

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DRAGADO PARA LA EXTENSIÓN DEL CANAL DE ACCESO HASTA PUERTO CUATREROS, PROVINCIA DE BUENOS AIRES.

CAPÍTULO 5 – ESTUDIOS ESPECIALES

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	3
2. MODELACIÓN MATEMÁTICA HIDROSEDIMENTOLÓGICA	5
2.1 DESCRIPCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO	5
2.1.1 Introducción y Antecedentes	5
2.1.2 Descripción del Módulo Hidrodinámico	8
2.1.3 Descripción del Módulo Sedimentológico	9
2.2 MODELACIÓN HIDRODINÁMICA	10
2.2.1 Implementación del Modelo	10
2.2.2 Topografía y Batimetría del Estuario	12
2.2.3 Calibración del Modelo de Baja Resolución	18
2.2.4 Calibración del Modelo de Alta Resolución	23
2.2.5 Simulación de las Condiciones Hidrodinámicas con Obras	33
2.3 ESTUDIO DEL IMPACTO HIDROSEDIMENTOLÓGICO	42
2.3.1 Implementación y Principio de Funcionamiento del Modelo	42
2.3.2 Calibración del Modelo Sedimentológico	43
2.3.3 Modelación Sedimentológica de la Condición con Obras	53
2.4 CONCLUSIONES SOBRE EL IMPACTO HIDROSEDIMENTOLÓGICO DE LAS OBRAS DE DRAGADO Y CREACIÓN DE RECINTOS DE REFULADO	59

2.4.1	Introducción	59
2.4.2	Impactos Hidrodinámicos de las Obras	59
2.4.3	Impactos Sedimentológicos de las Obras sobre el Medio	60
2.4.4	Impactos Sedimentológicos del Medio sobre las Obras	62
2.5	DISPERSIÓN DE LAS PLUMAS DE SEDIMENTOS GENERADAS COMO CONSECUENCIA DE LAS OPERACIONES DE DRAGADO Y DISPOSICIÓN DEL MATERIAL	64
2.5.1	Parámetros de Descarga de Sedimentos desde los Vertederos de los Recintos de Refulado	64
2.5.2	Descarga al Oeste de Puerto Galván	67
2.5.3	Descarga al Este de Puerto Cuatros	73
2.6	IMPACTO DE LAS PLUMAS DE SEDIMENTOS VERTIDOS SOBRE LA SEDIMENTACIÓN EN LAS ÁREAS PORTUARIAS ACTUALES	79
2.6.1	Descarga al Oeste de Puerto Galván	80
2.6.2	Descarga al Este de Puerto Cuatros	80
3.	ANÁLISIS DE LOS IMPACTOS EN LA CALIDAD DEL AGUA	81
3.1	INTRODUCCIÓN	81
3.2	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	82
3.3	DETERMINACIÓN DE LA EXPOSICIÓN	84
3.4	DETERMINACIÓN DEL EFECTO	88
3.5	CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO	89
3.5.1	Receptor: Vida Acuática	89
4.	ANÁLISIS DEL POTENCIAL IMPACTO ACÚSTICO	99
4.1	INTRODUCCIÓN	99
4.2	METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO ACÚSTICO SOBRE LA POBLACIÓN	101
4.2.1	Determinación del Ruido de Fondo	103
4.2.2	Identificación de Fuentes de Emisión y Cálculo de los Niveles de Inmisión	106
4.2.3	Comparación del Ruido de Fondo y los Niveles de Inmisión	107
4.3	ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL IMPACTO ACÚSTICO	111
4.3.1	Afectaciones sobre la Población	111
4.3.2	Afectaciones sobre la Fauna	112
5.	BIBLIOGRAFÍA	113

CAPÍTULO 5 – ESTUDIOS ESPECIALES

1. INTRODUCCIÓN

Como se describió previamente en el Capítulo 1, el Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto de Dragado en el Estuario de Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires, se encuentra dividido en diferentes secciones. En este sentido, la presente constituye la quinta de ellas, la cual contiene los estudios especiales realizados como parte del mencionado estudio ambiental, cuyos resultados serán considerados en los capítulos subsiguientes para la evaluación de los impactos ambientales generados por el proyecto.

