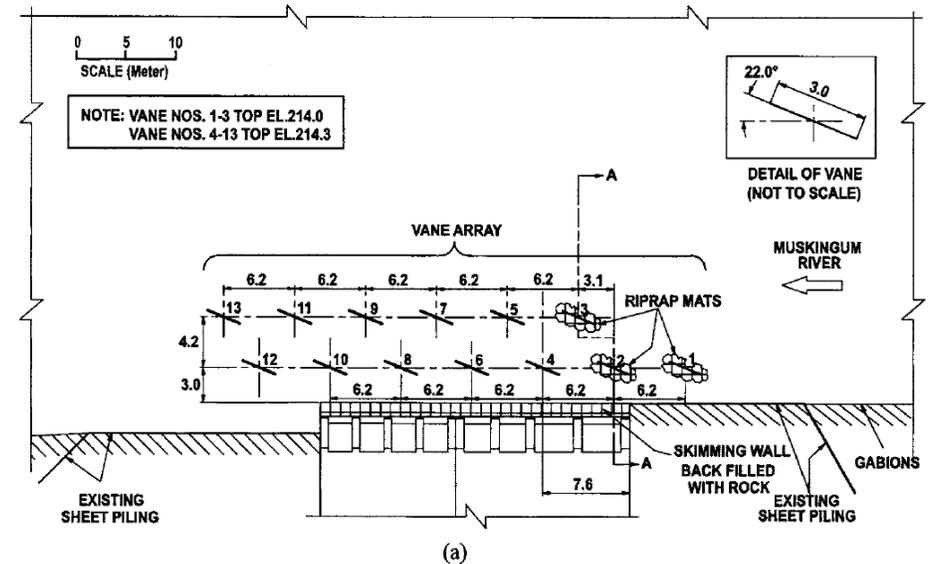
**Fuente:** Michell 2006

**Río:** Muskingum River

**Caudal Medio:** 500 m<sup>3</sup>/s

**Propósito:** Toma de agua para una central térmica

**Conclusión:** The sediment control modifications completed at the Station Fig. 11 have proven to be very effective in aiding the river flow transport of sediment past the intake structure.



**Fig. 17.** Precast concrete vane panels being placed between H-pile supports. Placement guides extend temporarily above H columns.

# Feng-Shan Creek. Taiwan

**Fuente:** Odgaard 2009

**Río:** Feng-Shan Creek

**Caudal Medio:** 1500 m<sup>3</sup>/s

**Propósito:** Protección de orilla

**Conclusión:** The vanes have been very effective in building up and maintaining a protective berm along the bank. As seen, the berm is now heavily vegetated. The vegetation developed on the berm provides additional protection of the bank.



**Figure 5-16.** Location of submerged vanes in the Maoerding bend of Feng-Shan Creek, Taiwan. Flow is from right to left. Courtesy of Keh-Chia Yeh, National Chiao Tung University.

# Waikato River. New Zealand

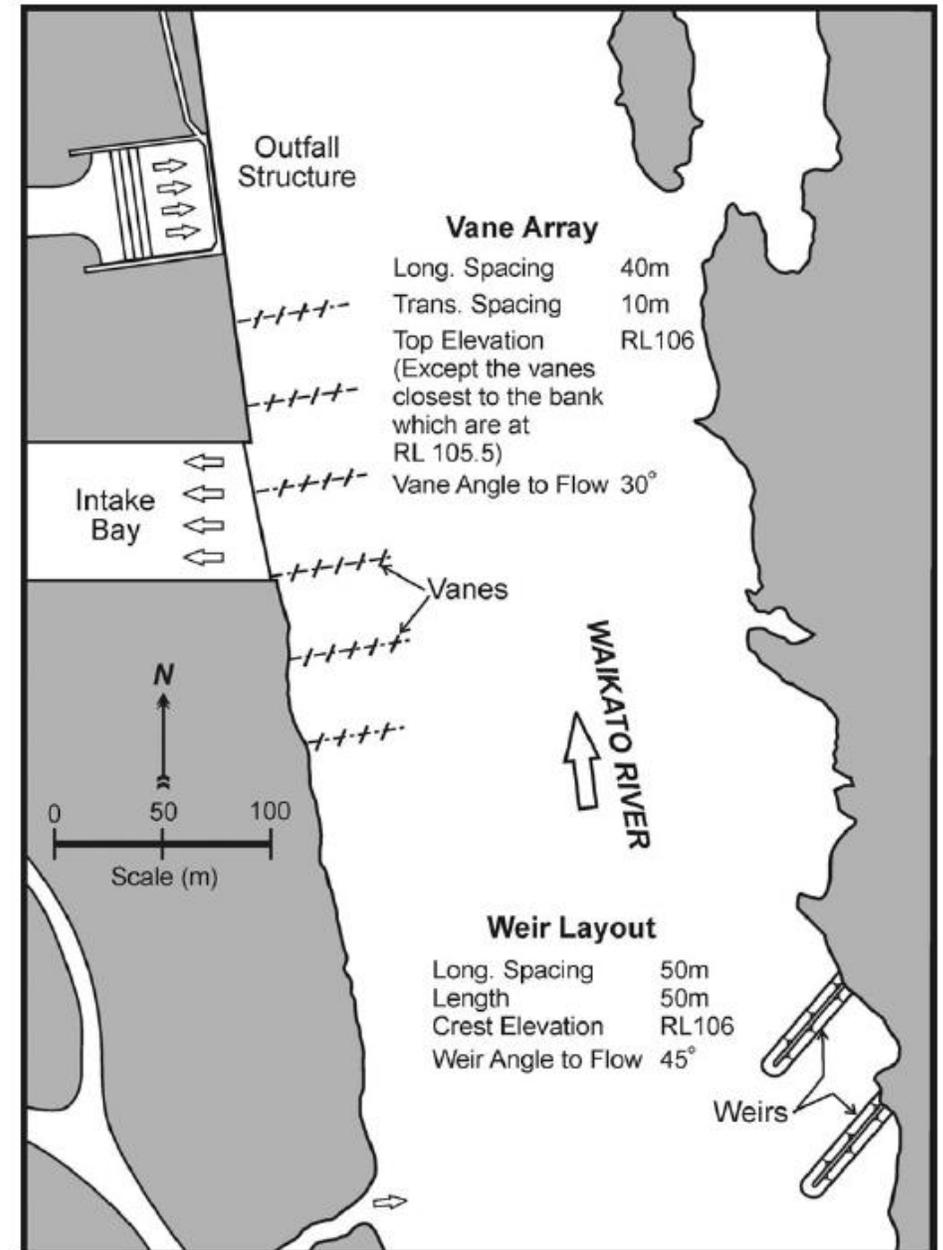
**Fuente:** Odgaard 2009

**Río:** Waikato River

**Caudal Medio:** 500 m<sup>3</sup>/s

**Propósito:** Protección de toma de agua

**Conclusión:** The design was tested and fine-tuned in the **scale model**.



**Figure 5-40.** Layout of vane system in Waikato River at Huntly Power Station. Source: Keller (1993) with permission from Genesis Energy.

# Río Sinú. Colombia

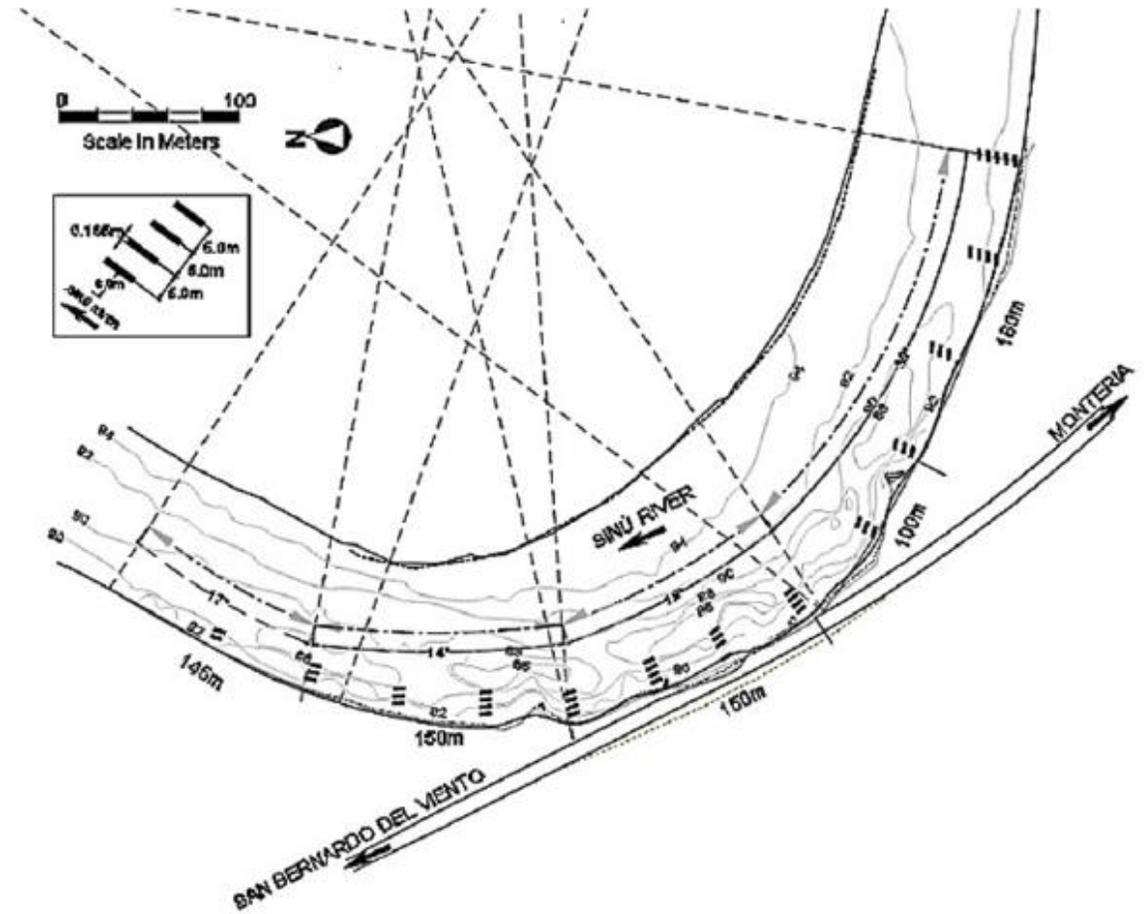
**Fuente:** Rodríguez 2019

**Río:** Río Sinú

**Caudal Medio:** 450 m<sup>3</sup>/s

**Propósito:** Protección de orilla

**Conclusión:** To date (2019), the site is stable, and no maintenance has been required since its construction.



(b)

# Río Metica Puerto López. Colombia

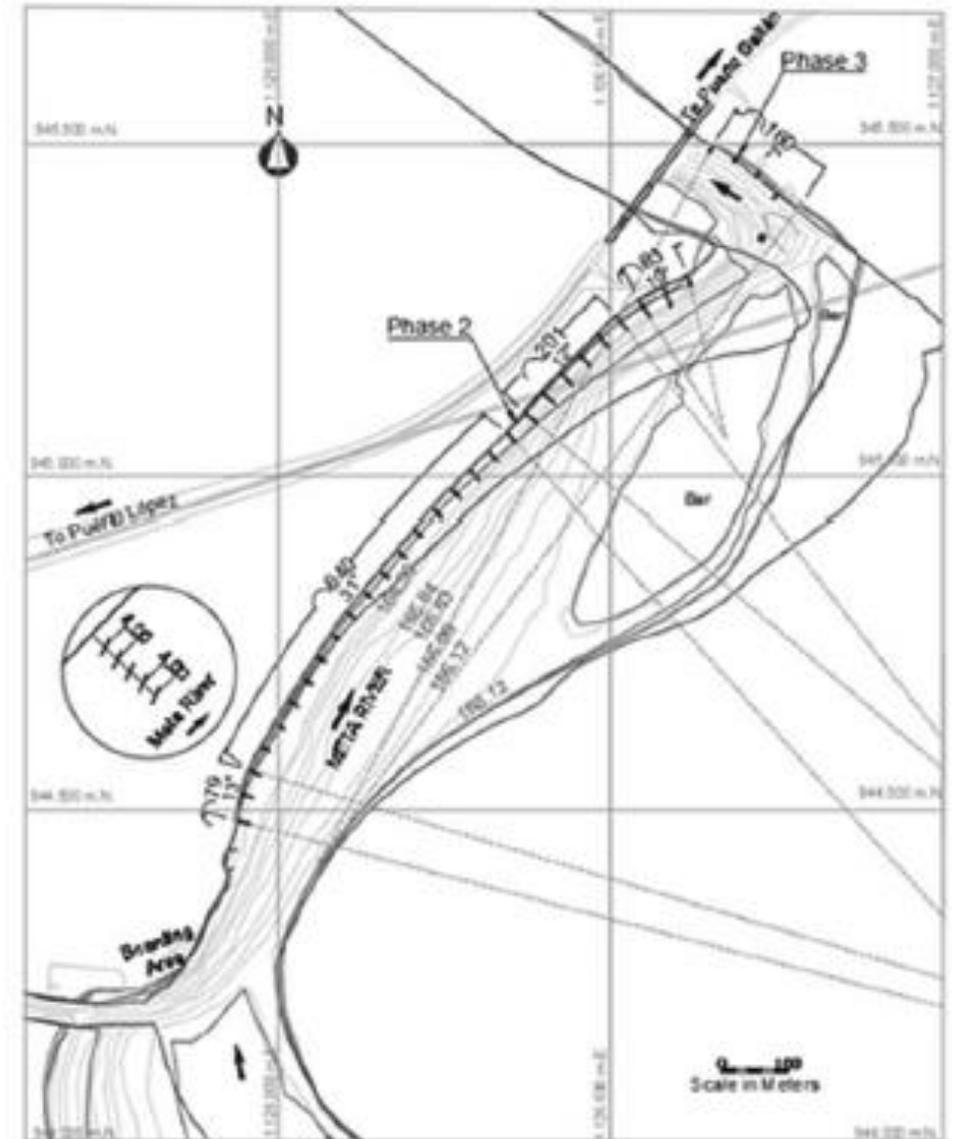
**Fuente:** Rodríguez 2019

**Río:** Río Metica

**Caudal Medio:** 1200 m<sup>3</sup>/s

**Propósito:** Protección de orilla

**Conclusión:** The cost of the project amounted to USD 448,900, at the rate of USD 429 per meter of protected bank, while the conventional spur dike solution cost USD 1,887,900, meaning that a savings of USD 1,439,000 was generated.



(b)

## INSTALACIÓN DE PANELES



**Figure 6-4.** Vane installation at Kuraimat Power Station, the Nile River, Egypt, 2007. Photo shows sheet-piles being driven in a template that controls vane orientation. Intake is in the background of the photo. Courtesy of Adnan M. Alsaffar.



## ***5. Hidráulica de Costas***

# CAMPAÑAS DE MEDICIÓN EN CAMPO

Aforos mensuales

✓ (Nov/17)  
 ✓ (Dic/17)  
 ✓ (Ene/18)  
 ✓ (Feb/18)  
 ✓ (Mar/18)  
 ✓ (Abr/18)  
 ✓ (May/18)  
 ✓ (Jun/18)  
 ✓ (Jul/18)

- Medición de corrientes, caudales, perfiles longitudinales y toma de muestras de sedimentos de fondo en 4 secciones sobre el río (R01, R05, R06, R08).



Campañas mensuales	Fechas	Estado	Mediciones
M1	6 - 8 de Nov/17	Ejecutada	3 Secciones de Aforo
M2	18 - 20 Dic/17	Ejecutada	4 Secciones de Aforo
M3	22 - 24 de Ene/18	Ejecutada	4 Secciones de Aforo
M4	22 - 25 Mar/18	Ejecutada	4 Secciones de Aforo
M5	25 - 28 Abr/18	Ejecutada	4 Secciones de Aforo
M6	16 - 19 May/18	Ejecutada	4 Secciones de Aforo

# CAMPAÑAS DE MEDICIÓN EN CAMPO

## Aforos – Sedimentos - Oleaje



(Noviembre. 2017)



(Febrero 2018)



(Junio 2018)



(Julio 2018)

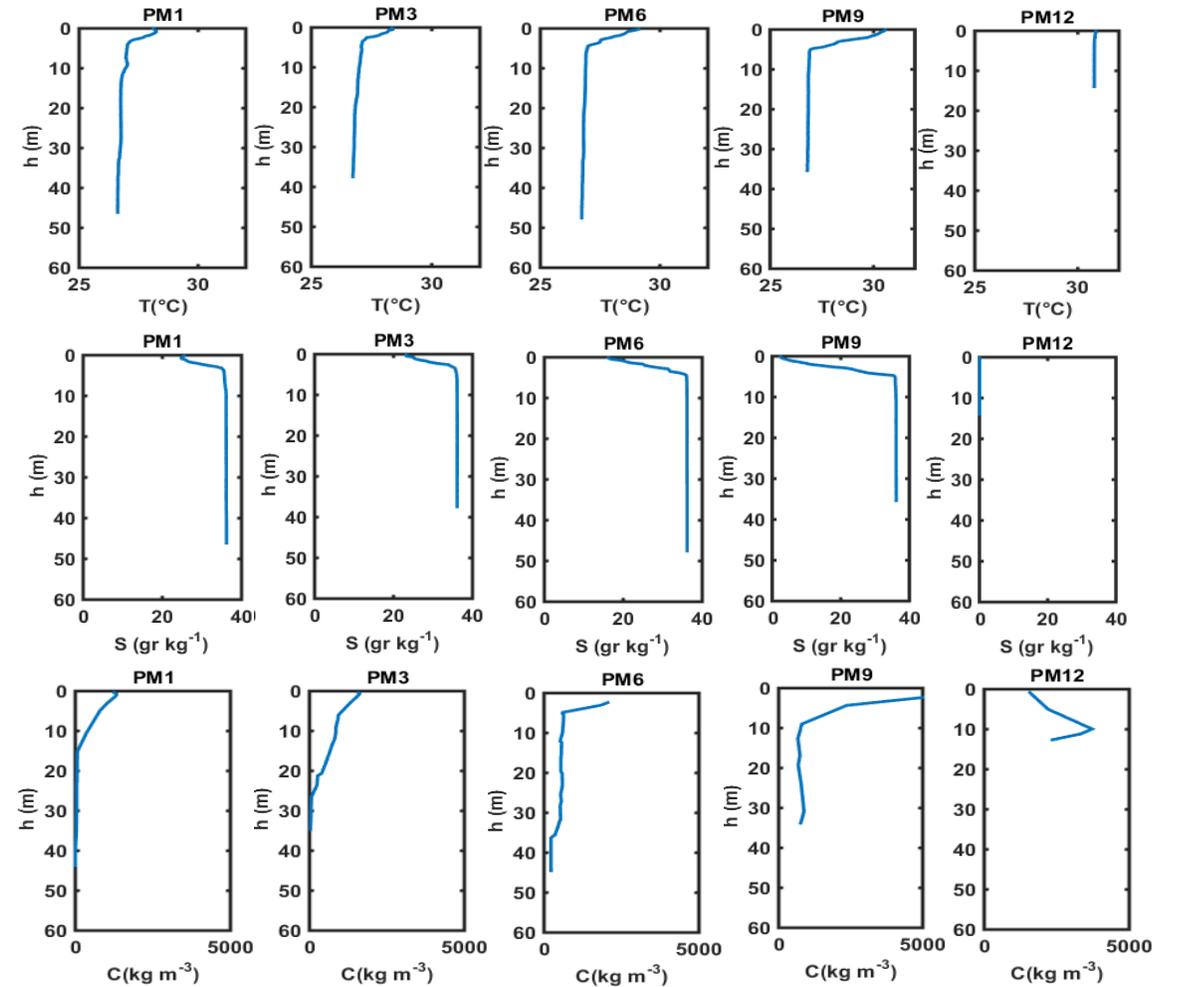


Campañas trimestrales	Fechas	Estado	Mediciones
L1	21 - 30 Nov/17	Ejecutada	Aforo (13 secciones en río) + concentración de sedimentos (dentro y fuera del delta) + <b>Oleaje &amp; corrientes</b> fuera del delta.
L2	22 Feb - 04 Mar/18	Ejecutada	Aforo (13 secciones en río) + concentración de sedimentos (dentro y fuera del delta)
L3	06 -15 Jun/18	Ejecutada	Aforo (13 secciones en río) + concentración de sedimentos (dentro y fuera del delta) + <b>Oleaje &amp; corrientes</b> fuera del delta
L4	22 -29 Julio/18	Ejecutada	Aforo (13 secciones en río) + concentración de sedimentos (dentro del delta)

# MEDICIONES EN EL EXTERIOR DEL DELTA



Perfiles de **temperatura, salinidad y concentración de sedimentos** medidos con el **CTD Castaway** (transecto noroeste, 12 Junio/2018) (PM11 y PM12 corresponden a la desembocadura)



# MODELACIÓN HIDRODINÁMICA DEL OCÉANO



Flow (FLOW), waves (SWAN) and morphologic (MOR) modules



**Deltares**  
Enabling Delta Life

- Modelación escenarios sin obras :
  - Malla refinada con celdas 150 m x 150 m en la parte externa y celdas 50 m x 50 m en la zona de la desembocadura del río.
  - Validación y calibración durante periodos con mediciones en rio y océano (Nov. 2017 y Junio 2018).
  - Selección de escenarios de condiciones medias y para evaluación de estabilidad de obras
- Modelación con obras propuestas:
  - Modelación escenarios condiciones medias y caudales bajos sin oleaje
  - Modelación escenario época seca interacción ola corriente.