Mientras que el Punto 1 constituye una breve introducción a esta sección, en el Punto 2 se describen los estudios realizados mediante modelación matemática. La metodología de ejecución de dicho estudio comprende las siguientes tareas:

- Recopilación y análisis de antecedentes relativos a las condiciones topográficas, batimétricas, hidrodinámicas, sedimentológicas y morfológicas de la zona de estudio.
- Modelación y calibración de las condiciones hidrodinámicas del estuario, empleando los datos históricos recopilados y datos batimétricos y topográficos provistos por el CGPBB.
- Modelación de las condiciones sedimentológicas del estuario y ajuste de las condiciones de sedimentación obtenidas en base a antecedentes y datos provistos por el CGPBB.
- Inclusión en la modelización del proyecto de canal, área de giro y áreas de disposición propuestos por el Comitente.
- Estimación de las tasas de sedimentación futuras en las zonas dragadas.
- Modelación y estudio del impacto de las plumas debidas a descargas de material proveniente de los vertederos de los recintos de refulado.
- Estimación de la modificación transitoria de las tasas de sedimentación en las zonas actualmente dragadas debidas a la deposición de los sedimentos de las plumas.

En base a esto, el mencionado punto se organizó de la siguiente manera:

En el parágrafo 2.1 se presenta una descripción del modelo matemático implementado. En él se describen los diferentes módulos que lo componen y como se interrelacionan.

En el parágrafo 2.2 se presenta una descripción de la implementación del modelo matemático al problema hidrodinámico, y los datos utilizados para dicha implementación, como la topobatimetría de base. Se describe también la calibración del modelo en baja y alta resolución, presentándose los resultados correspondientes a los campos de velocidades del flujo y niveles de agua para las condiciones “actual” y “con obras”, entendiéndose por ésta última, la situación en la cual ha sido dragado el canal y dársena en el tramo entre Puerto Galván y Puerto Cuatros, se han construido los recintos de disposición del material refulado, y se ha dragado además el tramo al Este de Puerto Galván profundizando el canal a una cota de fondo compatible con la correspondiente a la del nuevo canal construido al Oeste de Puerto Galván.

En el párrafo 2.3 se presenta, en primer lugar, la implementación y principio de funcionamiento del modelo sedimentológico utilizado. En segundo lugar, se presenta la calibración de la modelación sedimentológica, la cual se basa en lograr una adecuada representación de las tasas de sedimentación típicas actuales en los sitios de atraque y en el área de Giro de Galván (dado que no se produce sedimentación en el propio canal). Una vez calibrado el modelo, se aplica el mismo sobre la configuración del lecho y la planicie con obras, obteniéndose las tasas de sedimentación estimadas en las nuevas áreas dragadas y las modificaciones en la sedimentación de las áreas portuarias y acceso náutico actuales.

Estas tasas son objeto de un análisis de sensibilidad ante una variación de los parámetros de calibración principales.

En el párrafo 2.4 se detallan las conclusiones del análisis sobre el impacto de las obras de dragado y la creación de áreas de refulado. Las mismas consisten en una estimación del impacto sedimentológico de la presencia de obras sobre el medio y viceversa. Puntualmente en el primer caso, se estudia el impacto hidrodinámico observando niveles de agua y velocidades de las corrientes, como también el impacto sedimentológico sobre las áreas portuarias y de navegación actuales y el ambiente en torno a las obras.

En el párrafo 2.5 se presenta la modelación de la dispersión de las plumas generadas como consecuencia de la operación de dragado y disposición de material. Los resultados de la modelación se dividen según las diferentes zonas de descarga de sedimentos evaluadas. En primer lugar se detallan los parámetros utilizados para simular las descargas de sedimentos desde los vertederos de los recintos de refulado. Luego, se muestran las trayectorias y las concentraciones de sedimentos de las plumas generadas para cada descarga, describiendo las áreas afectadas por éstas en un período de marea típico.