# REPRESENTACIÓN CONDICIONES NOVIEMBRE 2017 Y JUNIO 2018

## Simulaciones Noviembre 2017

Esfuerzo de viento: CFSR- NCEP/NCAR (Kalnay, 1996)

1/4°, 1 horas

✓ Flujos de calor: CFSR- NCEP/NCAR (Kalnay, 1996)

1/4°, 1 horas

✓ Condiciones de Frontera: Hycom + NODA

Reanalysis 1/12°, 6 horas

✓ Descarga del río: Mediciones de campo

- Constante de 7400 m<sup>3</sup>/s

✓ Campo de rugosidad variable (detalle rio)

Componente modelación hidráulica

## Simulaciones Junio 2018

Esfuerzo de viento: CFSR- NCEP/NCAR (Kalnay, 1996)

1/4°, 1 horas

✓ Flujos de calor: CFSR- NCEP/NCAR (Kalnay, 1996)

1/4°, 1 horas

✓ Condiciones de Frontera e inicial: Hycom + NODA

Reanalysis 1/12°, 6 horas

✓ Descarga del río: Mediciones de campo

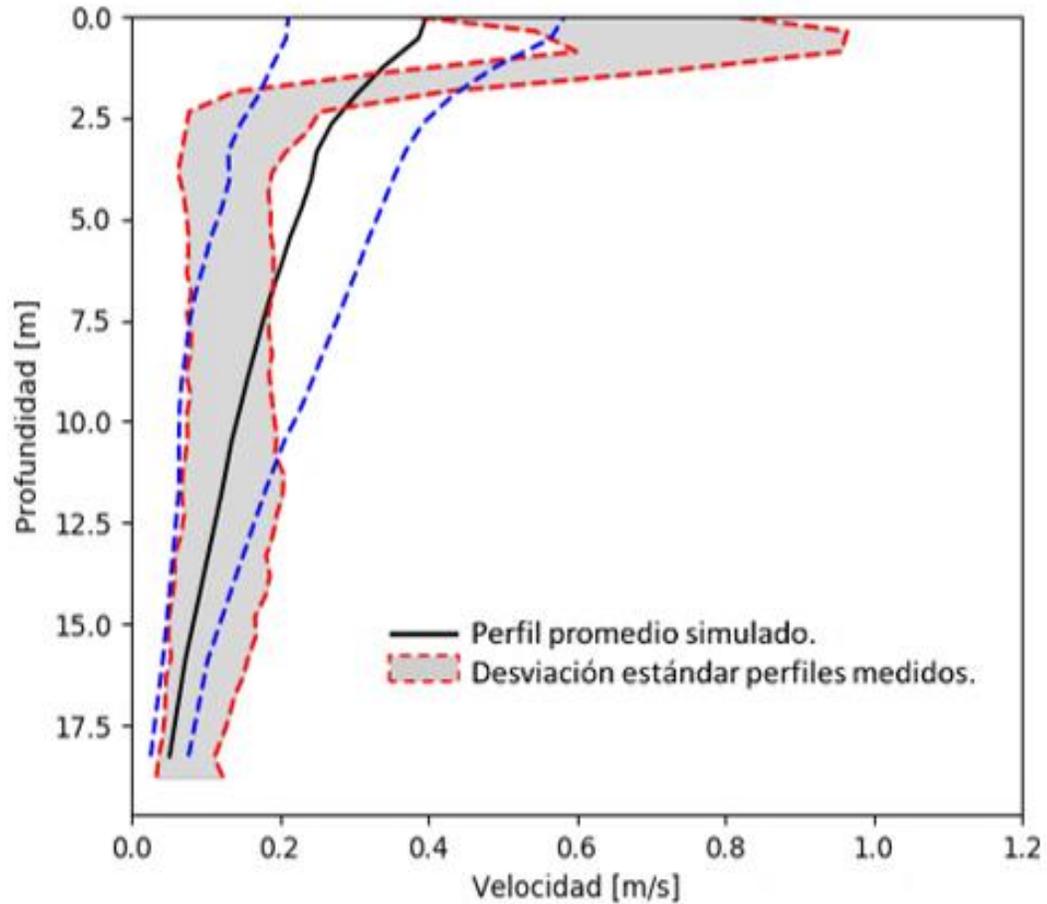
- Constante de 7400 m<sup>3</sup>/s

✓ Campo de rugosidad variable de junio (detalle rio)

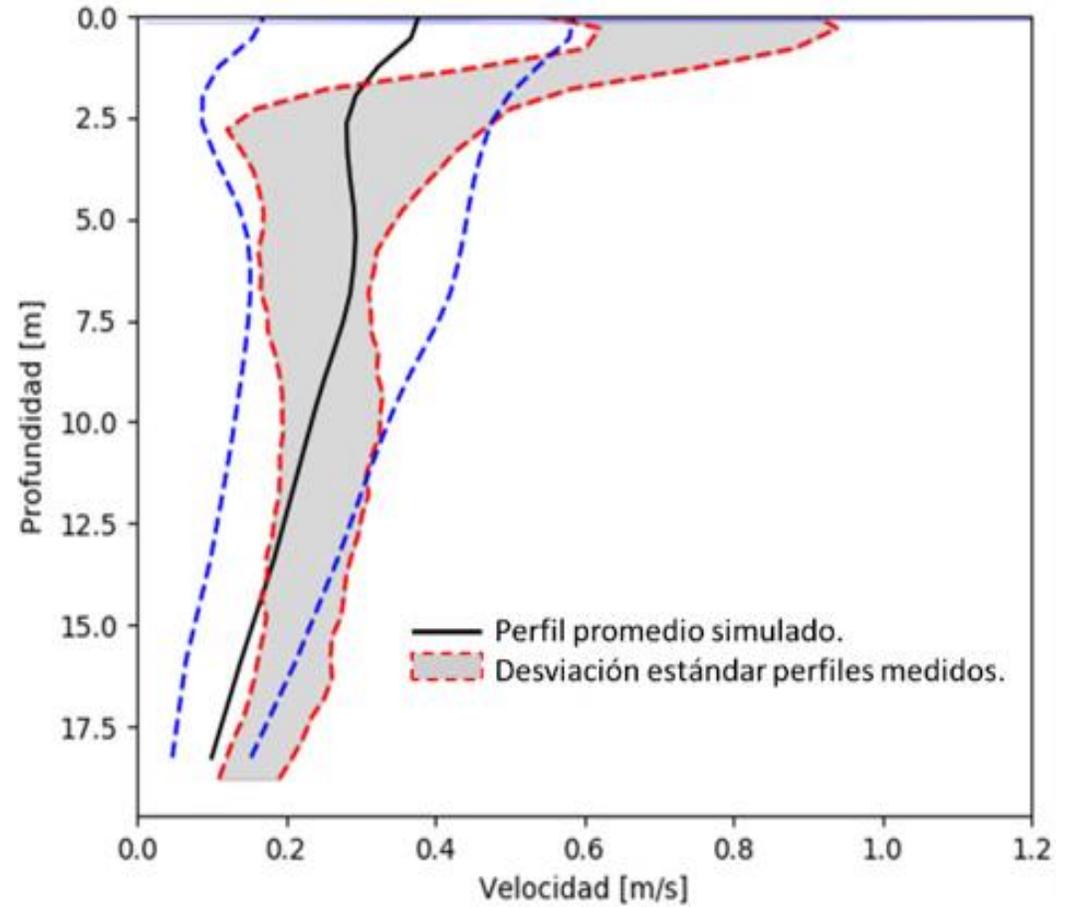
Componente modelación hidráulica

# RESULTADOS

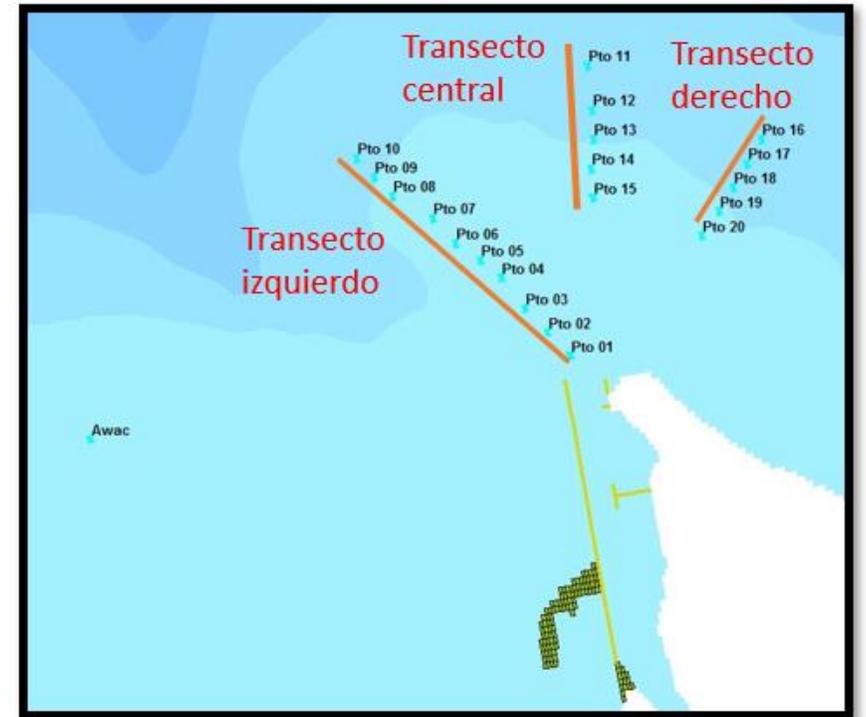
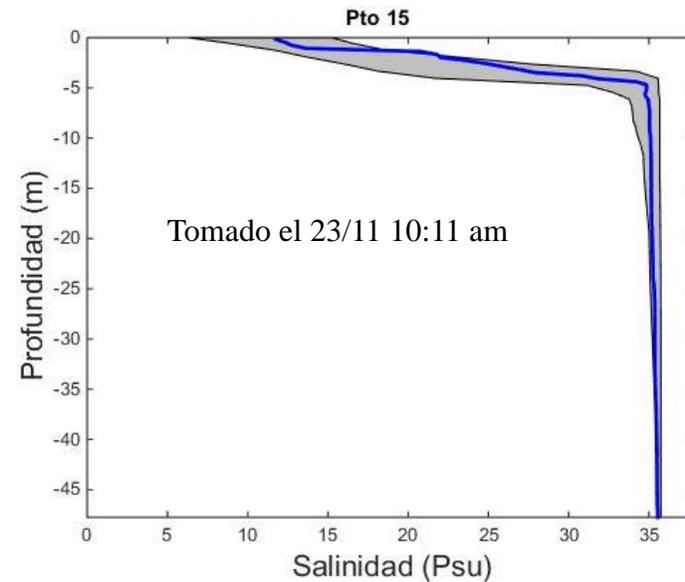
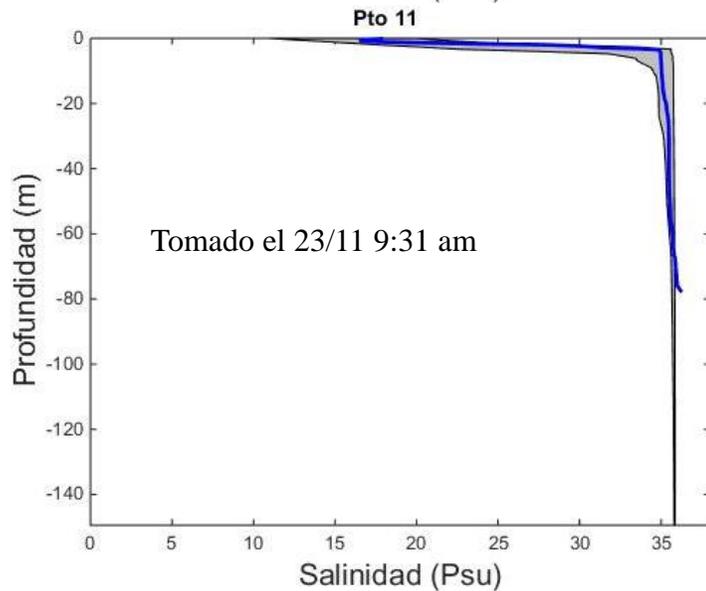
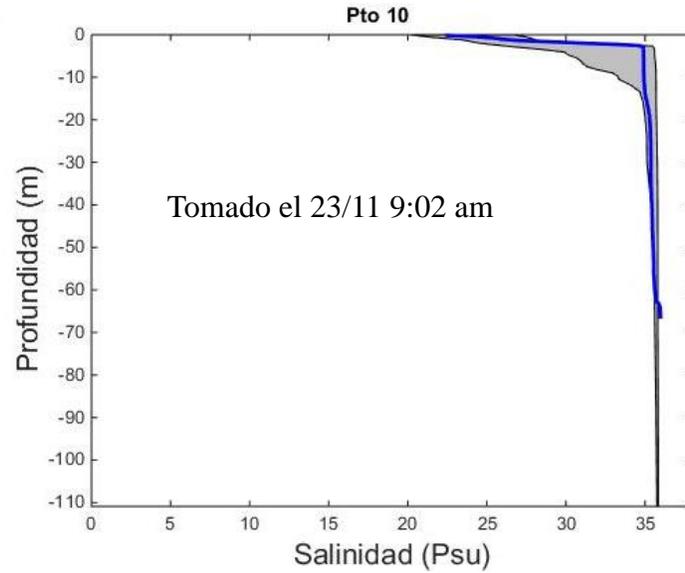
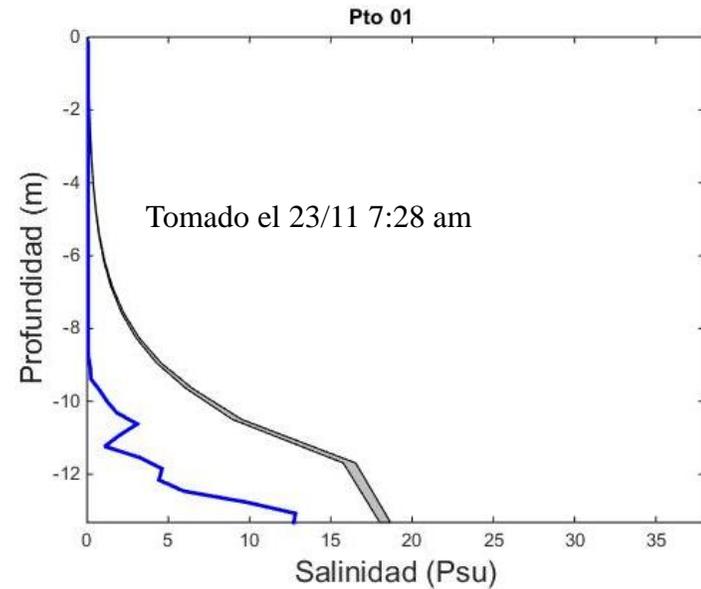
## Simulación Noviembre 2017



## Simulación Junio 2018

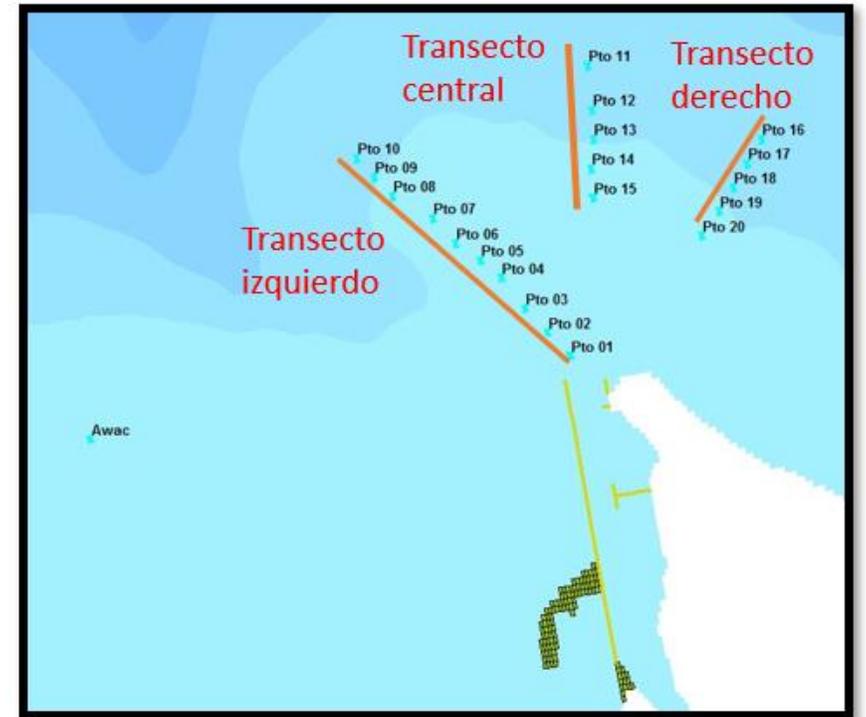
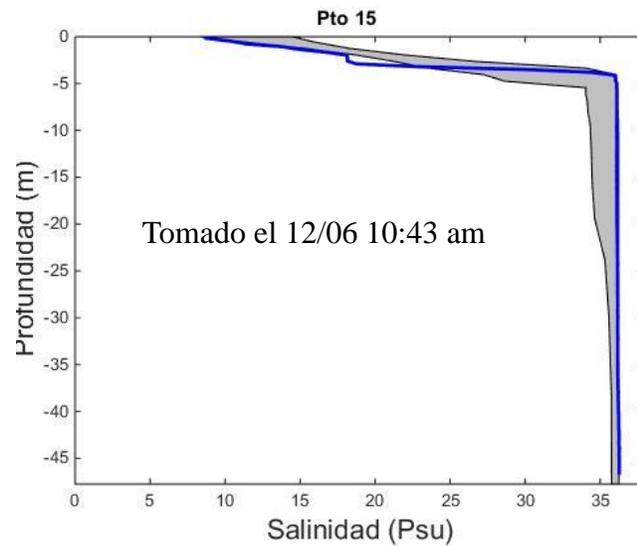
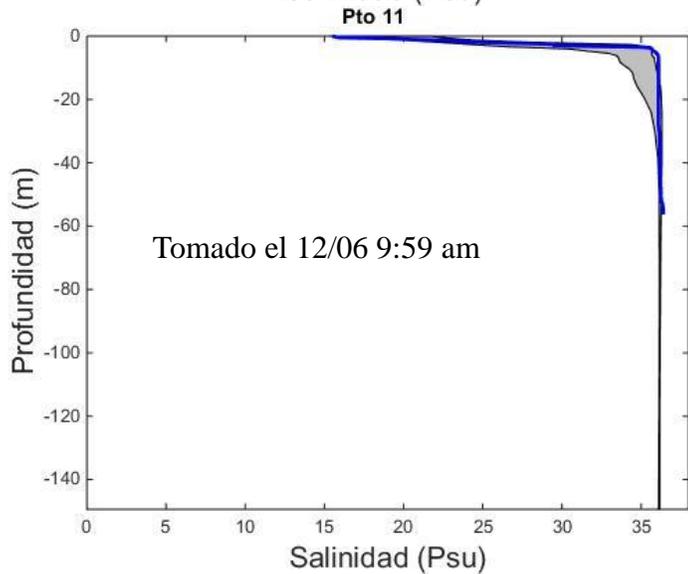
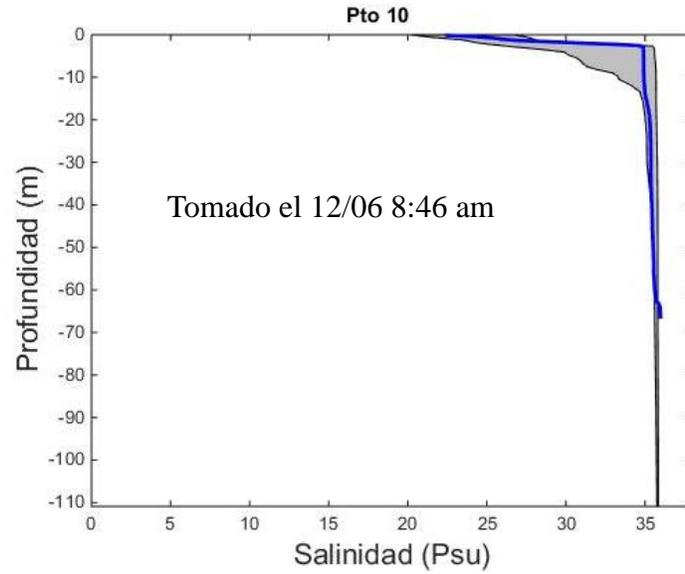
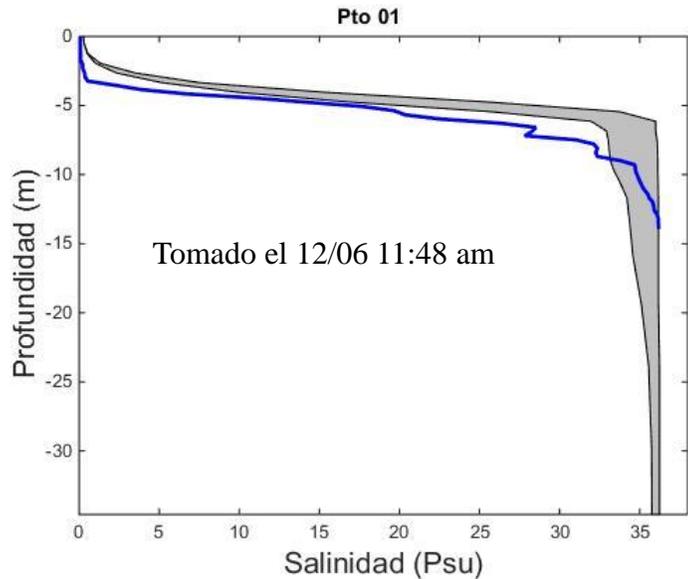


# Resultados – Noviembre 2017



Comparación entre perfiles medidos en campo (línea azul) y la zona de variación de los perfiles simulados con el Delft 2 días antes y después (zona gris)

# Resultados – Junio 2018



Comparación entre perfiles medidos en campo (línea azul) y la zona de variación de los perfiles simulados con el Delft 2 días antes y después (zona gris)