El párrafo 2.6 analiza el impacto de las plumas provenientes de las diferentes descargas a través del estudio de la deposición de sedimentos en las dársenas Este, Oeste, y zona de giro de Pto. Galván y en las zonas del muelle, Servicios Generales y Cargas Generales de Pto Ing. White. Dicho estudio analiza en los sitios de interés los volúmenes de sedimentos depositados mensualmente debido a las plumas generadas mientras se efectúa el dragado, detallando según cada descarga las zonas afectadas en mayor y menor medida.

Por otro lado, en el Punto 3 se presenta el análisis tendiente a evaluar la afectación sobre la calidad del agua del Estuario de Bahía Blanca en las inmediaciones de la zona afectada por el proyecto.

Por último, el Punto 4 de este capítulo comprende un análisis de los potenciales impactos acústicos, cuyo objeto es evaluar las posibles afectaciones que el proyecto de dragado y sus actividades asociadas podrían llegar a tener sobre los receptores que se localizan en la zona.

2. MODELACIÓN MATEMÁTICA HIDROSEDIMENTOLÓGICA

2.1 DESCRIPCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

2.1.1 Introducción y Antecedentes

Se ha utilizado para el presente estudio el modelo MOHID, desarrollado por el Instituto Superior Técnico de Lisboa. MOHID es un modelo de diferencias finitas para simulación de corrientes debidas tanto a forzamientos baroclínicos como mareales y meteorológicos.

Es desarrollado y mantenido por el Centro de Investigaciones Marinas y de Tecnología Ambiental (MARETEC) del Instituto Superior Técnico perteneciente a la Universidad Técnica de Lisboa en Portugal.

El sistema está compuesto de herramientas de pre-procesamiento (e.g. MOHID GIS), de una interface gráfica para la implementación de los modelos (MOHID GUI) y de herramientas para el postprocesamiento de los resultados (e.g. MOHID GIS, MOHID POST, MOHID Time Series Editor y MOHID Statistical Analyzer).

Desde el punto de vista de la modelación de ecosistemas marinos, MOHID está compuesto por más de 40 módulos los cuales interactúan y se acoplan para el desarrollo de modelos en un vasto campo de aplicaciones, entre las cuales se incluye el estudio de la dispersión de manchas provocadas por derrames de petróleo, como la ocurrida por el hundimiento del Buque Prestige frente a las costas españolas, ocurrido en el año 2002.

La malla tridimensional del MOHID está formulada con una aproximación de volúmenes finitos con coordenada vertical sigma o cartesiana u otras que permiten una buena simulación de los efectos topográficos. Es capaz de representar en forma muy estable condiciones complejas de flujo con llenado y vaciado de áreas de planicie.

MOHID posee una interfaz gráfica (MOHID GUI) para utilizar los programas ejecutables bajo el sistema operativo Windows, ya que la interfaz está implementada sobre la plataforma Microsoft .NET. Por otro lado, se permite invocar el modelo a través de la línea de comandos.

La organización del Framework MOHID, se basa en tres componentes principales:

- Herramientas numéricas, permiten el cálculo de los diferentes modelos y otras herramientas auxiliares.
- Traspaso y almacenamiento de datos, se encarga de guardar la información producida por el modelo.
- Interfaces de usuario (GUI's), permite el manejo de datos de entrada, control de ejecución del programa y análisis de resultados.

MOHID usa 2 módulos para intercambiar información entre el modelo y la interfaz gráfica (GUI).

- Basado en el módulo EnterData:

Permite leer y escribir archivos de datos ASCII, estructurados en forma similar a un archivo en formato XML.

Durante la simulación, casi todos los módulos que manejan información del proceso crean una instancia en particular del módulo EnterData, para leer datos de diferentes archivos.

- Utilizando el módulo HDF:

El formato HDF es usado por MOHID para almacenar los resultados intermedios o finales producidos por el modelo. Este formato fue desarrollado por la National Center for Super Computation Application (NCSA¹). Algunas de las ventajas del formato HDF5, con respecto a otros formatos, son que los archivos pueden almacenar mucha más información, el acceso al archivo es más rápido y los archivos pueden ser leídos incluso si la ejecución no llegó a su fin.²

La interfaz gráfica de usuario en MOHID está compuesta por 2 programas principales, ambos desarrollados en Microsoft .NET, para el sistema operativo Windows.