# SELECCIÓN DE CASOS

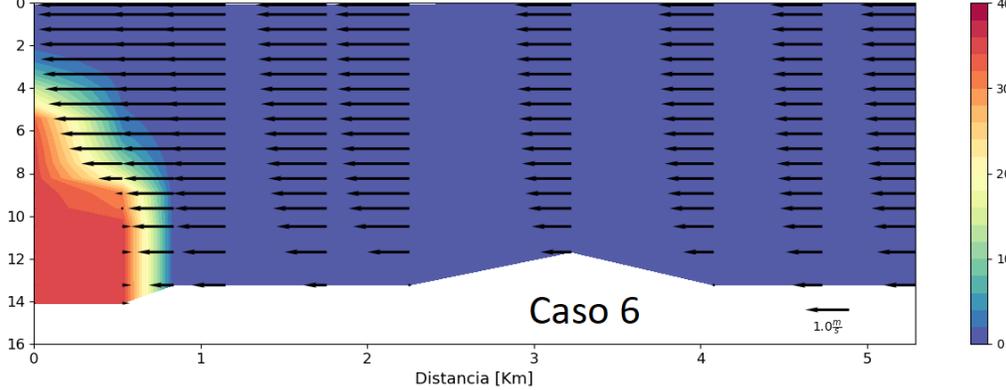
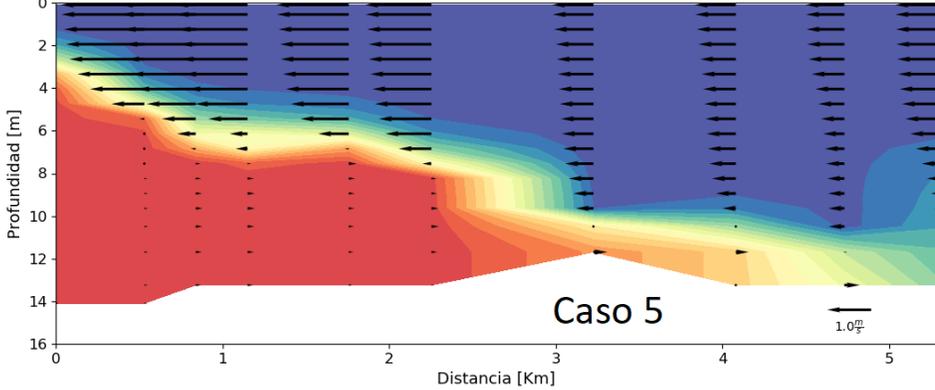
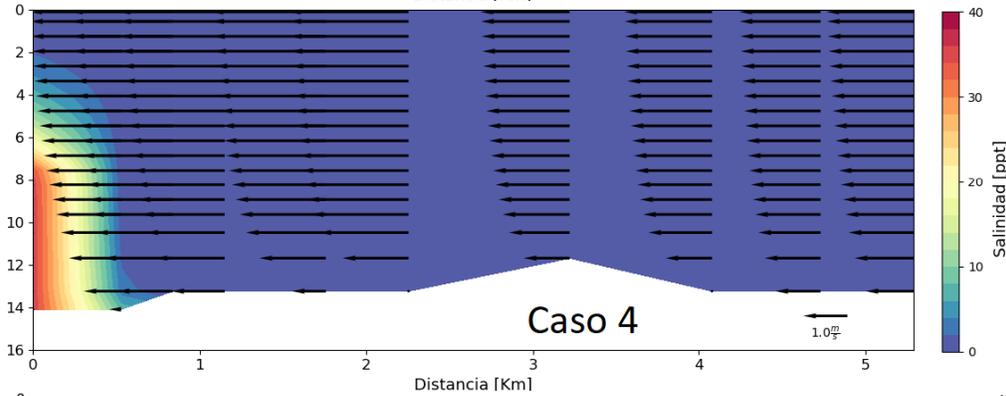
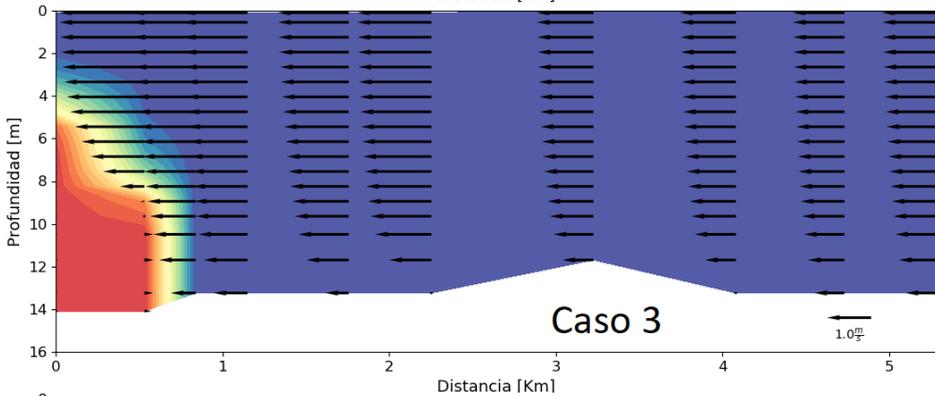
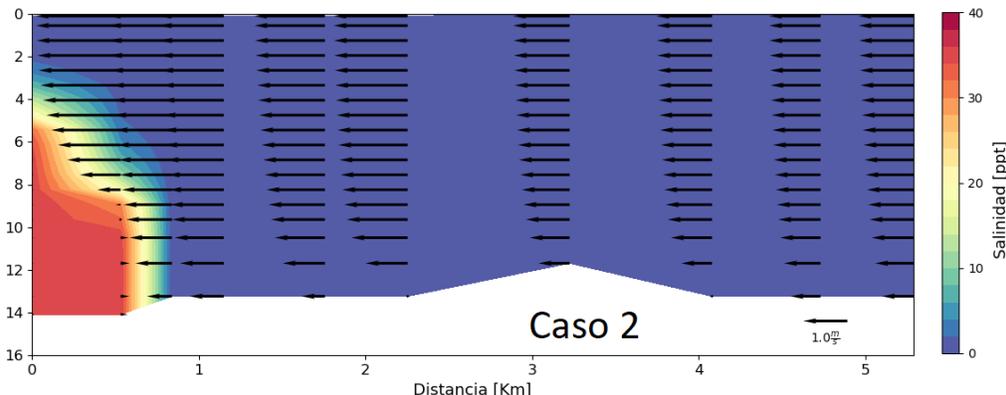
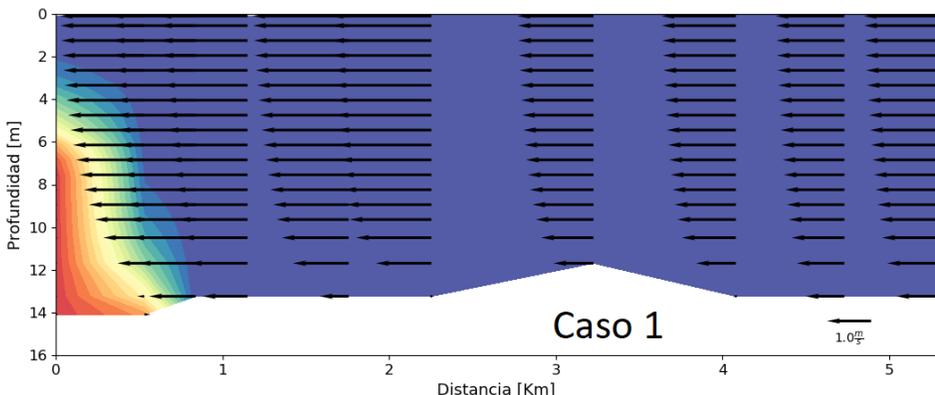
## Simulaciones estacionarias

Número del caso	Velocidad (m/s)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Manning
<b>Cuadrante I [0°, 90°)</b>			
1	6	10000	0.0349
2	9	7400	0.0331
<b>Cuadrante II [90°, 180°)</b>			
3	6	7400	0.0331
4	5	12000	0.0354
<b>Cuadrante III [180°, 270°)</b>			
5	6.5	4000	0.020
6	7	7400	0.0331

- Selección de casos tipo estacionarios probabilidad conjunta entre la magnitud del viento y el caudal (viento de la base de datos de reanálisis CFSR.v2 NCEP/NCAR ¼° (Kalnay, 1996) y Caudal estación Calamar en el periodo 1984 y 2015. )
- Coeficientes de rugosidad de Manning proporcionados por la componente de modelación hidráulica

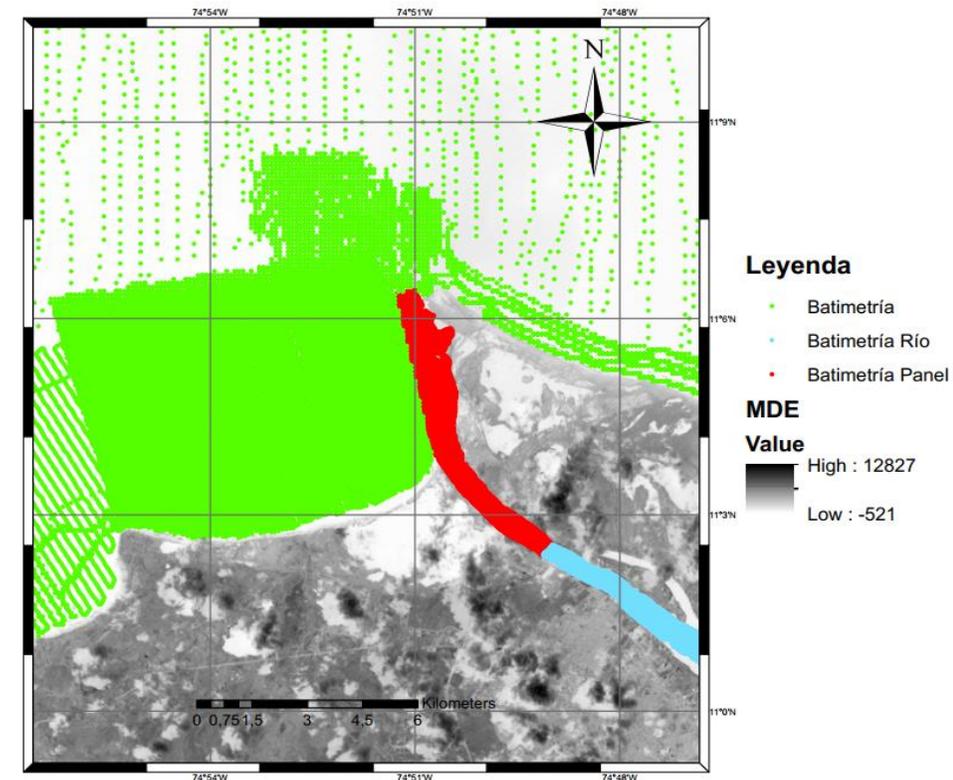
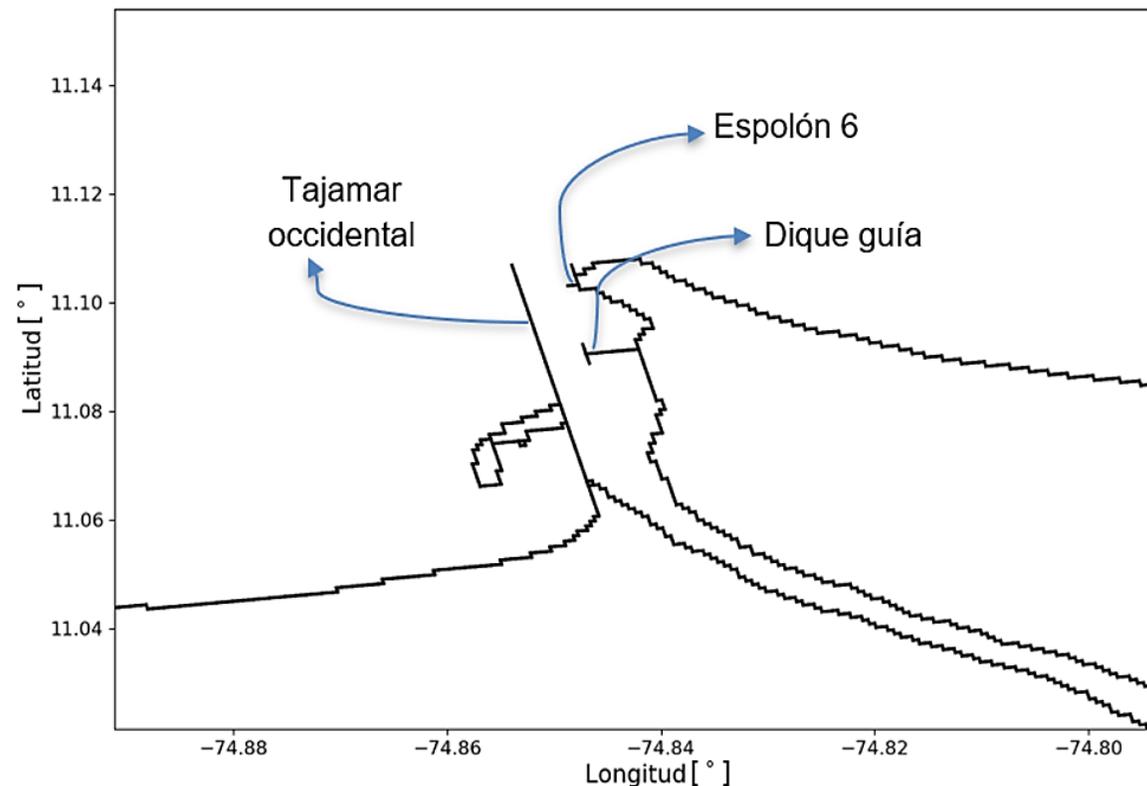
# RESULTADOS – CASOS

Número del caso	Velocidad (m/s)	Caudal (m3/s)	Manning
<b>Cuadrante I [0°, 90°]</b>			
1	6	10000	0.0349
2	9	7400	0.0331
<b>Cuadrante II [90°, 180°]</b>			
3	6	7400	0.0331
4	5	12000	0.0354
<b>Cuadrante III [180°, 270°]</b>			
5	6.5	4000	0.020
6	7	7400	0.0331



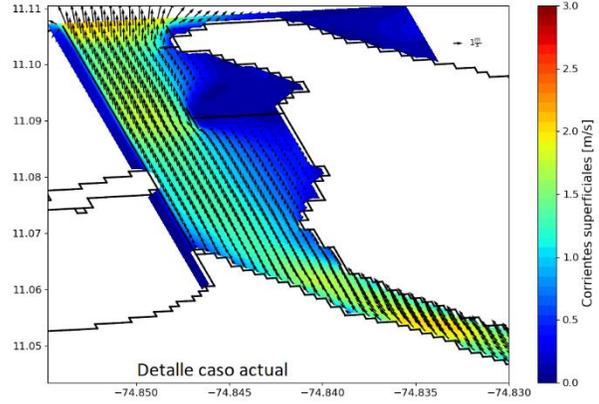
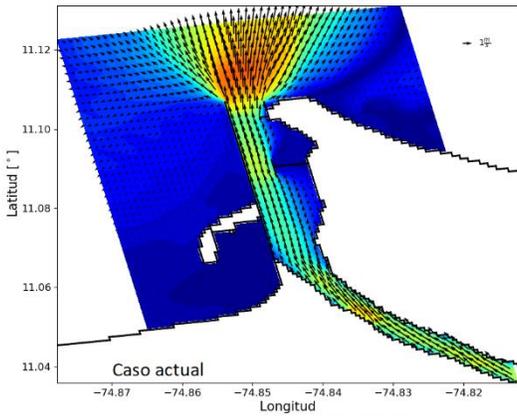
# MODELACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Los cambios se concentran en las inmediaciones de la desembocadura del río e incluyen cambios batimétricos, eliminación del dique guía y el espolón 6, así como la extensión del tajamar oriental en 200 m. La componente de modelación hidráulica proporcionó la batimetría modificada (zona en rojo) figura a la derecha. Se usaron el caso 2 y 5 (caudales de 7400 y 4000 m<sup>3</sup>/s respectivamente).

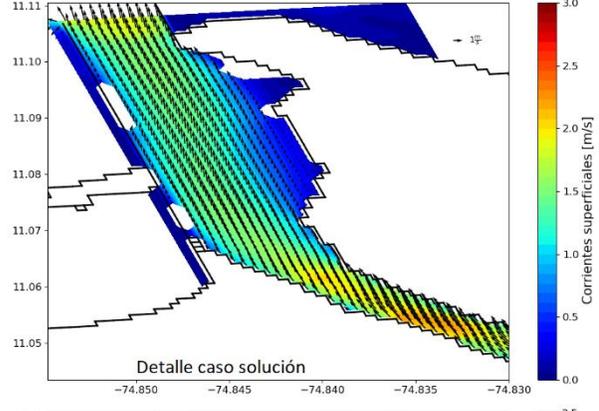
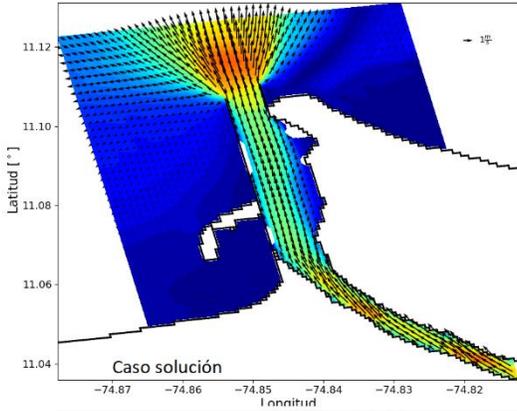


# CASO TIPO SOLUCIÓN 7400 M<sup>3</sup>/S

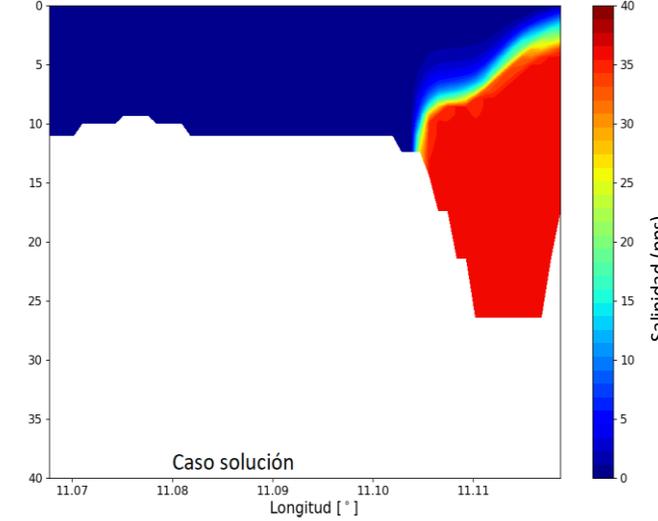
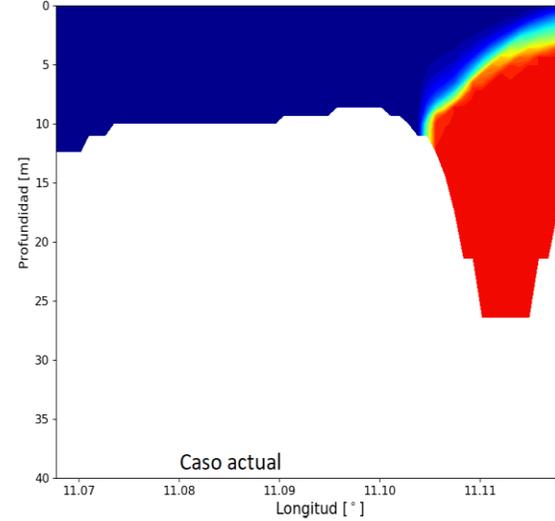
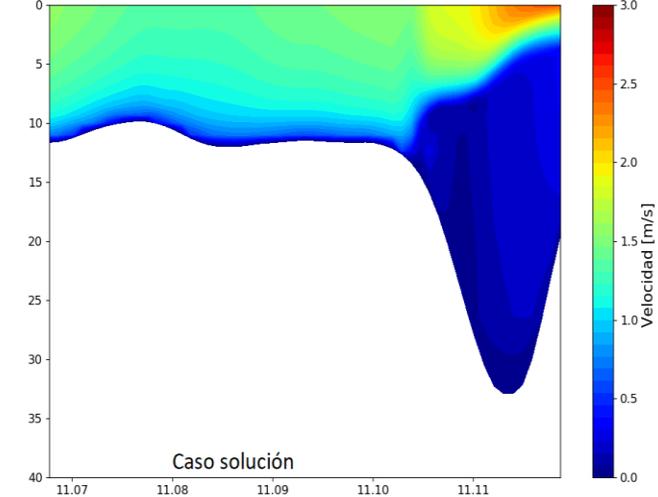
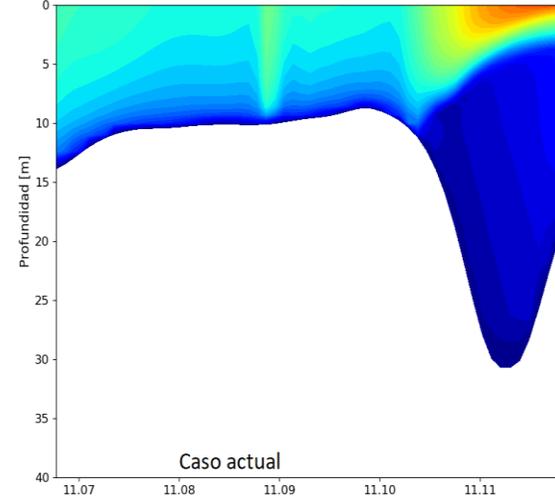
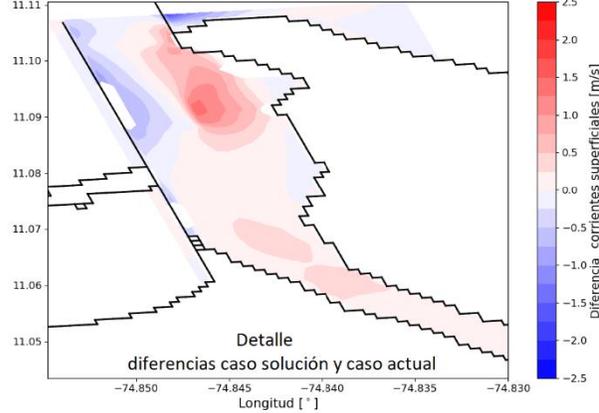
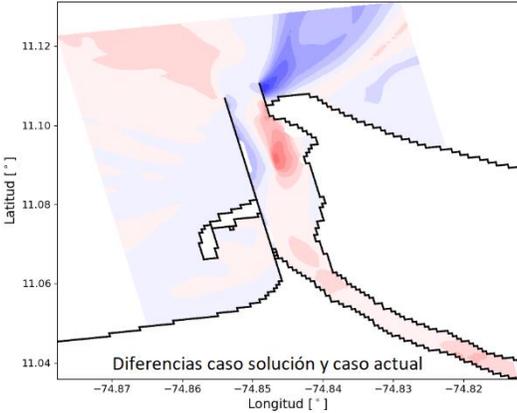
Actual



Solución

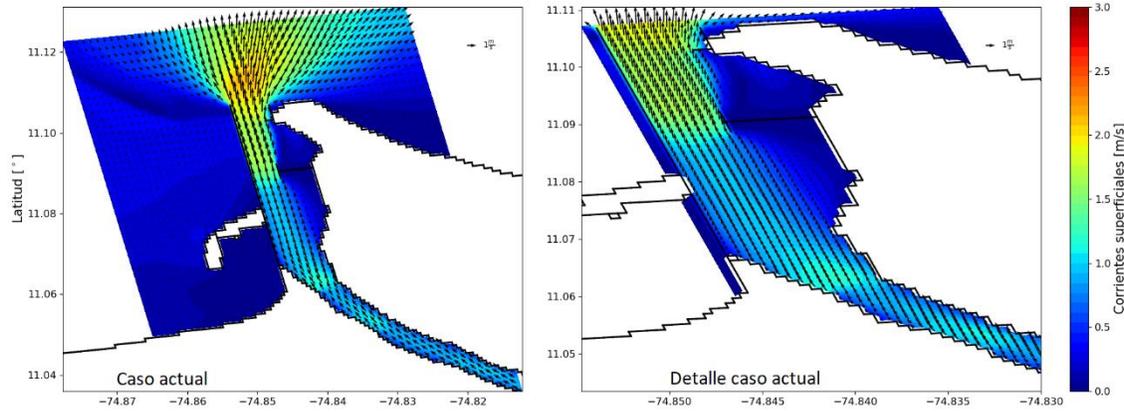


Diferencia S-A

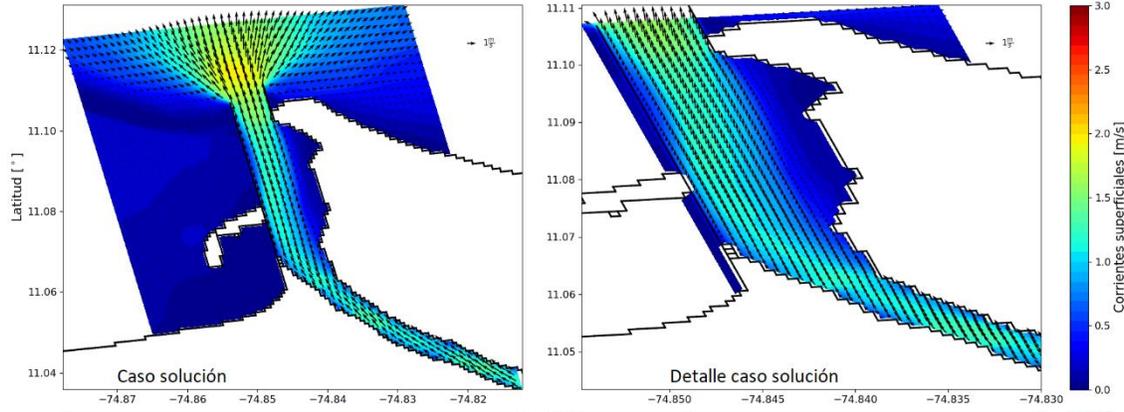


# CASO TIPO SOLUCIÓN 4000 M3/S

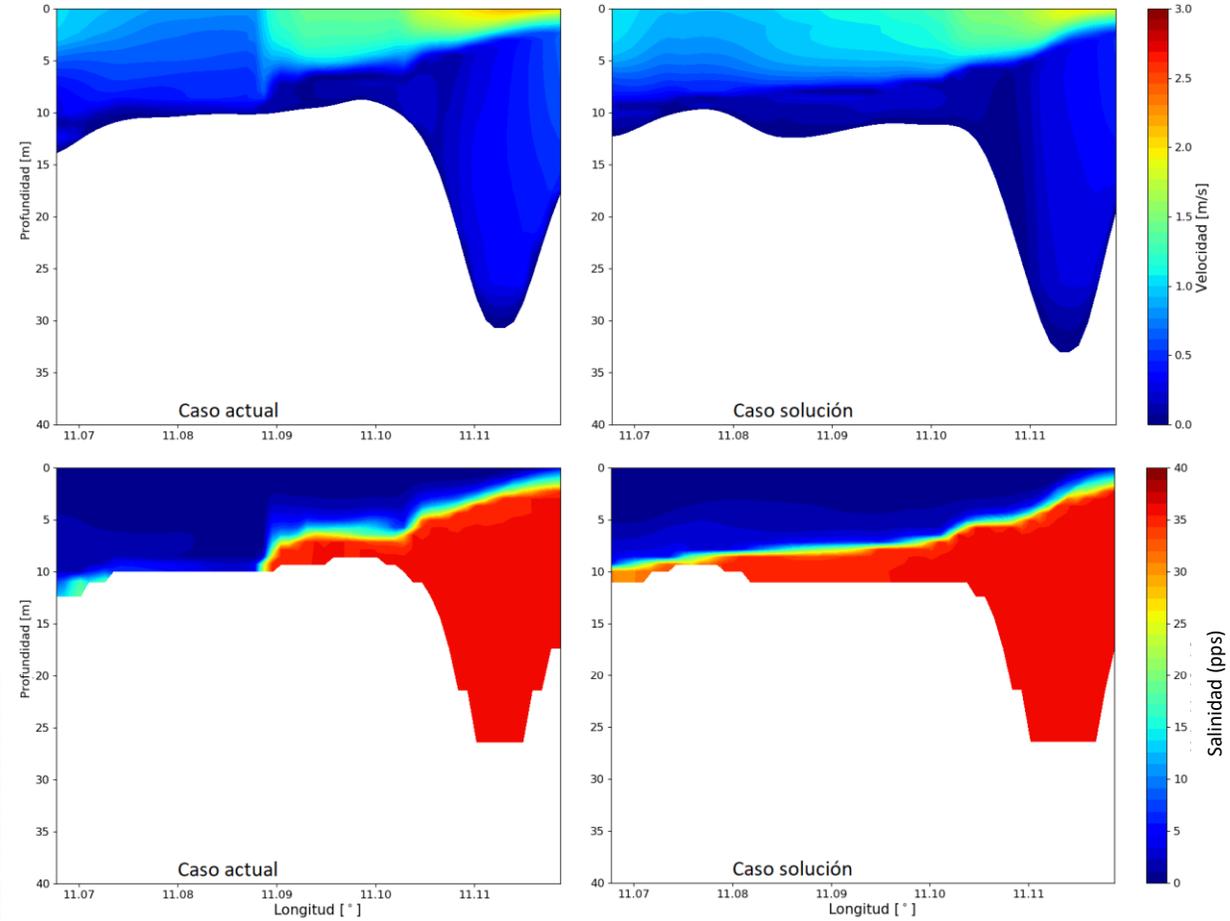
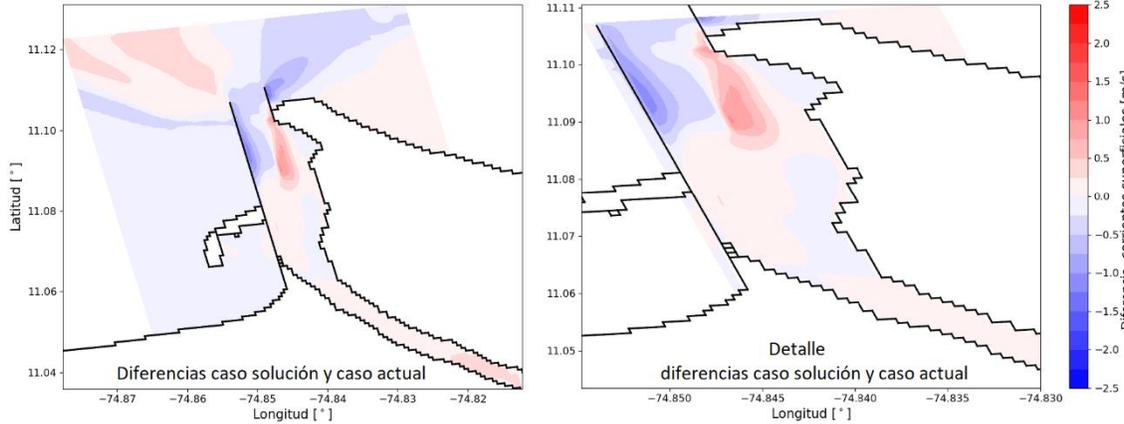
Actual



Solución



Diferencia S-A

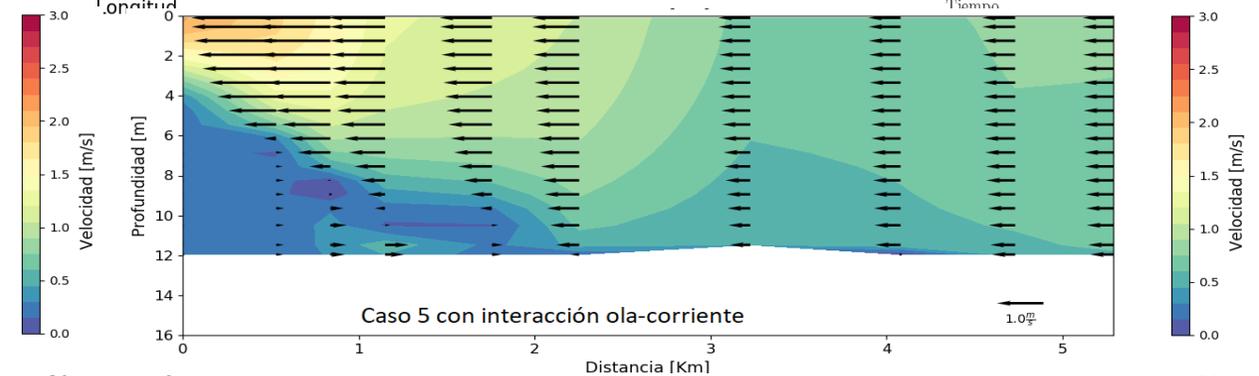
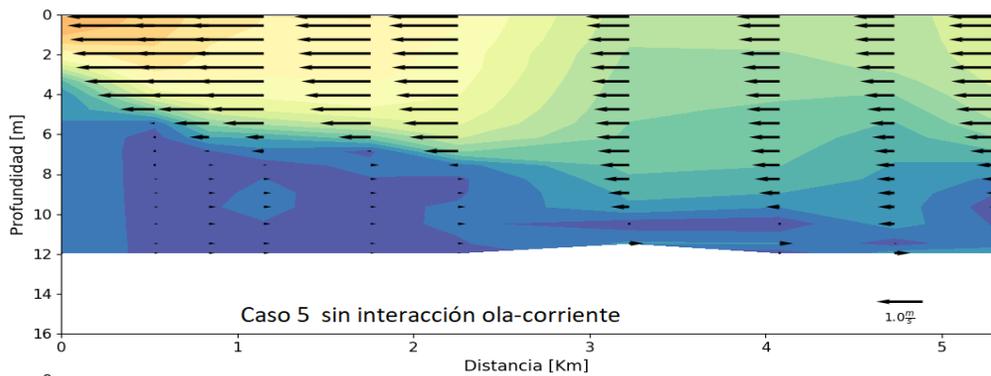
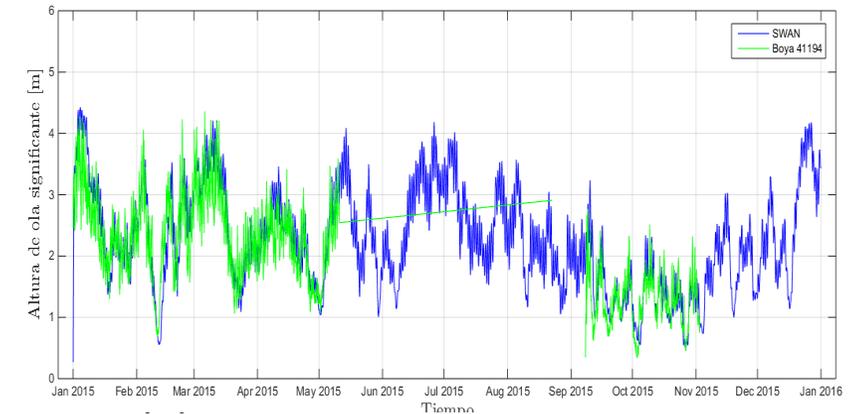
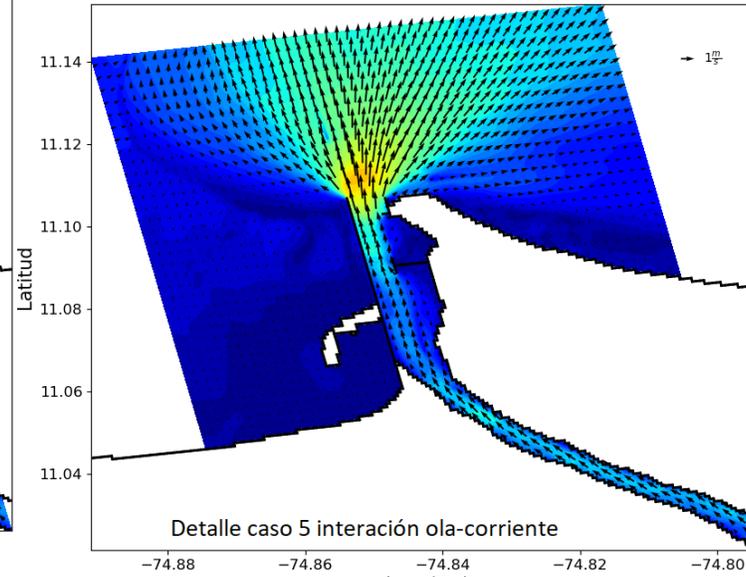
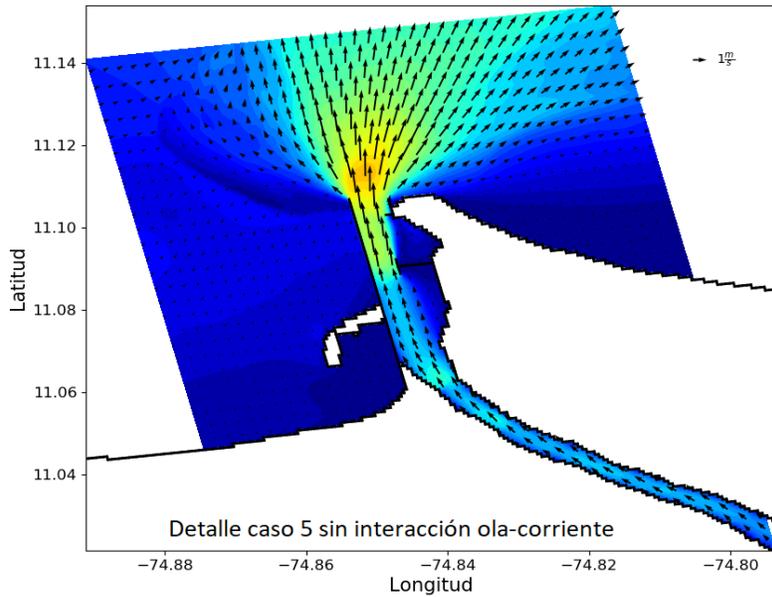


# EFECTO DERIVA LITORAL - OLEAJE- CORRIENTES - CAUDALES BAJOS

Modelo SWAN – Hs, Tp y Dir - para 16 años (2000-2016).

Con Delft3D con interacción ola-corriente para caudales bajos (4000 m<sup>3</sup>/s).

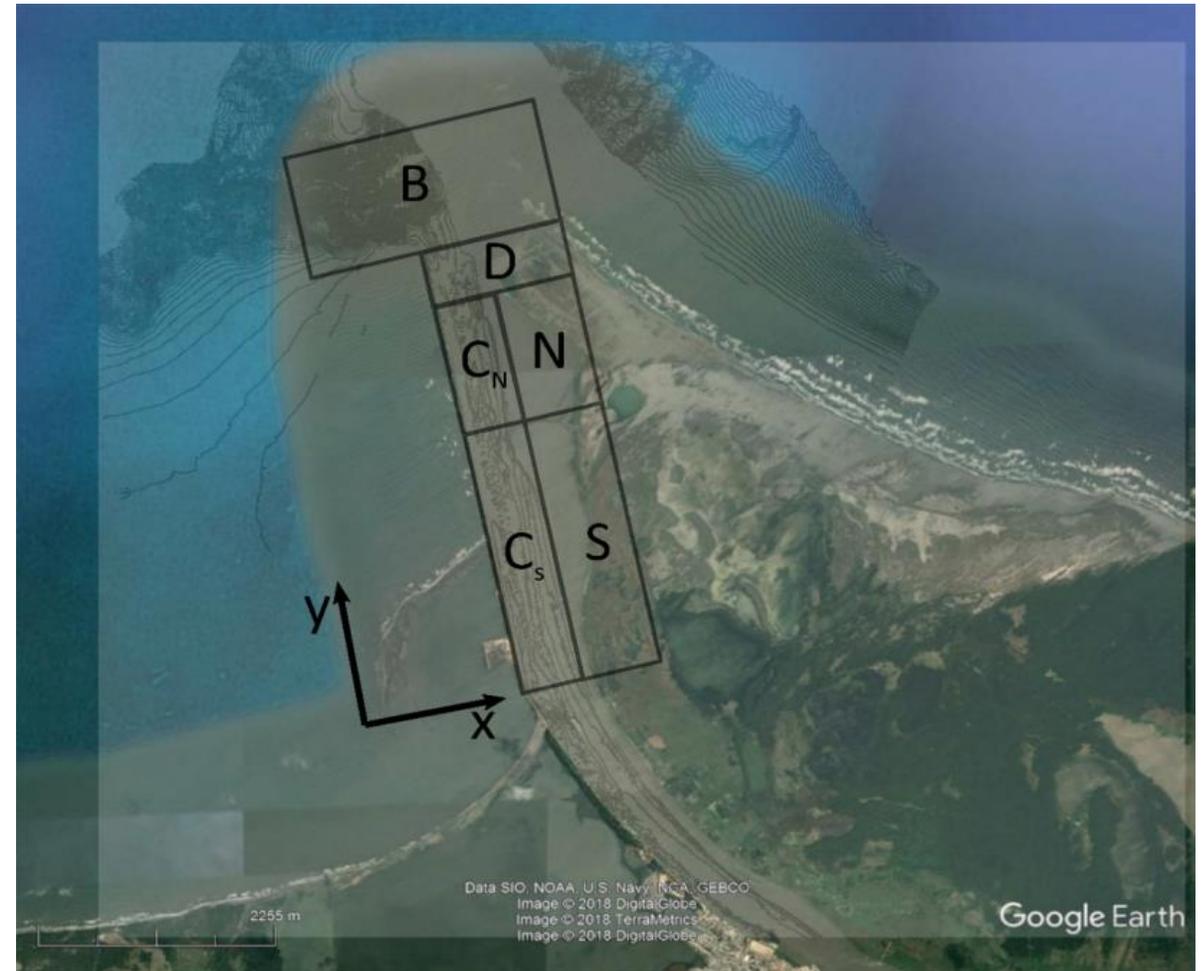
Frontera	Hs [m]	Tp [s]	Dir [°]
Norte	1.45	9.7	45
Este	1.30	9.0	45
Oeste	1.55	8	45



# MODELACIÓN MORFODINÁMICA A ESCALA INTRA-ANUAL

La desembocadura se dividió en 6 subsectores denominados unidades morfodinámicas (Figura 1), estas son:

- $C_S$  que contiene la zona sur del canal de navegación.
- $C_N$  que contiene la zona norte del canal de navegación.
- S que contiene una zona de inundación contigua a la zona sur del canal.
- N que contiene una zona de inundación contigua a la zona sur del canal.
- D que contiene la transición entre el mar y el canal de navegación.
- B que contiene las barras sumergidas en el mar.



# ECUACIONES DE GOBIERNO

El modelo se basa en condiciones de equilibrio, a mayor desequilibrio mayor erosión o sedimentación. Batimetrías medidas desde 2006, 2008, 2009, 2010, 2017 y 2018.

$$Q_{SC} = -K_{RS}Q_{RS} \left( \frac{V_S}{K_S V_{Se}} \right)$$

$$Q_{CSN} = (K_R Q_{RCs} - Q_{SC}) \left( \frac{V_{CS}}{K_{CS} V_{CSe}} \right)$$

$$Q_{CN} = \underline{K_{cn}} Q_{cn} \left( \frac{V_N}{K_N V_{Ne}} - 1 \right)$$

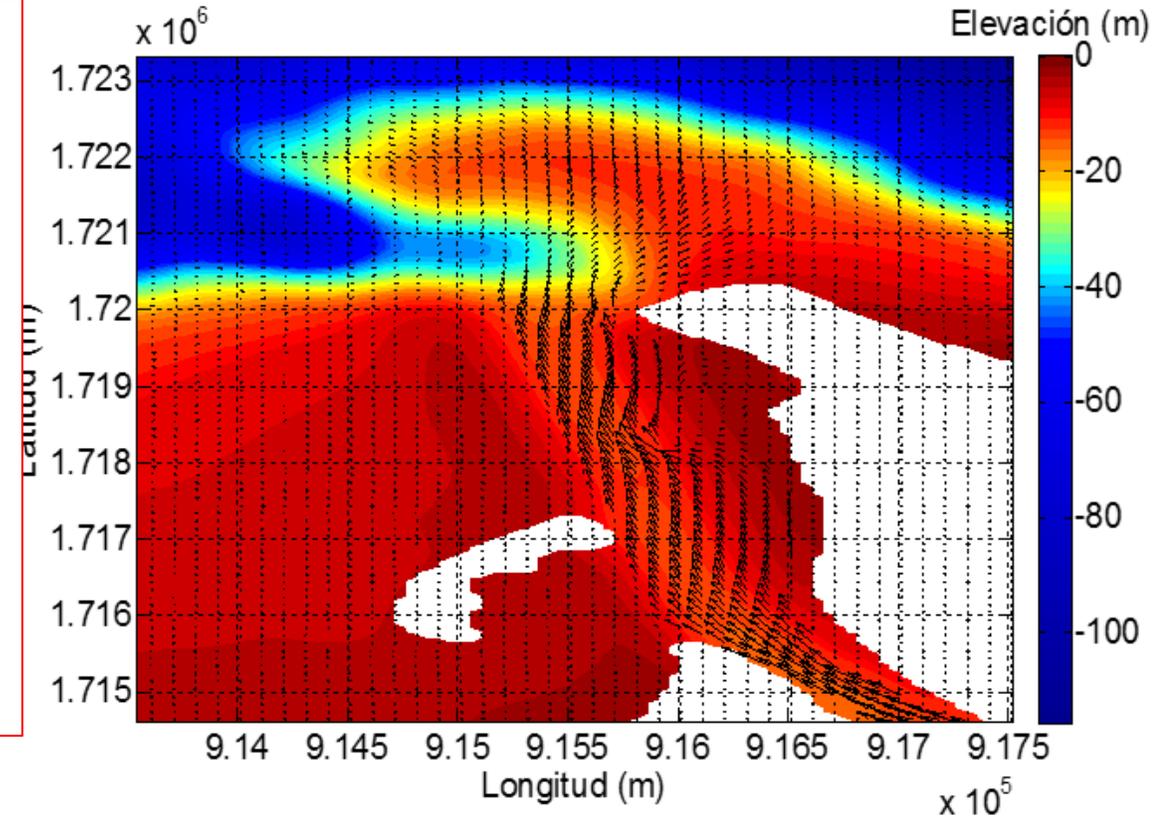
$$Q_{CND} = (Q_{CSN} - Q_{CN}) \left( \frac{V_{CN}}{K_{CN} V_{CNe}} \right)$$