- MOHID GUI: maneja la estructura de directorios y los archivos de datos necesarios para establecer una simulación en MOHID y genera los archivos de salida de la ejecución.
- MOHID GIS: es un sistema de información geográfica que maneja variables temporales y espaciales requeridas o producidas por las aplicaciones de MOHID.

Ambas interfaces incorporan otras herramientas de post-procesamiento para el manejo de los datos de entrada y salida de MOHID, tales como:

- Mohid PostProcessor: es una interfaz gráfica que despliega en pantalla, en forma de animación, datos almacenados en el formato HDF.
- ConvertToHDF5: permite la aplicación de diferentes operaciones que involucran archivos en el formato HDF5, tales como la conversión de datos a HDF5, interpolación de grillas y concatenación de archivos.
- Digital Terrain Creator: es un programa que se utiliza principalmente para la creación de una grilla de datos y para generar el archivo de entrada de batimetría del modelo.

Para el presente estudio se empleará el MOHID Water que es un programa numérico en tres dimensiones que puede simular diversos procesos que ocurren en cuerpos de agua como ríos, reservas, estuarios, áreas costeras u océanos.

Es uno de los programas principales dentro del sistema de modelación MOHID. El programa se compone de una serie de módulos que primordialmente se encargan de calcular los procesos físicos y biogeoquímicos y además del manejo de la lectura y escritura de los datos requeridos por el modelo.

El mismo fue diseñado para simular sistemas acuáticos considerando también los procesos de intercambio con otros medios, como ser la interacción con la atmósfera y con el fondo.

¹ http://www.hdfgroup.org/projects/ncsa_systems/ Consultado en Abril de 2011

² Estudio inicial del modelo MOHID. Barreto, Ignacio; Ezzatti, Pablo; Fossati, Mónica. ISSN 0797-6410. Reporte Técnico RT 09-10. PEDECIBA. Instituto de Computación – Facultad de Ingeniería. Universidad de la República. Montevideo, Uruguay, mayo de 2009

La figura siguiente ilustra la interacción entre distintos módulos del sistema, mostrando las relaciones y las interfaces con los diferentes medios.

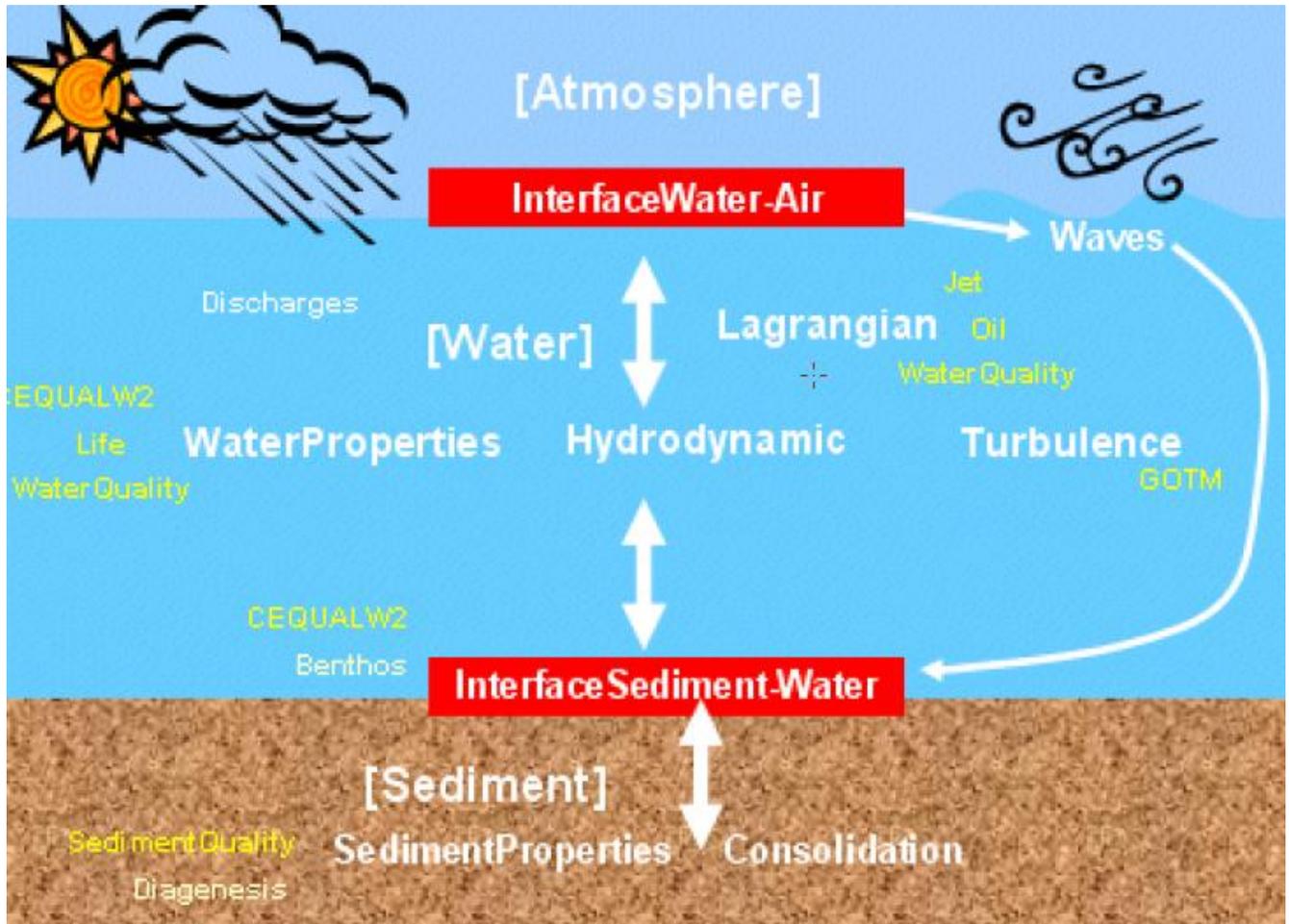


Figura 1. Principales Módulos del MOHID Water.

El módulo principal en la arquitectura del sistema es el “Model”, el cual maneja toda la información y es responsable de construir y modificar cada modelo. También se encarga de controlar el flujo de información entre diferentes modelos y la evolución del tiempo de simulación. Coordina la ejecución del módulo Hydrodynamic y el módulo Transport; y depende de los módulos Hydrodynamic, WaterProperties y Lagrangian.

La coordinación de ejecución del modelo consiste en la actualización del tiempo global del modelo y la actualización de los módulos Transport e Hydrodynamic en un solo modelo.

Al trabajar con modelos anidados las comunicaciones entre modelos se hacen en una sola vía y de forma recursiva, es decir, las condiciones iniciales y otros datos que se calculan durante la simulación se envían desde el modelo padre al hijo.

El modelo ha sido implementado por Serman & asociados en el mar argentino. Las profundidades náuticas empleadas para construir la grilla del modelo se han obtenido de bases de datos globales de batimetría del lecho marino, resultando el Modelo Digital del lecho y la Grilla que se presentan en las figuras siguientes.