$$Q_{DM} = \underline{K_{dm}} Q_{dm} \left( \frac{V_D}{K_D V_{De}} \right)$$

$$Q_{DB} = (Q_{CND} + Q_{DM}) \left( \frac{V_D}{K_D V_{De}} \right)$$

$$Q_{BM} = Q_{DB} \left( \frac{V_B}{K_B V_{Be}} \right)$$

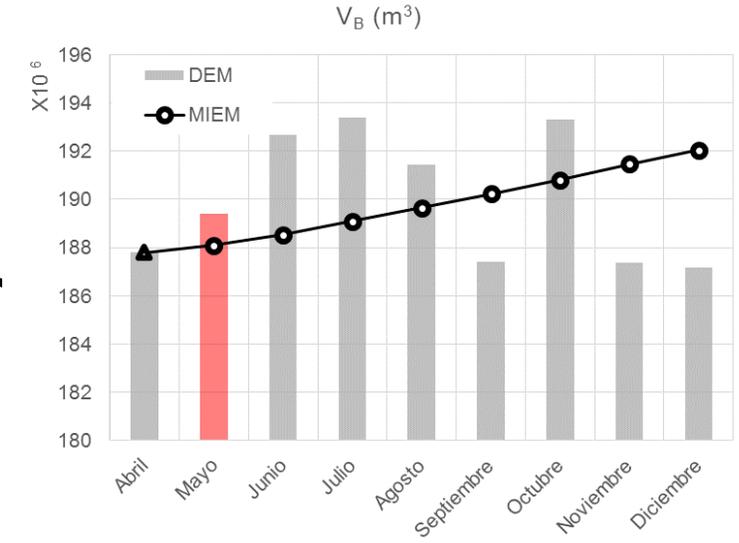
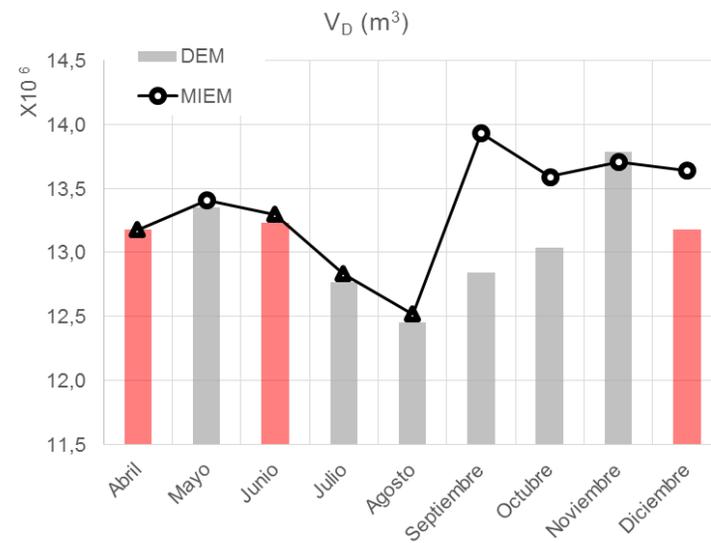
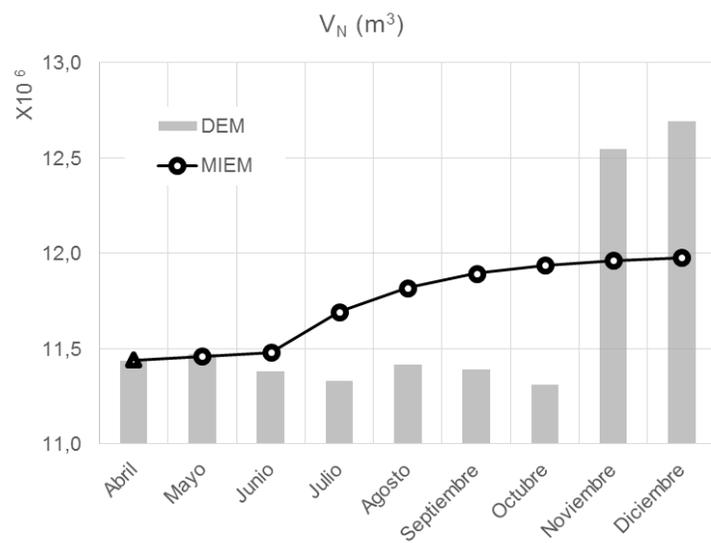
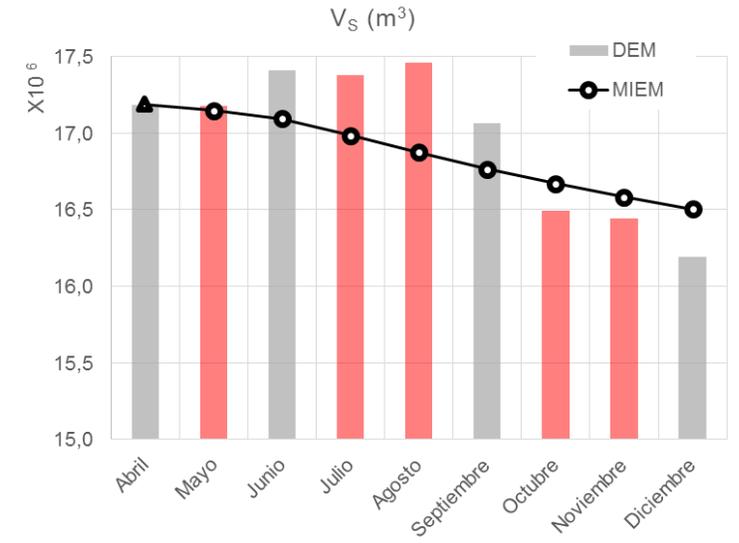
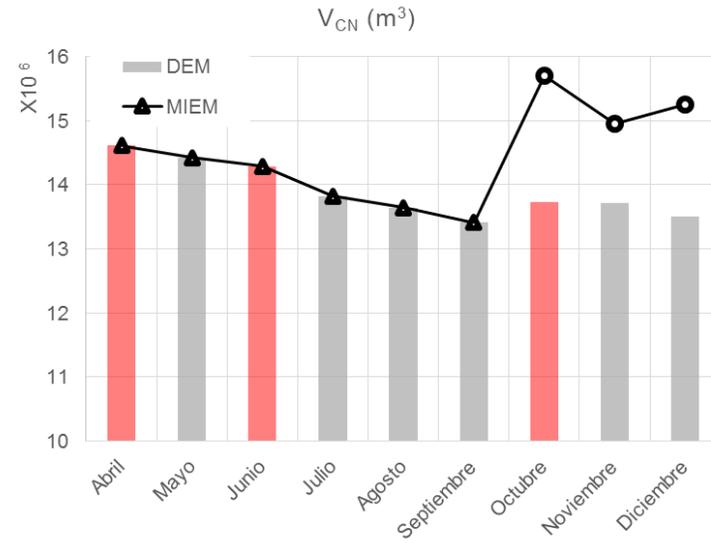
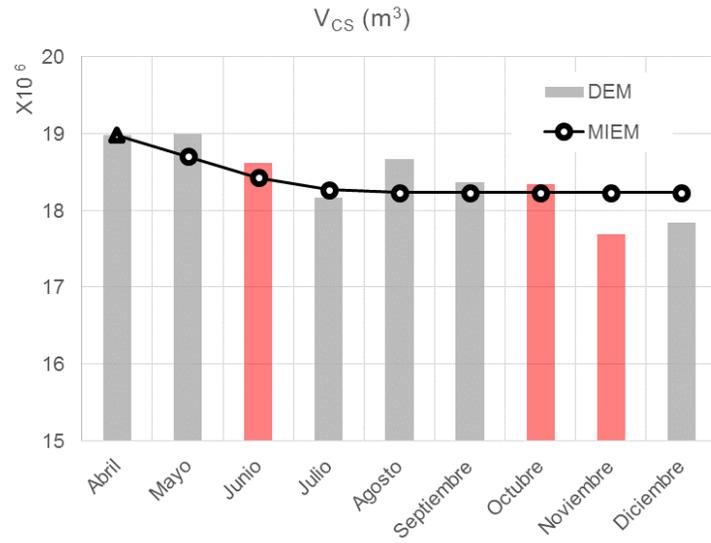
Coeficiente de calibración de flujos potenciales: Se obtienen de minimización de error en modelaciones

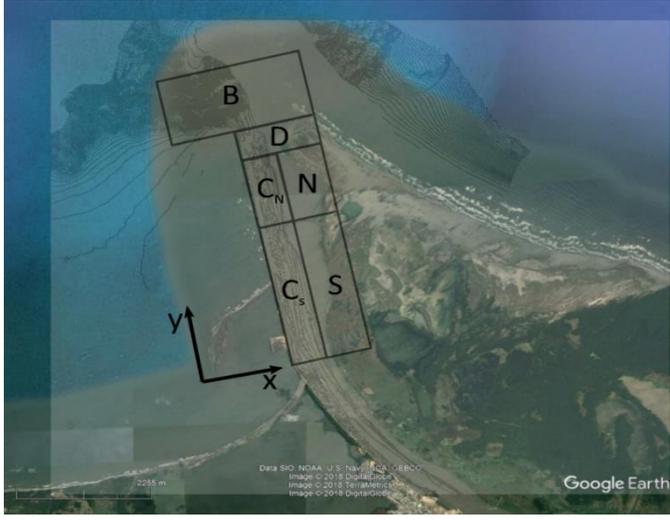


# VALIDACIÓN: AÑO 2010

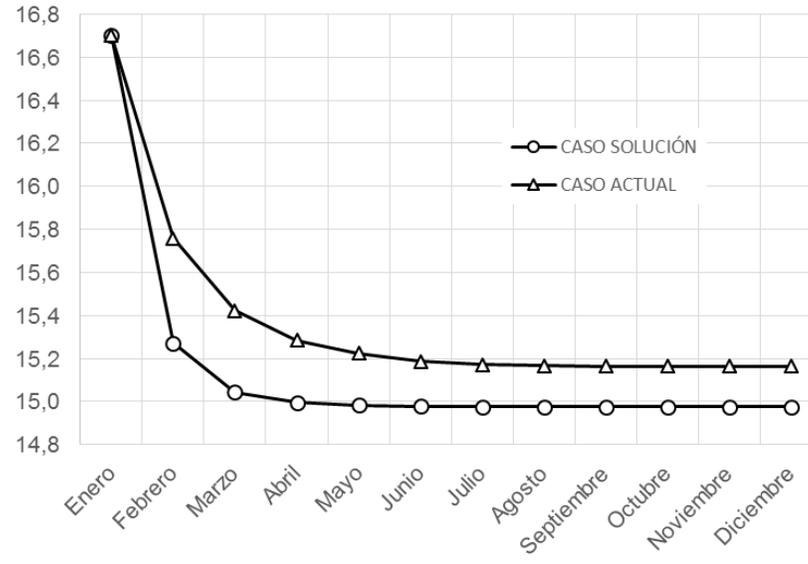
BATIMETRÍA CON DATOS <50% DEL ÁREA  
 BATIMETRÍA CON DATOS >50% DEL ÁREA

MODELO  
 VALOR INICIAL O DRAGADO

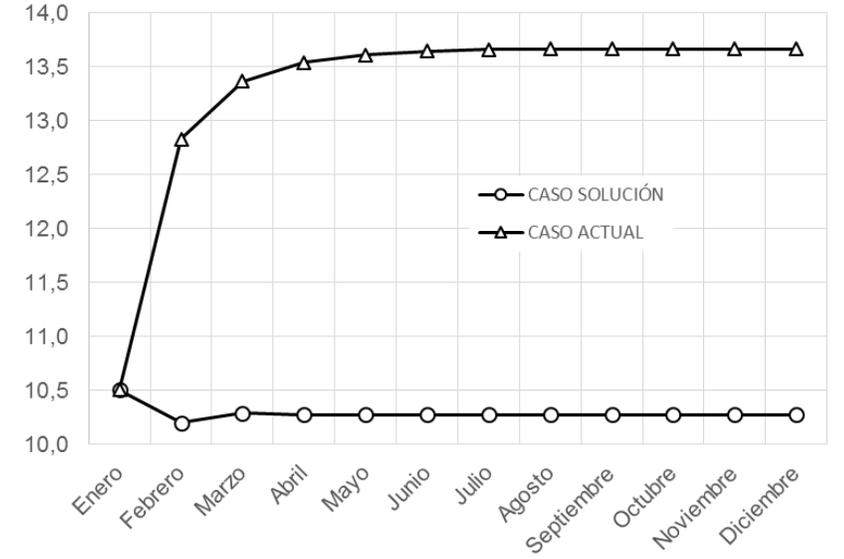




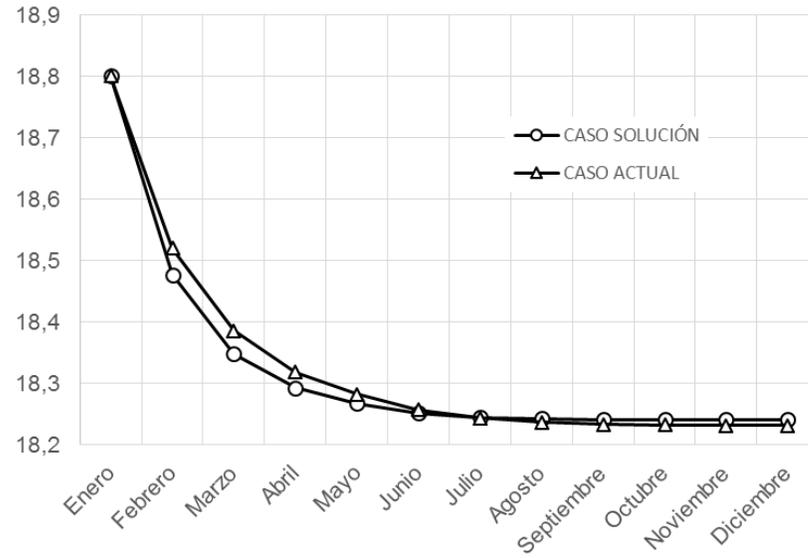
$V_{CN}$  ( $10^6$  m<sup>3</sup>)



$V_D$  ( $10^6$  m<sup>3</sup>)



$V_{CS}$  ( $10^6$  m<sup>3</sup>)





## ***6. Obras en Enrocado***

# EVALUACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS EN ROCA EXISTENTES, EN EL CANAL DE ACCESO AL PUERTO DE BARRANQUILLA.



Indicativo según Figura	Estructura	Abscisado	Tipo de Estructura
1	Espolón E-6.	K1	Marino -Fluvial
2	Dique interior de Contracción.	K0 a K2	Marino -Fluvial
3	Dique Guía.	K2	Marino -Fluvial
4	Tajamar Occidental	K0 – K7 margen Derecha	Marino -Fluvial
5	Espolón Adosado al Tajamar 1.	K5	Fluvial
6	Espolón Adosado al Tajamar 2.	K6	Fluvial
7	Dique Boyacá	-	Fluvial
8	Espolón E-3	Próx K9	Fluvial
9	Espolón E-2	K10	Fluvial
10	Espolón E-1	K11	Fluvial
11	Espolón E-0	K12	Fluvial
12	Dique Direccional	Entre K12 – K14	Fluvial

# DIAGNOSTICO DE LAS ESTRUCTURAS.

## INFORMACIÓN DISPONIBLE (CAMPAÑAS CONSORCIO ESTUDIOS BARANQUILLA)

BATIMETRÍAS MULTIHAZ AFERENTES A ESTRUCTURAS

TOPOGRAFÍAS

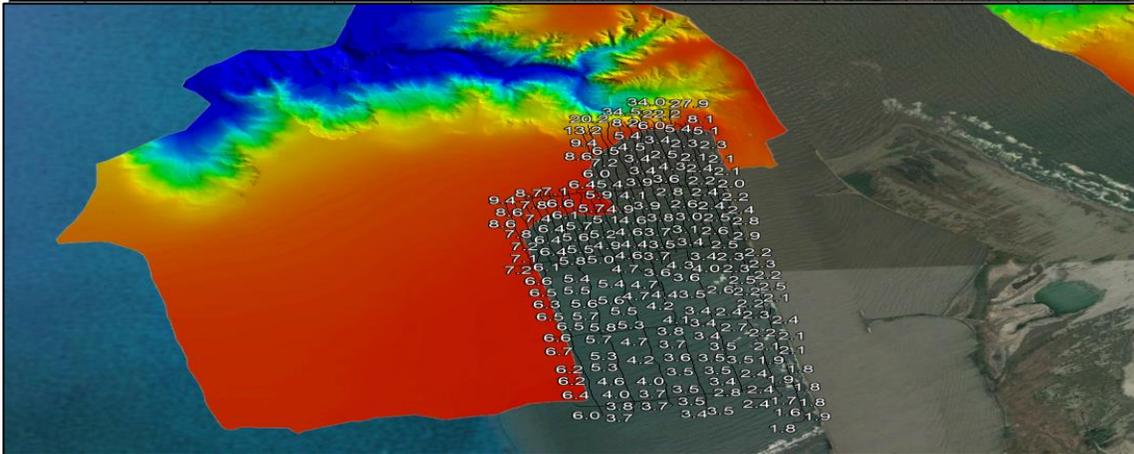
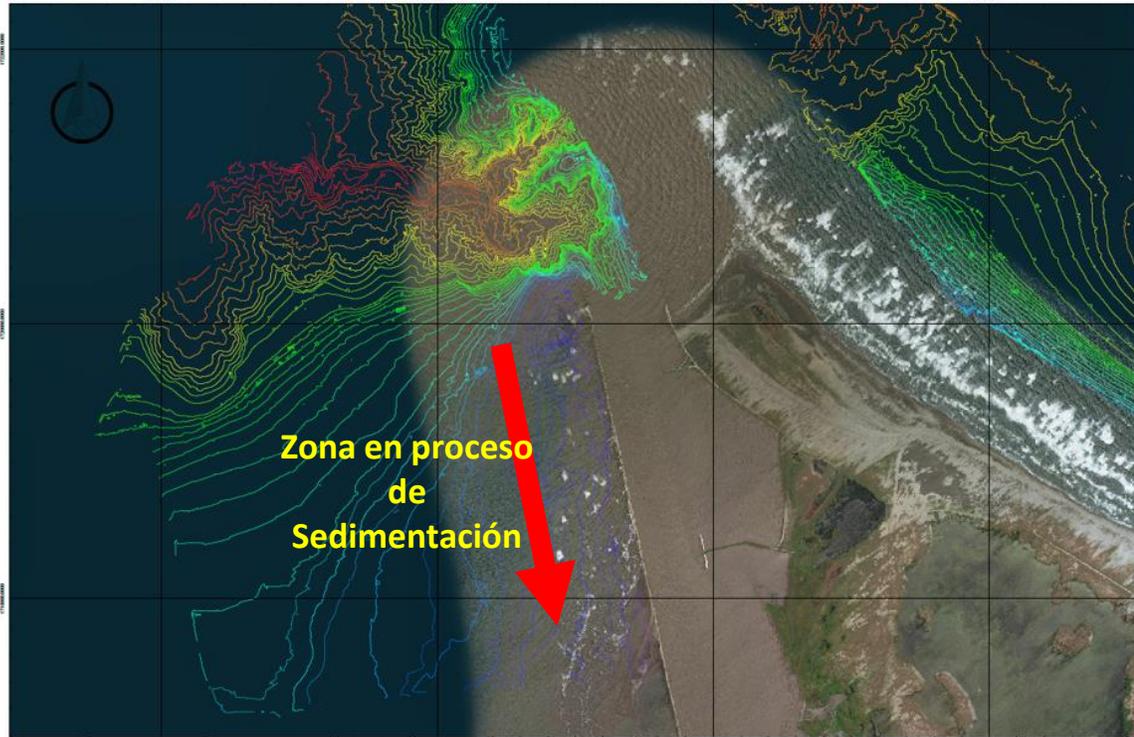
INSPECCION TECNICA Y VUELOS DRONE

PERFORACIONES DE SUELOS Y ESTABILIDAD GEOTECNICA



	ESTRUCTURA	ABSCISA	EVALUACION						DIAGNÓSTICO
			GEOTÉCNICA		SOCAVACIÓN		PÉRDIDA DE COTA		
			Diseño	Actual	Diseño (m)	Actual (m)	Diseño (m)	Actual (m)	
TAJAMARES	Tajamar Occidental (1936)	K0 – K5	FS > 1.5	No cumple	N.A.	Manto interior: 8.0 – 12.0 Manto exterior: 2.0 – 3.0	2.0	1.0 – 1.5 (K0+000 – K1+000) > 2.0 (K1+000 – K5+000)	En el último tramo correspondiente a una longitud de 1.0 kilómetro, requiere de mantenimiento y refuerzo.
	Dique Interior o de Contracción (1966)	K0 – K2	FS > 1.5	Cumple	N.A.	Protegida por acumulación de sedimentos.	2.0	OK	No requiere mantenimiento
	Espolón O-1 (1936)	K5	N.A.	N.A.	N.A.	17.0	2.0	OK	No requiere mantenimiento
	Espolón O-2 (1936)	K6	N.A.	N.A.	N.A.	15.0	2.0	OK	No requiere mantenimiento
OBRAS DE PROFUNDIZACIÓN	Dique Direccional (1994)	K12.5 – K13.5	FS > 1.5	Cumple	N.A.	N.A.	2.0	OK	No requiere mantenimiento
	Espolón E-6 (2006 - 2008)	K1	FS > 1.5	Cumple	29.0	11.0	N.A.	N.A.	No requiere mantenimiento
	Espolón E-3 (2006 - 2008)	K9	FS > 1.5	Cumple	30.5	17.0	N.A.	N.A.	No requiere mantenimiento
	Espolón E-2 (2006 - 2008)	K10	FS > 1.5	Cumple	30.0	18.0	N.A.	N.A.	No requiere mantenimiento
	Espolón E-1 (2006 - 2008)	K11	FS > 1.5	Cumple	25.0	15.0	N.A.	N.A.	No requiere mantenimiento
	Espolón E-0 (2006 - 2008)	K12	FS > 1.5	Cumple	22.0	13.0	N.A.	N.A.	No requiere mantenimiento
	Dique Guía (2006 - 2008)	K2	FS > 1.5	Cumple	27.0	10.0	N.A.	N.A.	No requiere mantenimiento

# DISEÑO DEL MANTENIMIENTO TAJAMAR OCCIDENTAL.



Estado actual del tajamar occidental en la sección PK0+500m.

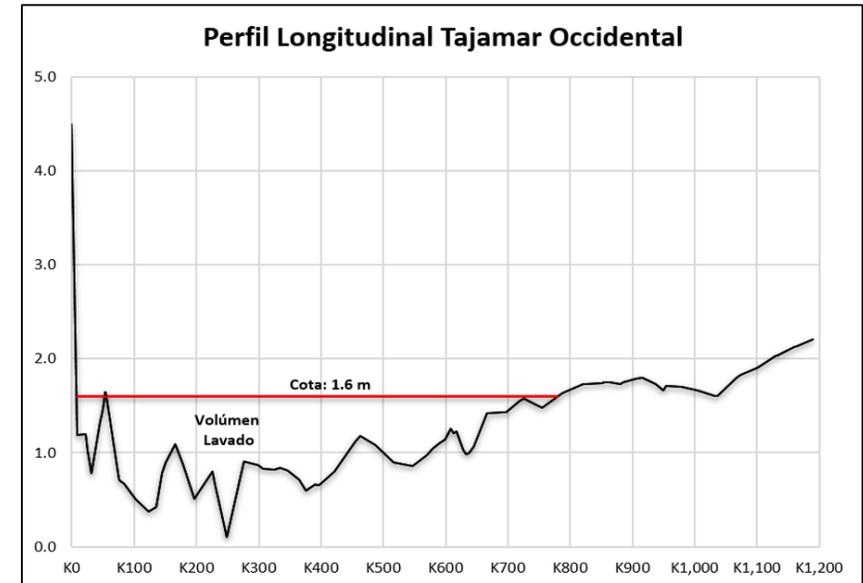


Figura 7-8. Variación de la cota de coronación del eje central del tajamar occidental.

Fuente: Elaboración propia.

# DISEÑO MANTENIMIENTO TAJAMAR OCCIDENTAL.

Propagación de oleajes a sitios de interés

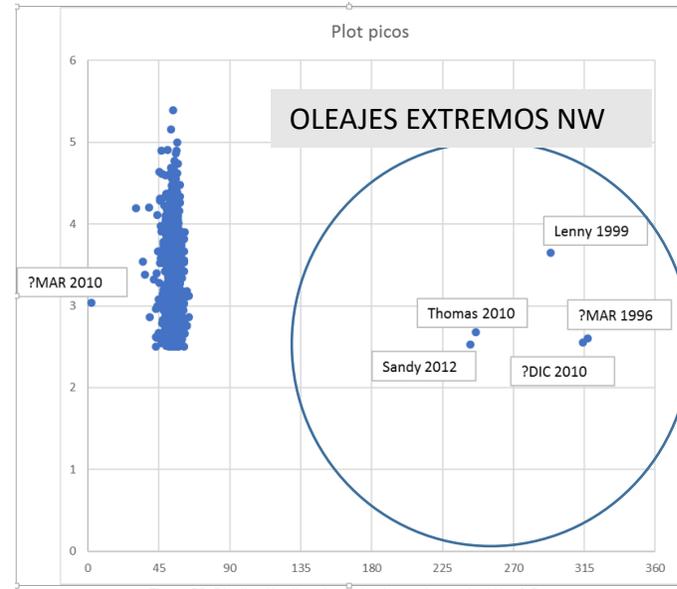
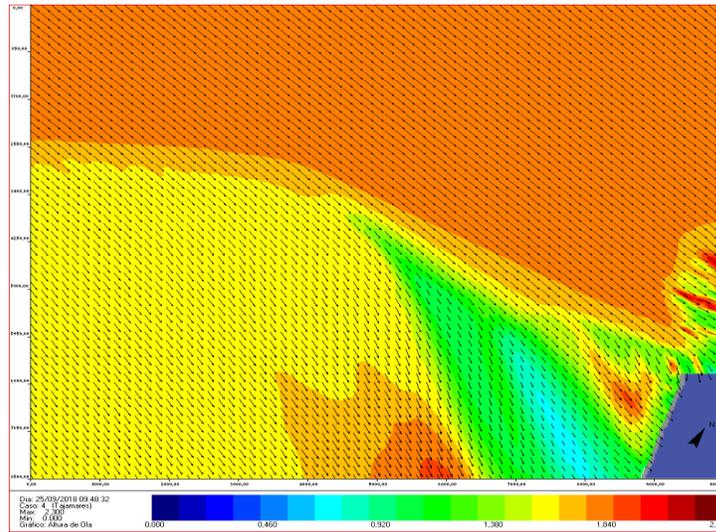


Figura 55. Distribución direccional de picos sobre umbral  $H_s=2.5$  m.