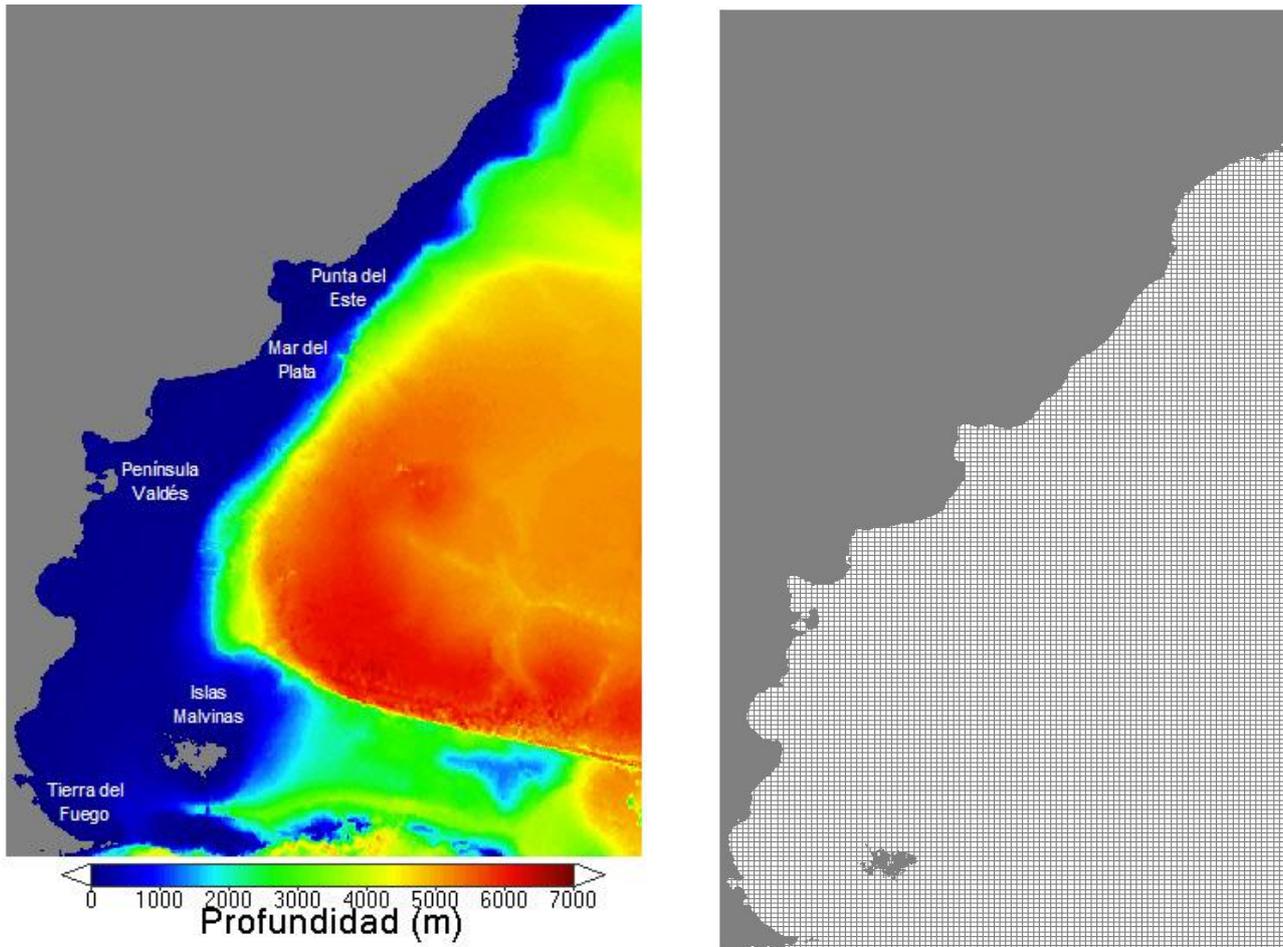


Figura 2. Profundidades y Grilla del Modelo MOHID del mar Argentino

A continuación se describen las capacidades del modelo utilizadas para el presente estudio.

2.1.2 Descripción del Módulo Hidrodinámico

El módulo Hydrodynamic calcula el nivel, la velocidad y el flujo de agua en cada paso de tiempo. La discretización espacial es realizada por una aproximación de volúmenes finitos y la discretización temporal se realiza con un algoritmo semi-implícito ADI (Alternating Direction Implicit). Este algoritmo computa alternativamente una componente de la velocidad horizontal implícitamente mientras la otra es calculada explícitamente. El sistema de ecuaciones resultantes es tridiagonal y por lo tanto puede ser resuelto de manera eficiente por el algoritmo de Thomas.

La malla tridimensional del MOHID está formulada con una aproximación de volúmenes finitos con coordenada vertical sigma o cartesiana u otras que permiten una buena simulación de los efectos topográficos. La discretización temporal implícita ADI (Alternating Direction Implicit) utiliza una grilla desfasada, lo que soluciona problemas de estabilidad que ocurren en métodos explícitos y que permite una resolución más simple por matrices tridiagonales en el cálculo de la elevación de la superficie libre y velocidades horizontales. El término de la fuerza de Coriolis y el transporte horizontal se resuelven explícitamente, mientras que el modelo utiliza un algoritmo implícito para resolver los términos de presión y el transporte vertical.