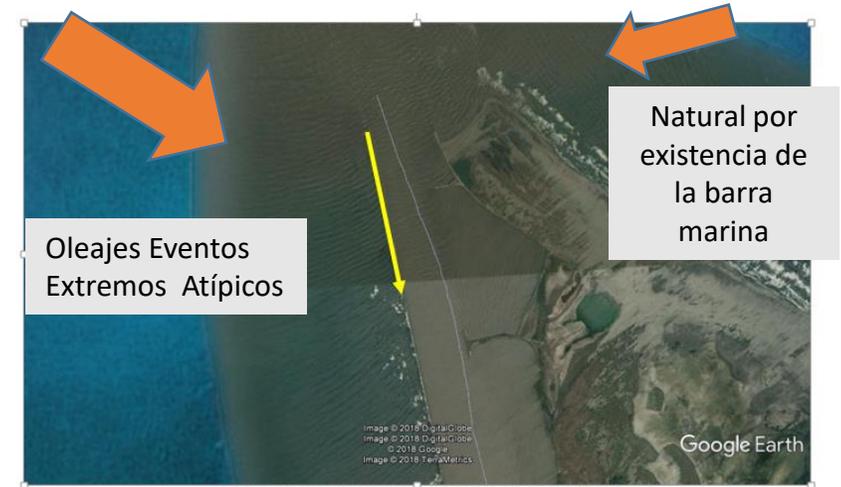


Figura 70. Sistema de referencia del tajamar occidental.

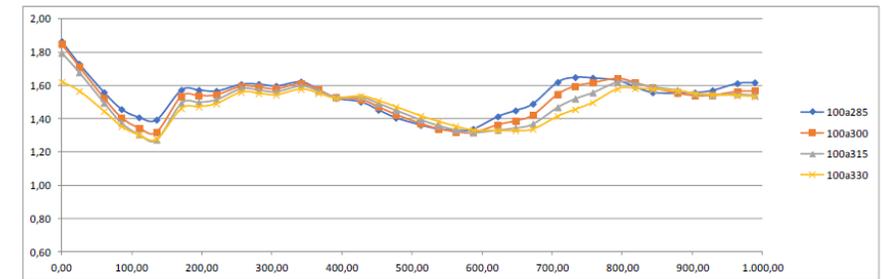
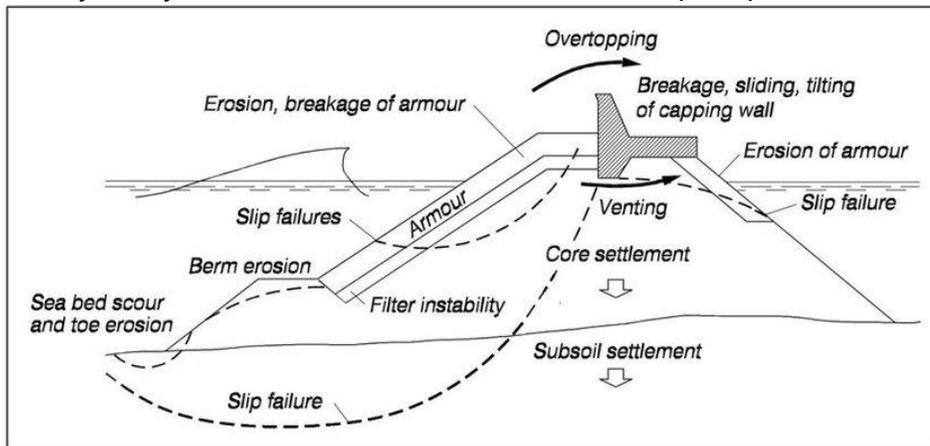


Figura 74. Variación de la altura de ola significativa a lo largo del tajamar. T=36.6 años.

Los principales mecanismos de fallo del Tajamar Occidental, se refiere al rebase del oleaje sobre el Tajamar, junto a la insuficiente estabilidad de la capa superior del manto exterior

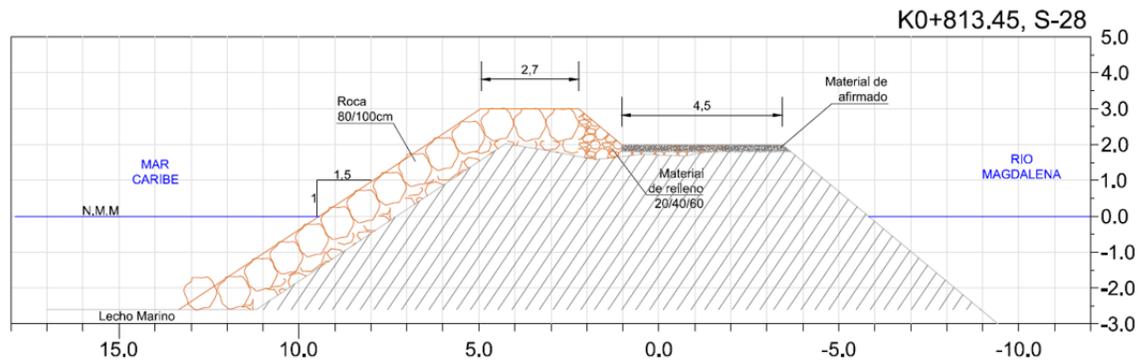
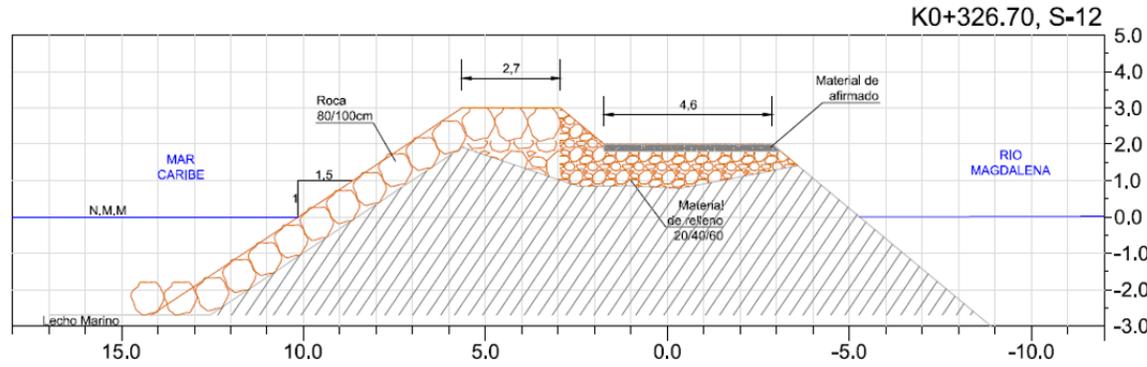


Las acciones a considerar para la rehabilitación y mantenimiento del Tajamar son las siguientes:

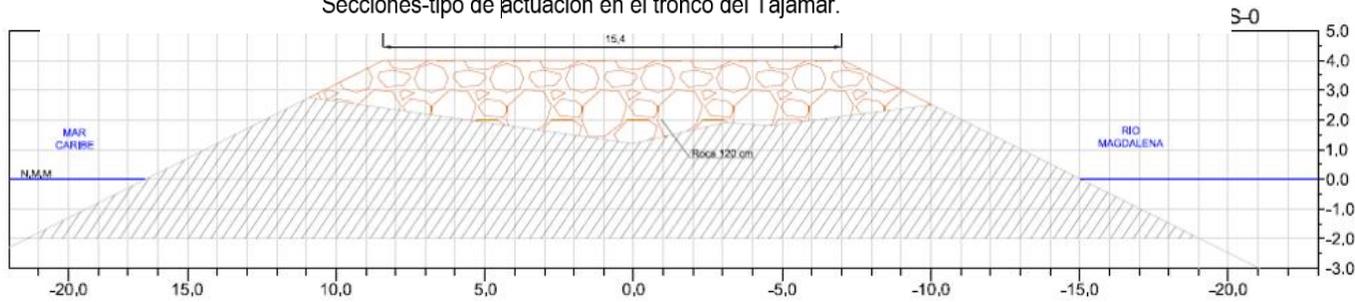
- ⇒ Incremento de la cota de coronación del manto exterior (lado mar) para reducir los niveles de rebase del oleaje.
- ⇒ Refuerzo de la capa superior del manto exterior (lado mar) para soportar los esfuerzos del oleaje.
- ⇒ Subir la cota de coronación del eje central (paseo) del Tajamar, reponiendo las pérdidas (lavado) debidas al rebase del oleaje.

MECANISMO DE FALLO DIQUE EN TALUD

# DISEÑO MANTENIMIENTO EL TAJAMAR OCCIDENTAL (SECCIONES TRANSV.)



Secciones-tipo de actuación en el tronco del Tajamar.



Sección tipo rehabilitación Morro.

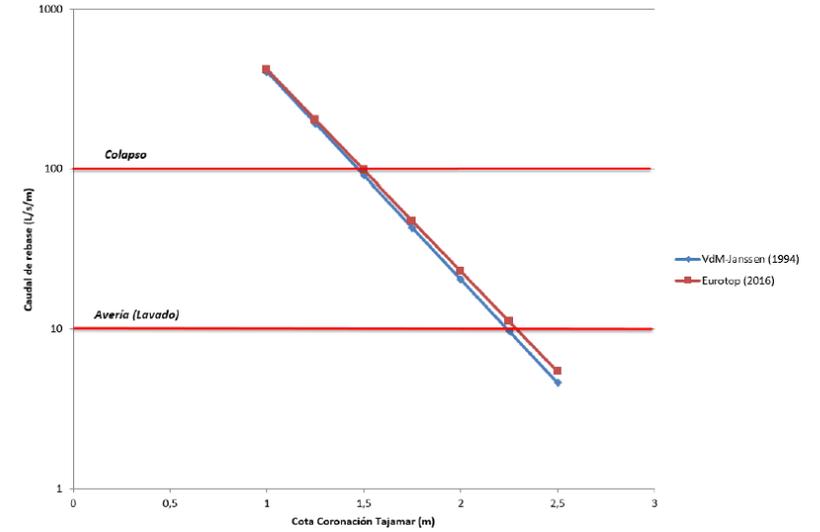


Figura 79. Caudales medios de rebalse del oleaje (formulaciones de Van der Meer & Janssen-1994, y EuroTop-2016) en función de la cota de coronación del tajamar para las condiciones de oleaje de diseño (huracán Lenny, 1999).



Zona de rehabilitación del tronco del tajamar occidental.

# PROLONGACIÓN DEL DIQUE INTERIOR (L=200mts)



Dique Interior Estructura Actual

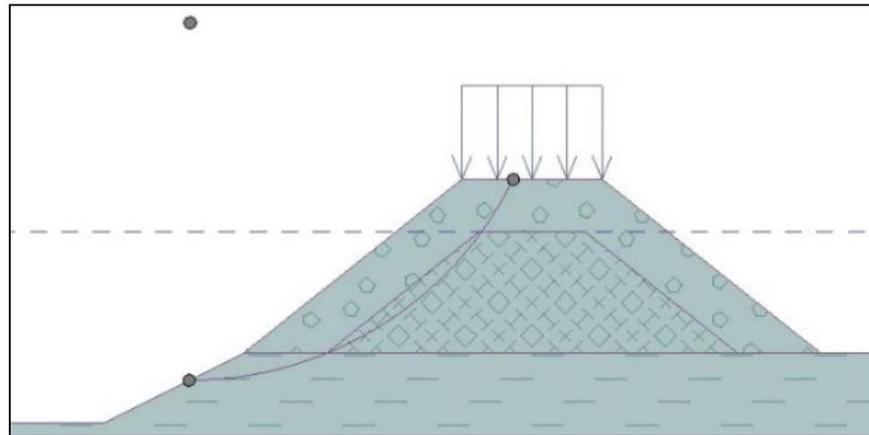
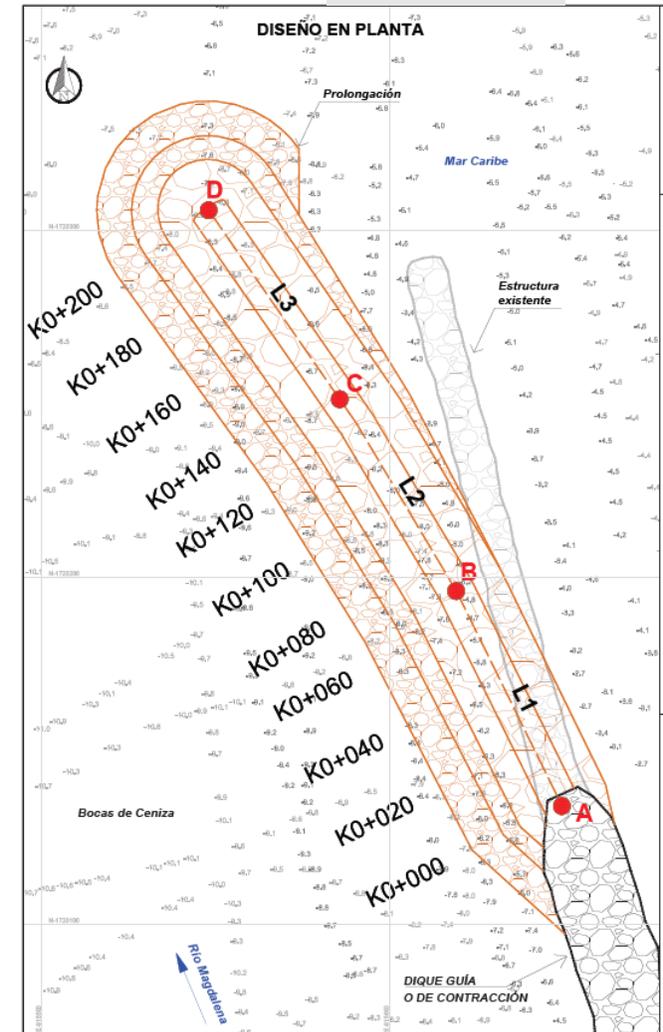


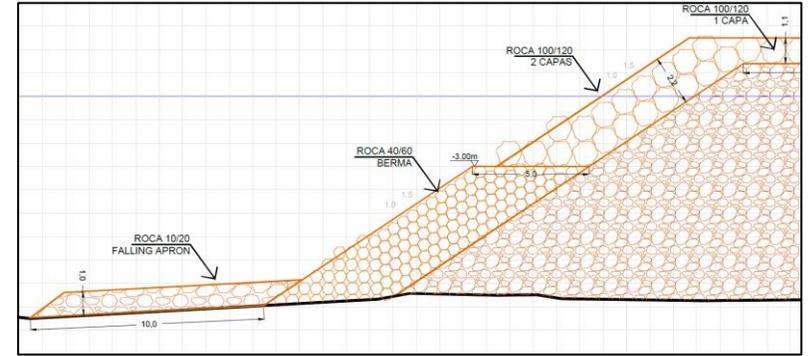
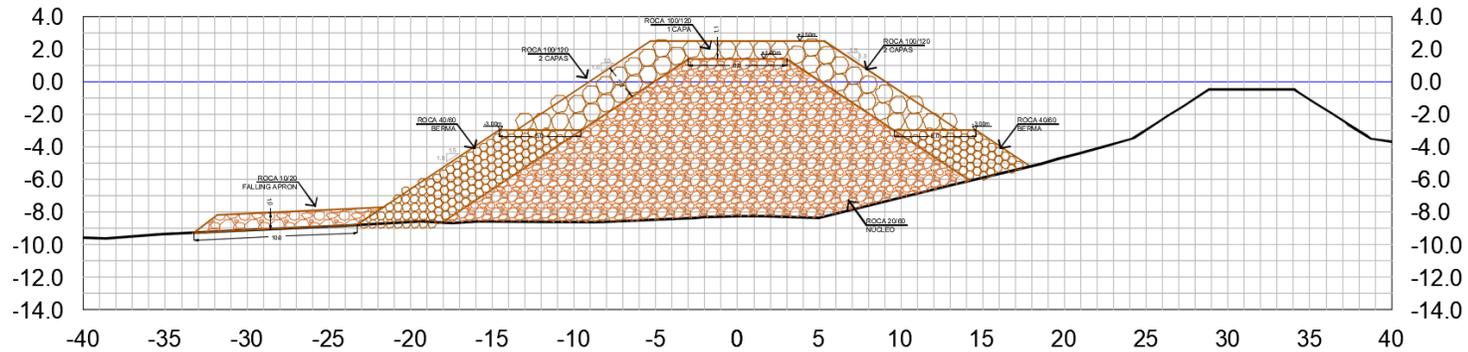
Figura 7-22. Superficie de deslizamiento global más probable del fallo del dique interior de contracción.  
Fuente: Elaboración propia.

PROYECTADO

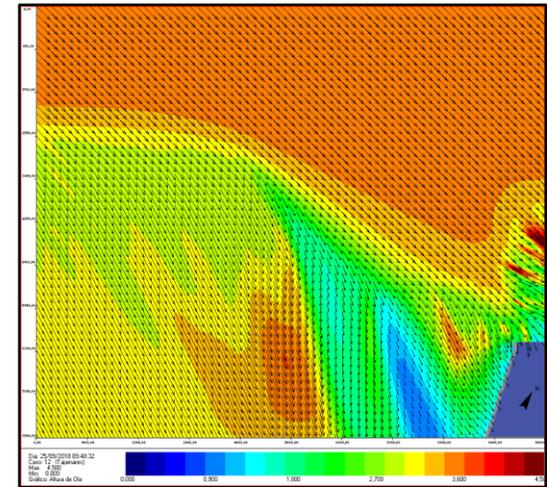
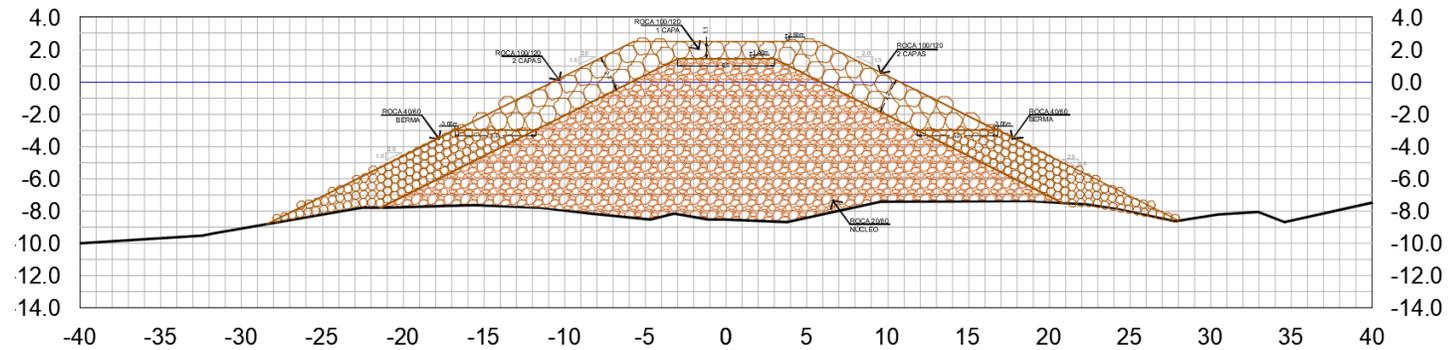


# PROLONGACIÓN DEL DIQUE INTERIOR (SECCIONES DE DISEÑO)

0+125



MORRO



Tronco del dique

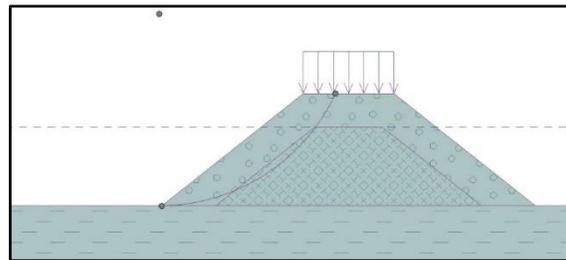
⇒  $D_{n50} = 0.97 \text{ m}$

⇒  $W_{50} = 2,210 \text{ kg}$

Morro del dique

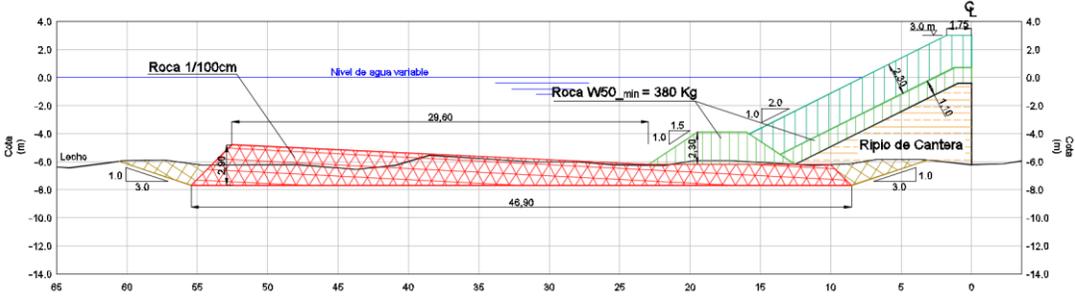
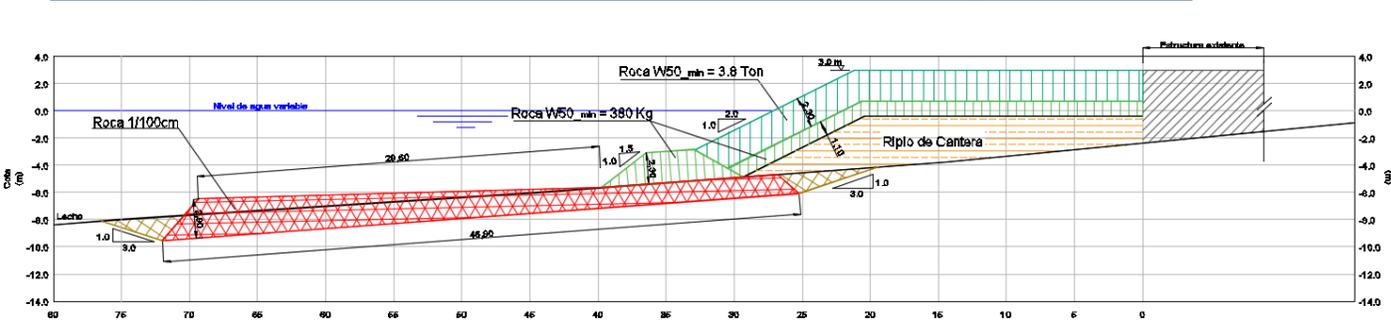
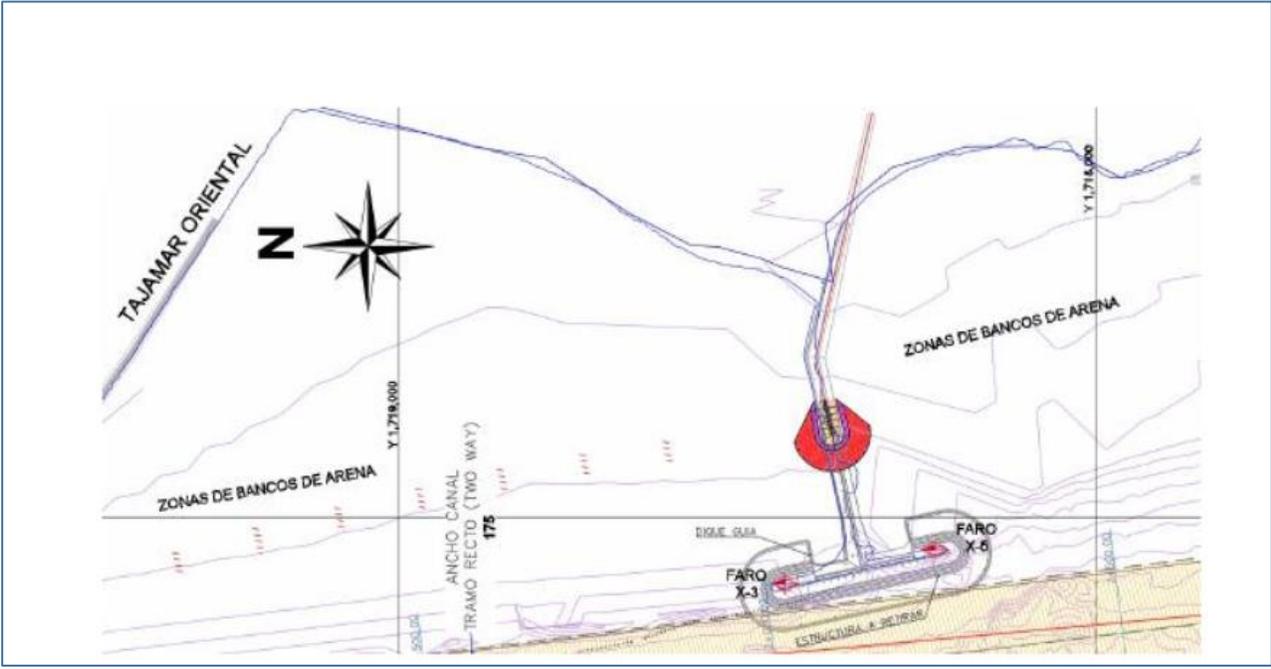
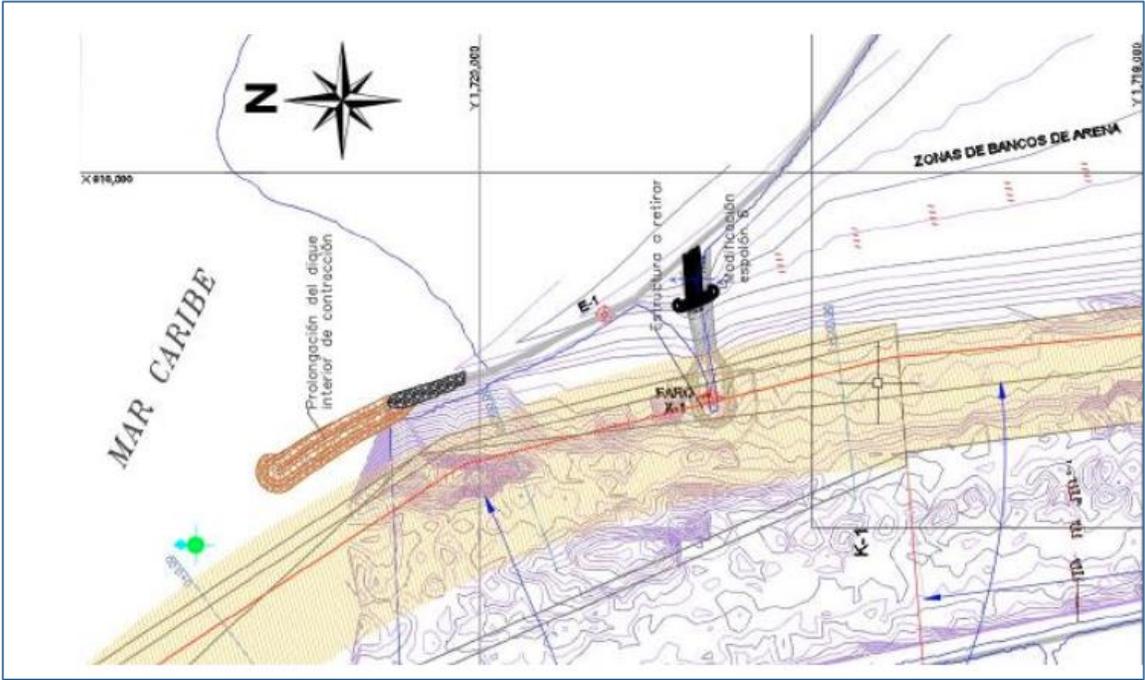
⇒  $D_{n50} = 0.96 \text{ m}$

⇒  $W_{50} = 2,090 \text{ kg}$



- Altura de ola significante:  $H_s = 2.0 \text{ m}$ .
- Periodo de pico:  $T_p = 8 - 10 \text{ s}$  (el más desfavorable).
- Dirección del oleaje: **perpendicular al dique**, que es la condición más desfavorable.

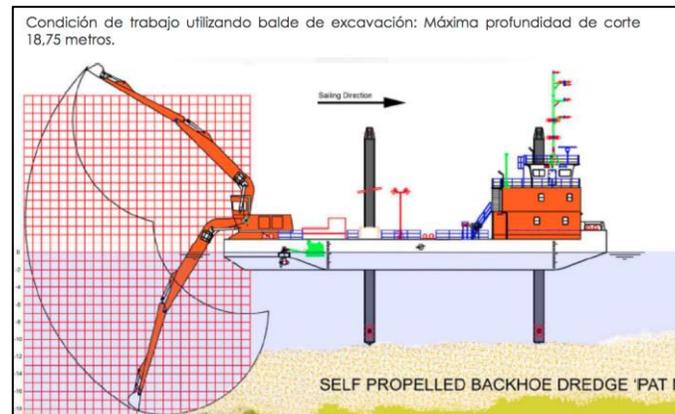
# MODIFICACIÓN ESPOLÓN 6 Y DIQUE GUÍA



# MODIFICACIÓN ESPOLÓN 6 Y DIQUE GUÍA – PROCESO CONSTRUCTIVO



Zonas para el desarrollo de las Etapas constructivas



OPERACIÓN	
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adecuación muelle temporal Dique Guía y Dique de Cierre</li> <li>• Dragado para acceso de Deeper y Barcaza</li> <li>• Demolición Dique Guía y Dique de Cierre desde agua mediante Draga - Retroexcavadora</li> <li>• Cargue mediante retroexcavadora a Volqueta</li> <li>• Transporte mediante volqueta a zona de desembarque en Zona de acopio 1</li> <li>• Descargue mediante retroexcavadora del material de demolición a Zona de acopio 1</li> <li>• Selección y clasificación mediante retroexcavadora del material en Zona de acopio 1</li> <li>• Cargue mediante retroexcavadora a volqueta</li> <li>• Transporte mediante volqueta de material seleccionado hacia Zona de Acopio 2</li> <li>• Reconfiguración mediante retroexcavadora del morro del Nuevo Dique Guía desde tierra</li> </ul>
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adecuación muelle temporal Espolón 6</li> <li>• Demolición Espolón mediante Draga – Retroexcavadora</li> <li>• Cargue hacia barcaza</li> <li>• Cargue mediante retroexcavadora a Volqueta</li> <li>• Transporte mediante volqueta a Zona de acopio 2</li> <li>• Descargue mediante retroexcavadora del material de demolición a Zona de acopio 2</li> <li>• Selección y clasificación mediante retroexcavadora del material en Zona de acopio 2</li> <li>• Cargue mediante retroexcavadora a volqueta</li> <li>• Transporte mediante volqueta de material, según necesidades específicas de cantidades de obra</li> <li>• Reconfiguración mediante retroexcavadora del morro del Nuevo Espolón 6 desde tierra</li> </ul>
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cargue mediante retroexcavadora a Volqueta</li> <li>• Transporte mediante volqueta para prolongación de Dique Interior de Contracción</li> <li>• Descargue mediante retroexcavadora del material para conformación de la estructura del Dique Interior de Contracción – perfilamiento de la sección</li> <li>• Prolongación del Dique Interior de Contracción (desde o tierra o desde agua, según profundidades existentes en el sitio)</li> </ul>

# MODIFICACIÓN ESPOLÓN 6 Y DIQUE GUÍA – PROCESO CONSTRUCTIVO



Localización Sitio de Acopio de materiales – ZONA DE ACOPIO 1



Localización Sitio de Acopio de materiales – ZONA DE ACOPIO 2



Esquema de operación de la draga PAT-M.





## *7. Presupuesto*

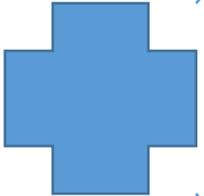
# PRESUPUESTO TOTAL

## Solución Bocas de Ceniza

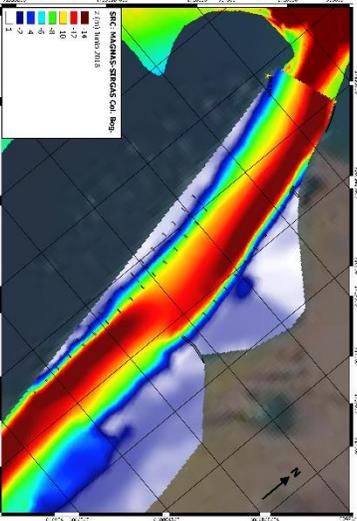
### Total Presupuesto

### Soluciones escogidas

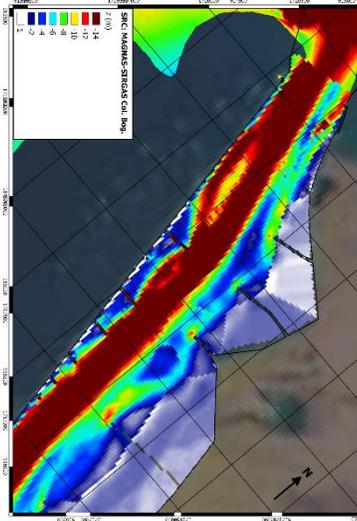
- Isla Cabica
- Isla Rondón
- Curva del Palmar



Con Paneles



Con diques



Alternativa Curva del FARO

\$ 313,356,621,525.00

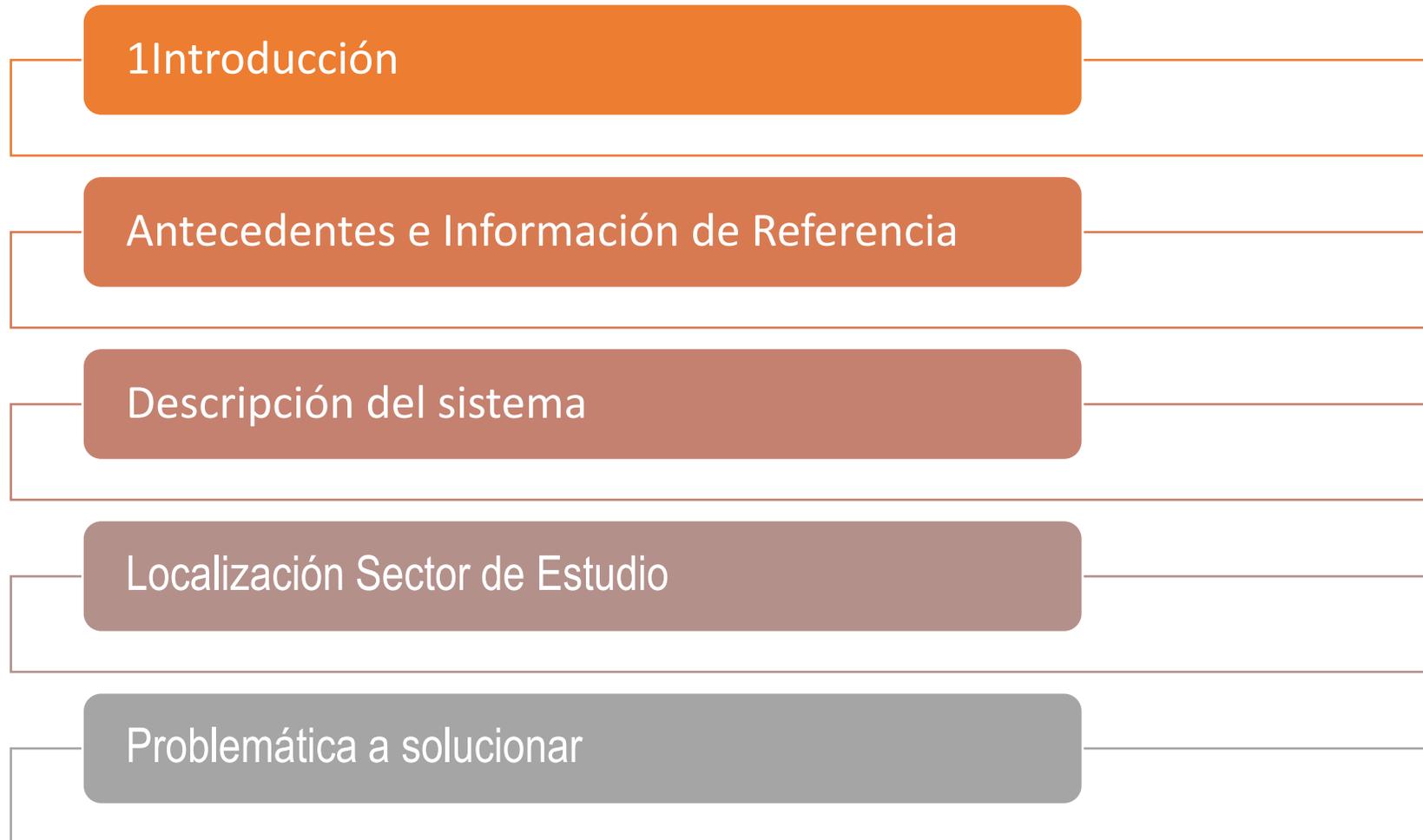
AHORRO  
\$ 632,960,133,279.00

\$ 946,316,754,804.00



## ***8. Análisis Económico y Evaluación de Proyectos (Análisis Costo – Beneficio)***

El Volumen XII. Análisis económico y evaluación de proyectos (Análisis costo- beneficio) consiste en determinar la conveniencia de ejecutar o no el proyecto desde el punto de vista de la sociedad en su conjunto. Consta de nueve capítulos, que tratan los siguientes temas:



Soluciones recomendadas

Metodología de evaluación económica

Diagnóstico socioeconómico del Atlántico y de Barranquilla

Escenarios SIN Proyecto y CON Proyecto

Análisis Costo - Beneficio

Flujo de Fondos

Costos y Beneficios no cuantificables

Indicadores Económicos: VAN, RBC, TIR

Análisis de sensibilidad

Alternativas de Financiación

# VOLUMEN XII: ANÁLISIS ECONÓMICO Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS (ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO)

## METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN ECONÓMICA

Se aplicó la metodología del Análisis Costo / Beneficio. La evaluación económica del proyecto se realiza con el fin de ofrecer criterios a las entidades encargadas de tomar las decisiones sobre su ejecución, suministrar las herramientas necesarias para priorizar los proyectos del sector y determinar el momento oportuno de llevarlo a cabo y buscar los recursos para su ejecución e implementación. En este sentido, en desarrollo de la evaluación económica, se analizaron los estudios realizados anteriormente para el proyecto, los insumos de los diferentes especialistas del equipo consultor y con base en el diseño definitivo para la alternativa propuesta se acogieron los costos y se determinaron en la forma más precisa posible, los beneficios del proyecto, para proceder luego a la estimación de los respectivos flujos, calcular los Indicadores económicos ( VAN, RBC y TIR) que más adelante se detallan, realizar el análisis de sensibilidad y con base en su análisis, inferir las conclusiones.

Tabla 1 Interpretación del Indicador VPN o VAN

Valor Presente Neto (VPN) o Valor Actual Neto (VAN)	Interpretación
<b>VAN &gt; 0</b>	Los beneficios del proyecto son mayores que sus costos por tanto se acepta el proyecto y se dice que éste genera ganancias en bienestar social.
<b>VAN = 0</b>	El proyecto no produce beneficios ni costos. Por tanto, se debe rechazar el proyecto ya que provoca pérdidas en bienestar social
<b>VAN &lt; 0</b>	Los costos del proyecto son mayores que sus beneficios. Por tanto, se debe rechazar el proyecto ya que provoca pérdidas en bienestar social.

Fuente: MADS. ANLA: Criterios Técnicos para el uso de herramientas económicas en los proyectos, obras o actividades objeto de licenciamiento ambiental. 2017.

$$VAN = \sum_i \frac{B_i - C_i}{(1+r)^i} = \sum_i \frac{B_i}{(1+r)^i} - \sum_i \frac{C_i}{(1+r)^i}$$

Donde, B<sub>i</sub>Beneficios: corresponde a la valoración de los beneficios en el año i; C<sub>i</sub>Costos: el valor de los costos en el año i; r es la tasa social de descuento; i es el indicador del año.

Tabla 2 Interpretación del Indicador RBC

Relación Beneficio Costo	Interpretación
<b>RBC &gt; 1</b>	El proyecto genera bienestar social, por tanto, se acepta el proyecto.
<b>RBC = 1</b>	El proyecto no presenta cambios en bienestar social, por tanto, es indiferente.
<b>RBC &lt; 1</b>	El proyecto empeora el bienestar social. Por tanto, no es recomendable su ejecución.

Fuente: MADS. ANLA: Criterios Técnicos para el uso de herramientas económicas en los proyectos, obras o actividades objeto de licenciamiento ambiental. 2017.

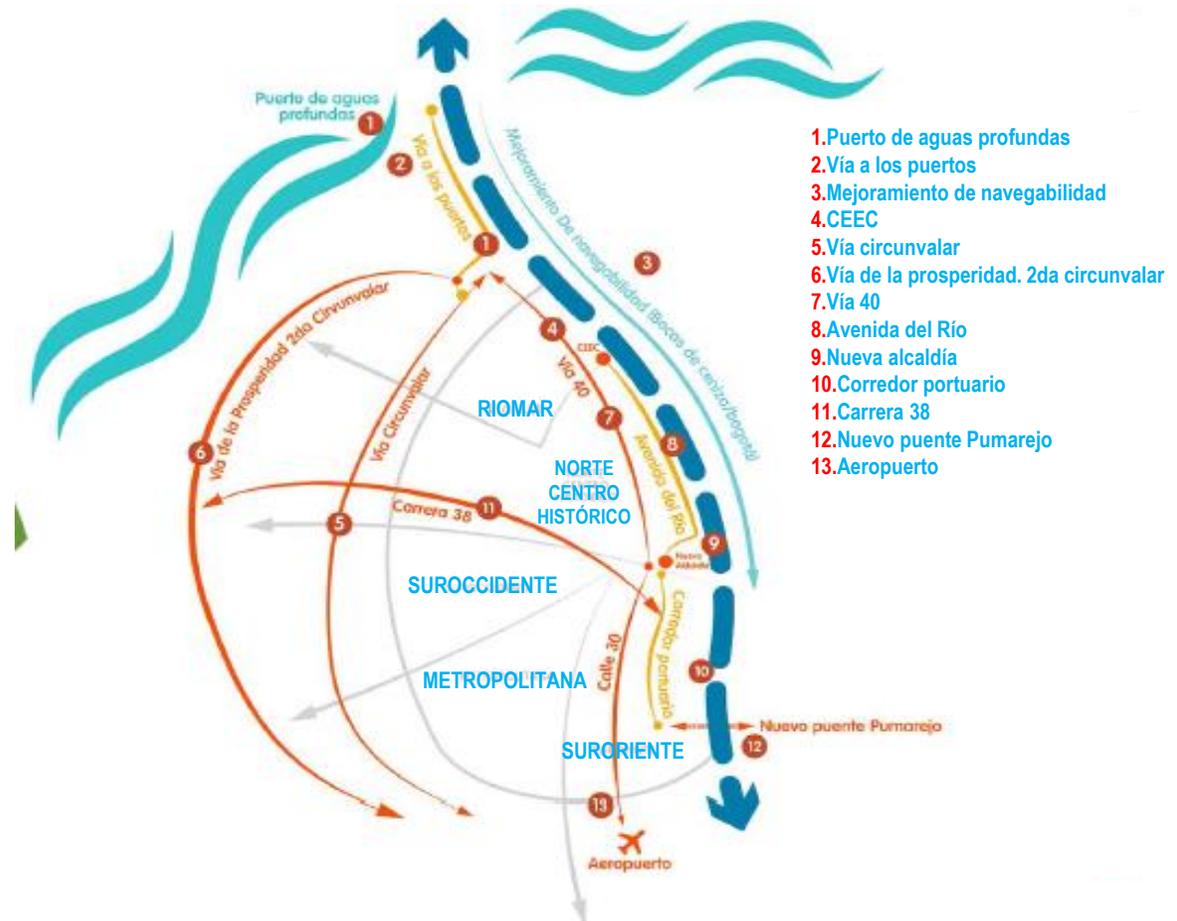
$$RBC = \frac{\sum_i \frac{B_i}{(1+r)^i}}{\sum_i \frac{C_i}{(1+r)^i}} = \frac{VAN_{beneficios}}{VAN_{costos}}$$

Los resultados de este indicador muestran la contribución del proyecto al bienestar de la sociedad como un todo y la interpretación del mismo se presenta en la Tabla 2.

# VOLUMEN XII: ANÁLISIS ECONÓMICO Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS (ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO)

## DIAGNÓSTICO SOCIOECONÓMICO DEL DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO Y DE BARRANQUILLA

- ✓ Perfil del desarrollo socioeconómico de la ciudad de Barranquilla
- ✓ Análisis histórico
- ✓ Contextualización del impacto positivo que se puede derivar de la ejecución de proyecto en Barranquilla, en el Atlántico y las incidencias al interior del país sobre el transporte fluvial por el Río Magdalena y
- ✓ La conexión con el Caribe y hacia el exterior en lo referente al incentivo de los movimientos de carga tanto de importaciones como de exportaciones, considerando la ubicación estratégica del Puerto

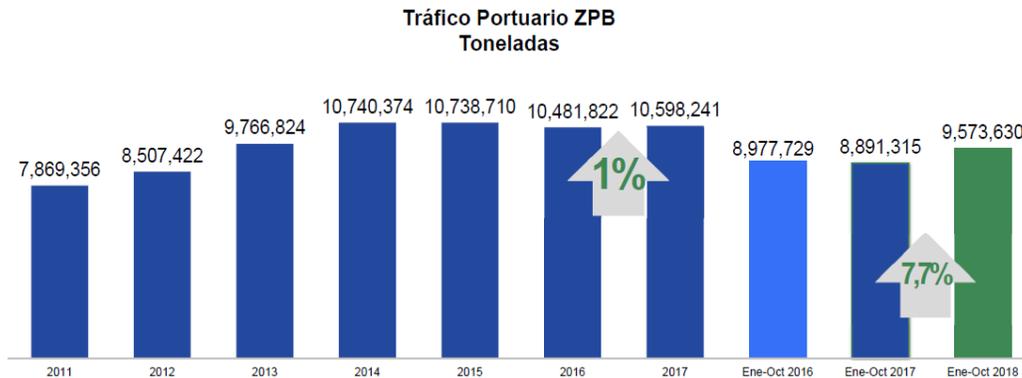


Fuente: Plan de Desarrollo de Barranquilla 2016-2019

# VOLUMEN XII: ANÁLISIS ECONÓMICO Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS (ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO)

## ESCENARIO SIN PROYECTO

Se realizó el análisis de las proyecciones de carga en el escenario CON proyecto, en comparación con los volúmenes generados históricamente en la situación SIN proyecto, según los terminales de la ZPBq y los datos generados por el “Estudio de transporte, tráfico marítimo y buque de diseño”. Se tomaron las conclusiones de la evaluación comparativa de la ZPBq con las ZP de Cartagena y Santa Marta, que aporta el mismo estudio, con el propósito de considerar los planes futuros de los terminales existentes y futuros. Luego se analizaron los posibles escenarios para



# VOLUMEN XII: ANÁLISIS ECONÓMICO Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS (ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO)

## ESCENARIO CON PROYECTO

Tabla 20 Proyecciones de carga 2019 - 2030 según terminales

Proyecciones	Año	BITCO	COMPAS	MONOMEROS	PALERMO	MICHELMAR	PORT-MAGDALENA	RIVER-PORT	SPRB <sup>a</sup>	VOPAK	PUERTO PIMSA
Año 1	2019	610.995			2.518.748				5.051.248		130.000
Año 2	2020	-	-	-	2.838.268	-		-	5.212.888	-	500.000
Año 3	2021	1.262.316	1.362.957	2.654.285	3.085.000	25.865		1.533.945	5.379.700	614.509	1.200.000
Año 4	2022	1.262.316	1.362.957	2.654.285	3.085.000	25.865		1.533.945	5.546.471	614.509	1.400.000
Año 5	2023	1.262.316	1.362.957	2.654.285	3.085.000	25.865		1.533.945	5.718.411	614.509	1.500.000
Año 6	2024	1.262.316	1.362.957	2.654.285	3.085.000	25.865		1.533.945	5.895.682	614.509	1.600.000
Año 7	2025	1.262.316	1.362.957	2.654.285	3.085.000	25.865		1.533.945	6.078.448	614.509	1.700.000
Año 8	2026	1.262.316	1.362.957	2.654.285	3.085.000	25.865		1.533.945	6.266.880	614.509	1.802.000
Año 9	2027	1.262.316	1.362.957	2.654.285	3.085.000	25.865		1.533.945	6.461.153	614.509	1.910.120
Año 10	2028	1.262.316	1.362.957	2.654.285	3.085.000	25.865		1.533.945	6.661.449	614.509	2.024.727
Año 11	2029	1.262.316	1.362.957	2.654.285	3.085.000	25.865		1.533.945	6.867.954	614.509	2.146.211
Año 12	2030	1.262.316	1.362.957	2.654.285	3.085.000	25.865		1.533.945	7.080.861	614.509	2.274.983

Fuente: Cálculos con base en el Estudio de Transporte y en supuestos sobre la tasa de crecimiento de los volúmenes de carga que manejan las terminales.

# VOLUMEN XII: ANÁLISIS ECONÓMICO Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS (ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO)

## COSTOS DEL PROYECTO

### PRESUPUESTO DE OBRAS

No	Especificaciones	Descripción	Precios financieros	Precios económicos
1	OBRAS PRELIMINARES	Exploración Geotécnica complementaria, Localización, replanteo y control topográfico, batimetría, movilización de equipos.	6.519.504.560,00	5.900.151.627
2	SUMINISTRO E INSTALACIÓN PANELES SUMERGIDOS	Suministro de pilotes, hinca y rehincas de pilotes, corte submarino, suministro e instalación paneles sumergidos	56.605.649.641,00	51.114.901.626
3	DRAGADOS	Dragados	39.211.401.098,00	35.407.895.192
4	PROLONGACION DEL DIQUE INTERIOR Y MODIFICACIÓN DEL ESPOLON 6 Y DIQUE GUIA	Preliminares, control topográfico y batimétrico, estructuras en roca (demoliciones, conformación morro dique guía, prolongación dique interior, conformación morro espolón 6) y limpieza de obra	94.252.592.920,00	85.298.596.593
5	MANTENIMIENTO TAJAMAR OCCIDENTAL	Mantenimiento tajamar occidental	29.454.406.800,00	26.597.329.340
6	PROVISION PARA OBRAS TRANSITORIAS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN	Provisión para obras Transitorias Durante la Construcción	15.000.000.000,00	13.575.000.000
<b>SUBTOTAL COSTO DIRECTO</b>			<b>241.043.555.019,00</b>	<b>217.893.874.377</b>
<b>ADMINISTRACIÓN A = 20%</b>			<b>48.208.711.004,00</b>	<b>43.578.774.875</b>
<b>IMPREVISTOS I = 5%</b>			<b>12.052.177.751,00</b>	<b>10.894.693.719</b>
<b>UTILIDAD U = 5%</b>			<b>12.052.177.751,00</b>	<b>10.894.693.719</b>
<b>SUBTOTAL COSTOS INDIRECTOS AIU = 30%</b>			<b>72.313.066.506,00</b>	<b>65.368.162.313</b>
<b>COSTO TOTAL PRESUPUESTADO</b>			<b>313.356.621.525,00</b>	<b>283.262.036.690</b>

### PLAN DE MANTENIMIENTO

Nº	Descripción	Unid	Cant	Valor Unitario (\$Col)	Valor Parcial (\$Col)	Precios Financieros (\$Col)	Precios Económicos (\$Col)
						<b>\$12.523.503.052</b>	<b>\$11.308.723.256</b>
1	Monitoreo de Estructuras Construidas	glb	1	\$471.325.301	\$471.325.301		
2	(Plan de Mantenimiento) 5% del Valor de Costo Directo de las Obras a Ejecutar	%	0.05	\$241.043.555.019	\$12.052.177.750,95		
<b>SUBTOTAL COSTO DIRECTO</b>						<b>\$12.523.503.052</b>	<b>\$11.308.723.256</b>
<b>ADMINISTRACIÓN</b>				<b>A =</b>	<b>20%</b>	<b>\$2.504.700.610</b>	<b>\$2.261.744.651</b>
<b>IMPREVISTOS</b>				<b>I =</b>	<b>5%</b>	<b>\$626.175.153</b>	<b>\$565.436.163</b>
				<b>U =</b>	<b>5%</b>	<b>\$626.175.153</b>	<b>\$565.436.163</b>
<b>SUBTOTAL COSTOS INDIRECTOS</b>				<b>AIU =</b>	<b>30%</b>	<b>\$3.757.050.916</b>	<b>\$3.392.616.977</b>
<b>COSTO TOTAL PRESUPUESTADO</b>						<b>\$16.280.553.968</b>	<b>\$14.701.340.233</b>

Nota: el costo del monitoreo de estructuras construidas se contabiliza anualmente en el flujo de fondos, con incrementos del IPC anual. Y el costo del plan de mantenimiento se contabiliza cada cinco años con el incremento del IPC anual)

Fuente: Resumen elaborado con base en Consorcio Estudio Canal Barranquilla. ROC con base en DNP. Dirección de Estudios Económicos. Gustavo Adolfo HERNANDEZ DIAZ.et al, en Documento 497.01 de agosto de 2019

# VOLUMEN XII: ANÁLISIS ECONÓMICO Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS (ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO)

Beneficios para el periodo comprendido entre 2019 y 2040	Valor en \$
<p><b>Descongestión de las vías terrestres y mitigación de su desgaste.</b> las estimaciones de estos beneficios se basaron en un conjunto de parámetros que permitiera medir el descenso en la variable costos de operación vehicular al reducir la circulación de camiones y en consecuencia disminuir el desgaste de las vías terrestres por donde usualmente se desplazan los flujos de carga desde el interior y hacia la Costa Caribe y desde este territorio hacia el interior del país. A partir de esta información se aplicaron los estimativos del INVÍAS sobre los costos de operación en \$/km y de esta manera obtener el valor en pesos por la reducción en costos de operación, que sumó</p>	<p><b>\$53.240.042.244</b></p>
<p><b>Menores fletes de transporte.</b> La estimación de los beneficios por menores fletes gracias al uso del transporte fluvial, significaron un valor de</p>	<p><b>\$11.252.250.994</b></p>

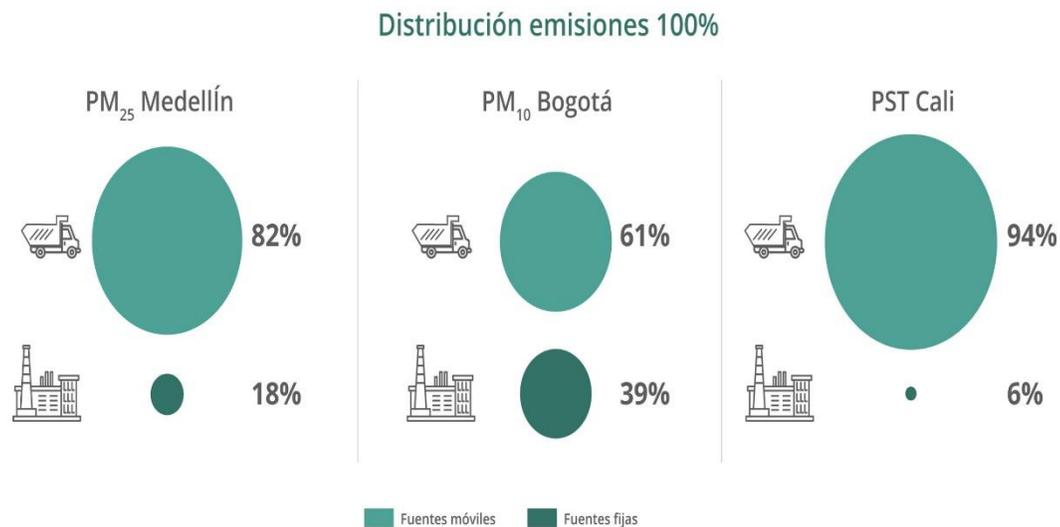


# VOLUMEN XII: ANÁLISIS ECONÓMICO Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS (ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO)

## Disminución de la Contaminación.

Del mismo modo, el Magdalena trae consigo una disminución de la contaminación debido a que el transporte por vía fluvial gasta mucho menos combustible y genera menos CO2 que el transporte carretero. El transporte de carga por el río reduciría el 64% de emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) por tonelada respecto al transporte por carretera (LUNA, 2015).

Con el fin de calcular los beneficios por disminución de la contaminación, se estableció un conjunto de parámetros en cuanto a número de camiones que dejarían de circular, toneladas promedio transportadas por camión, el consumo de gasolina en litros y sobre el factor de emisión se aplicó el Indicador mencionado y los valores obtenidos se aplicaron a los volúmenes de carga proyectados y se cuantificó un beneficio de **\$36.802.475.056**



## VOLUMEN XII: ANÁLISIS ECONÓMICO Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS (ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO)

### Incremento de ingresos por uso de facilidades portuarias.

Una vez proyectados esos volúmenes de carga, y teniendo en cuenta las tarifas vigentes en la SPRBq, se calculan los ingresos cuando entre en operación el mejoramiento del canal de acceso al puerto de Barranquilla, de acuerdo con el alcance de las obras propuestas para cada sector.

Se consideran los ingresos que percibirá la SPRBq por el pago de tarifas por concepto de muellaje, uso de instalaciones a la carga, reestiba, tránsito internacional, uso de instalaciones al operador portuario, y almacenaje.

El valor obtenido para el periodo 2019 a 2040 asciende a

**\$1.836.597.105.491**



# VOLUMEN XII: ANÁLISIS ECONÓMICO Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS (ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO)

## Beneficios para las economías local, regional y nacional.

Con base en la matriz insumo – producto obtenida en el estudio de Fundesarrollo. Impacto socioeconómico de la ZPB. 2017, que se elaboró específicamente para Barranquilla, y que plantea un conjunto de indicadores, se aplicaron esas mediciones a los valores de las inversiones que se realizarían para el mejoramiento del canal de acceso al puerto de Barranquilla, con el propósito de dimensionar la incidencia de ese mayor dinamismo del movimiento portuario que, de manera sostenida durante la vida útil del proyecto, se reflejará en las actividades locales, regionales y nacionales.

Estos indicadores permiten inferir la repercusión de cada peso (\$) invertido en el PIB, en el uso de insumos, en las transacciones realizadas, en el valor agregado, el ingreso de los hogares y en el empleo, evaluando tanto los efectos directos, como los indirectos y los inducidos, obteniendo el total de beneficios sobre cada variable.

Tabla 35 Multiplicador por cada peso en el producto final del 2016 de la actividad portuaria

Concepto		Servicios de transporte por vía acuática	Servicios complementarios y auxiliares al transporte
Producto	Directo	1	1
	Indirecto	0,48	0,42
	Inducido	0,87	0,8
	Total	2,35	2,36
Valor Agregado	Directo	1	1
	Indirecto	0,4	0,4
	Inducido	0,64	0,67
	Total	2,04	2,08
Ingreso de los hogares	Directo	1	1
	Indirecto	0,48	0,51
	Inducido	0,73	0,74
	Total	2,21	2,26
Empleo	Directo	1	1
	Indirecto	0,32	0,39
	Inducido	0,48	0,82
	Total	1,8	2,21

Fuente: Cálculos Fundesarrollo. Impacto económico del complejo portuario de Barranquilla. Crisis del calado 2017

# VOLUMEN XII: ANÁLISIS ECONÓMICO Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS (ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO)

## Flujo de Fondos

BENEFICIOS	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 10	Año 15	Año 20	Año 21	Año 22	TOTAL
	2019	2020	2021	2022	2023	2028	2033	2038	2039	2040	
Beneficios por descongestión de vías	1.046.004.202	1.076.230.874	2.154.508.709	2.200.669.713	2.234.895.596	2.419.625.477	2.644.076.893	2.920.480.901	2.983.131.756	3.048.518.851	53.240.042.244
Beneficios por reducción de fletes	221.072.361	227.460.750	455.354.123	465.110.224	472.343.844	511.386.393	558.824.065	617.241.887	630.483.107	644.302.631	11.252.250.994
Beneficios por disminución de la contaminación	723.056.217	743.950.572	1.489.316.118	1.521.225.169	1.544.884.000	1.672.579.557	1.827.732.845	2.018.798.652	2.062.106.404	2.107.305.597	36.802.475.056
Beneficios por ingresos por el uso ZP	13.721.369.035	15.738.410.283	18.051.956.594	20.705.594.214	23.749.316.563	47.148.535.328	93.602.035.987	185.824.248.408	213.140.412.924	244.472.053.624	1.814.204.601.854
<b>TOTAL BENEFICIOS</b>	<b>15.711.503.833</b>	<b>17.786.054.498</b>	<b>22.151.137.565</b>	<b>24.892.601.341</b>	<b>28.001.442.026</b>	<b>51.752.128.784</b>	<b>98.632.671.823</b>	<b>191.380.771.885</b>	<b>218.816.136.231</b>	<b>250.272.182.743</b>	<b>1.915.499.414.797</b>
COSTOS	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 10	Año 15	Año 20	Año 21	Año 22	TOTAL
	2019	2020	2021	2022	2023	2028	2033	2038	2039	2040	
Inversiones en las obras de la solución propuesta	283.262.036.690	0	0	0	0	0	0	0	-	-	283.262.036.690
Monitoreo estructuras construidas		553.288.771	575.420.322	598.437.135	622.374.620	757.213.888	921.266.474	1.120.861.530	1.165.695.991	1.212.323.831	17.688.200.324
Plan mantenimiento					14.701.340.233	16.411.739.696	19.037.618.047	22.083.636.935			71.681.046.139
<b>TOTAL COSTOS</b>	<b>283.262.036.690</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>14.770.426.082</b>	<b>17.168.953.583</b>	<b>19.958.884.521</b>	<b>23.204.498.464</b>	<b>1.165.695.991</b>	<b>1.212.323.831</b>	<b>372.631.283.153</b>
FLUJO DE CAJA NETO	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 10	Año 15	Año 20	Año 21	Año 22	Total
	2019	2020	2021	2022	2023	2028	2033	2038	2039	2040	
BENEFICIOS	15.711.501.814	17.786.052.478	22.151.135.544	24.892.599.319	28.001.440.003	51.752.126.756	98.632.669.790	191.380.769.847	218.816.134.192	250.272.180.703	1.915.499.370.148
COSTOS	283.262.036.690	553.288.771	575.420.322	598.437.135	14.770.426.082	17.168.953.583	19.958.884.521	23.204.498.464	1.165.695.991	1.212.323.831	372.631.283.153
<b>FLUJO DE CAJA</b>	<b>-67.550.534.876</b>	<b>17.232.763.707</b>	<b>21.575.715.222</b>	<b>24.294.162.185</b>	<b>13.231.013.921</b>	<b>34.583.173.173</b>	<b>78.673.785.269</b>	<b>168.176.271.383</b>	<b>217.650.438.201</b>	<b>249.059.856.873</b>	<b>1.542.868.086.995</b>
INDICADORES FINANCIEROS											
TSD	VAN		112.863.764.385								
12%	VAN BENEFICIOS		426.371.324.149								
	VAN COSTOS		313.507.559.764								
	RBC		1,36								
	TIR		14%								

# VOLUMEN XII: ANÁLISIS ECONÓMICO Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS (ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO)

## Evaluación Económica

La evaluación económica de las obras previstas y analizadas, conforme lo anterior, y una vez identificados los costos y beneficios, se adelantó mediante el cálculo de los indicadores de aceptación universal tales como el Valor Presente Neto (VPN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y la Relación Beneficio Costo (B/C). Se utilizó una tasa de interés de oportunidad (TIO) del 12%, comúnmente aceptada para las inversiones públicas por el Departamento Nacional de Planeación. La evaluación económica incluye el cálculo de los Indicadores VAN, TIR y RBC, como se indica a continuación, para establecer la viabilidad del proyecto. Construido el flujo de fondos, se efectúan los cálculos de los Indicadores Económicos, VPN, RBC y TIR. y se analizan los resultados.

El **Valor Actual Neto (VAN)** obtenido es de \$ **112.863.764.385**, es positivo e indica que los beneficios del proyecto son superiores a los costos, los cuales comprenden las inversiones requeridas por las soluciones propuestas. La **Tasa Interna de Retorno (TIR)** resultó ser del **14%**, lo que significa que los recursos que se invierten obtienen esa rentabilidad. Además, la TIR resultó ser superior al costo de oportunidad del capital del 12%. La **Relación Beneficio/Costo (RBC)** resultante es de **1,36**, cifra superior a la unidad lo que significa que los beneficios son superiores a los costos del proyecto.

Análisis de Sensibilidad				
Análisis de Sensibilidad	Valor presente Costos	Valor Presente Beneficios	Flujo de caja	Relación B/C
Beneficios/Costos	313.507.559.763,92	426.371.324.148,93	112.863.764.385,01	1,36
Beneficios/Costos +10%	344.858.315.740,32	426.371.324.148,93	81.513.008.408,62	1,24
Beneficios/Costos +20%	376.209.071.716,71	426.371.324.148,93	50.162.252.432,22	1,13
Beneficios -10%/Costos	313.507.559.763,92	383.734.191.734,04	70.226.631.970,12	1,22
Beneficios -20%/Costos	313.507.559.763,92	341.097.059.319,15	27.589.499.555,22	1,09

Concluye el capítulo con el **análisis de sensibilidad** que se basa en el planteamiento de diferentes escenarios que contemplan incrementos en los costos y disminución en los beneficios para evaluar el comportamiento de los Indicadores mencionados. El análisis de los resultados permite establecer la viabilidad del proyecto en cada caso.

# VOLUMEN XII: ANÁLISIS ECONÓMICO Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS (ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO)

## Costos y Beneficios No Cuantificables

Dentro de los costos no cuantificables generados por el proyecto se pueden considerar en general, las **medidas de manejo** de los impactos negativos que han sido tratados con mayor profundidad en el Volumen -13. Actualización del Estudio de Impacto Ambiental en el que se evalúan los impactos y se propone el respectivo Plan de Manejo.

En cuanto a los beneficios no cuantificables, se contemplan los **impactos positivos sobre el desarrollo económico**, tanto en Barranquilla, como en los municipios relacionados con el movimiento sobre la arteria fluvial que constituye el Río Magdalena.

Dentro del **marco de la facilidad para el transporte multimodal**, se incluyen el desarrollo de infraestructura portuaria de alta calidad, la calidad de puerto competitivo, y puerto con operación ambientalmente limpia.

Como alguna de las **ventajas que ofrece el Puerto de Barranquilla**, se menciona la de incentivar el crecimiento económico de la Región Caribe.

## VOLUMEN XII: ANÁLISIS ECONÓMICO Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS (ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO)

Se plantean **Alternativas de Financiación** para las obras requeridas, revisando las posibles fuentes a las que se podría acudir.

El **Documento Conpes 3758 “Plan para restablecer la navegabilidad del río Magdalena” de agosto de 2013** establecía que: “Las necesidades de inversión del proyecto pueden ascender en su totalidad a **\$2.17 billones de pesos** y contemplan las inversiones a realizar, y su retorno, la interventoría del proyecto, el servicio de la deuda y los gastos de operación y mantenimiento. Su ejecución dependerá de la estructuración de una Asociación Público-Privada (APP). Los recursos provendrán del Presupuesto General de la Nación y del Sistema General de Regalías de los municipios ribereños y de los Departamentos del río Magdalena, que se ejecutan a través de Cormagdalena.

**El Plan Maestro Fluvial de Colombia 2015 fue contratado por el Ministerio de Transporte y el DNP** y permitirá rehabilitar la navegación por vías navegables extendidas para la integración de las regiones y el sistema de ciudades, impulsar la movilización de carga y pasajeros y promover su articulación con otros modos de transporte. El objetivo principal del PMF es obtener un sistema de transporte fluvial más competitivo, limpio, seguro y beneficioso para el desarrollo social. Concluye este plan que la **principal fuente de financiación son los recursos provenientes del presupuesto general de la Nación.**



## VOLUMEN XII: ANÁLISIS ECONÓMICO Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS (ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO)

Dentro del **Plan Nacional de Desarrollo 2019-2022**, se incluye el **Pacto por el transporte y la logística: 66,2 billones de pesos de 2018 (PND)** que promueve un sector transporte que aproveche y potencie la red fluvial y férrea, mejore la eficiencia del transporte carretero, aéreo y marítimo para reducir costos y tiempos, que brinde una movilidad urbano-regional segura y acorde con las necesidades de los territorios y tiene un presupuesto de \$66.2 billones de pesos .de 2018.

**Las obras con respecto al río Magdalena**, de las que Cormagdalena es responsable, están financiadas por el mecanismo contractual de las APP. Los recursos del lado público provendrán del **Presupuesto General de la Nación, del sistema general de regalías de los municipios ribereños, Ecopetrol y de los departamentos por donde pasa el río Magdalena.**



# VOLUMEN XII: ANÁLISIS ECONÓMICO Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS (ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO)

## CONCLUSIONES

Como consecuencia del desarrollo de los capítulos anteriores se consolidan al finalizar la evaluación económica las principales conclusiones.

Con base en los resultados obtenidos **se confirma la viabilidad del proyecto** al obtener Indicadores favorables de VAN (\$ 112.863.764.385), RBC (1,36) y TIR ( 14%)

Estos facilitan el proceso de toma de decisiones por parte del INVÍAS, contribuyendo con parámetros técnicos que objetivamente orienten las inversiones que generen los mayores beneficios sociales y económicos que permitan:

- ✓ promover el desarrollo del Puerto de Barranquilla,
- ✓ repercutir favorablemente en los flujos comerciales al interior del país,
- ✓ estimular el comercio exterior al ofrecer mejores condiciones de transporte y
- ✓ ofrecer beneficios para la población.

An aerial photograph of a large body of water, possibly a bay or estuary. The water is a deep blue-green color. On the right side, there is a large island or peninsula covered in dense green forest. A portion of the island is cleared, showing a sandy or light-colored area with some small structures. The water shows some darker patches, possibly indicating submerged vegetation or sandbars. The overall scene is a natural, coastal environment.

GRACIAS