Las condiciones de marea astronómica se imponen como condiciones de contorno sobre el borde oceánico del dominio y pueden ser obtenidas a partir de un modelo global de marea, cuya solución es extraída en una serie de puntos distribuidos a lo largo de la frontera oceánica del dominio con ayuda de la herramienta mohid-tide. Por otro lado, los forzantes atmosféricos son introducidos al modelo hidrodinámico como condición de borde en la superficie libre y pueden ser impuestos a través de un registro medido u obtenidos a partir de un modelo de circulación atmosférica de mesoescala, el cual a su vez recibe las condiciones iniciales y de contorno de un modelo global de circulación atmosférica.

El modelo resuelve las ecuaciones primitivas tridimensionales de Navier-Stokes para fluido incompresible. Se utilizan las aproximaciones de Boussinesq y de Reynolds, y se asume válida la aproximación hidrostática ya que en los cuerpos de agua estuarinos u oceánicos, las escalas horizontales son mucho mayores que las verticales. El módulo hidrodinámico de MOHID, corresponde a un modelo baroclínico 3D implementado en volúmenes finitos, el cual resuelve las ecuaciones primitivas incompresibles. La viscosidad vertical es calculada por medio del modelo General Ocean Turbulence Model. El modelo también resuelve las ecuaciones de transporte para la salinidad y la temperatura.

En particular se ha aplicado el MOHID para estudiar la hidrodinámica del estuario de Bahía Blanca con adecuada precisión en su resolución utilizando la metodología de modelos anidados. A través de esta metodología, es posible anidar grillas de resolución espacial creciente, forzando los modelos locales de menor tamaño de celda con resultados de aplicaciones de mayor escala.

De esta forma, el modelo permite estudiar en detalle áreas cada vez más cercanas a la región de interés, a partir del traspaso de las condiciones de borde del modelo “padre” hacia la grilla anidada (“hijo”). No obstante, este tipo de aplicaciones requieren de una gran capacidad de cálculo para resolver los sistemas de ecuaciones resultantes.

El módulo Hydrodynamic calcula el nivel, la velocidad y el flujo de agua en cada paso de tiempo. La discretización espacial es realizada por una aproximación de volúmenes finitos y la discretización temporal se realiza con un algoritmo semi-implícito ADI (Alternating Direction Implicit). Este algoritmo computa alternativamente una componente de la velocidad horizontal implícitamente mientras la otra es calculada explícitamente. El sistema de ecuaciones resultantes es tridiagonal y por lo tanto puede ser resuelto de manera eficiente por el algoritmo de Thomas.

2.1.3 Descripción del Módulo Sedimentológico

La simulación sedimentológica del estuario, se realizó utilizando el módulo sedimentológico del modelo MOHID. El mismo dispone de un módulo lagrangiano que permite seguir el movimiento de vertidos, sean sólidos, líquidos u oleosos bajo diferentes forzamientos, a la vez que incorpora procesos internos de la sustancia vertida. El modelo de transporte lagrangiano gestiona las mismas propiedades que el módulo WaterProperties. Puede ser utilizado, por ejemplo, para la simulación de la dispersión del petróleo o de sedimentos descargados en el agua (por ejemplo, efluentes de vertederos de descarga de recintos de refulado). El módulo lagrangiano del MOHID utiliza el concepto de trazador, cuyas propiedades fundamentales son la posición espacial (x, y, z) de las partículas utilizadas como trazadores, su volumen y la concentración de determinadas propiedades de interés, como pueden ser cualquiera de las evaluadas en el módulo de calidad de aguas (por ejemplo algún contaminante).

En cambio, el módulo WaterProperties coordina y maneja la evolución de las propiedades del agua utilizando un modelo Euleriano de transporte. Para llevar a cabo esta tarea, se emplea otros módulos como el de AdvectionDifussion (Advección-Difusión), encargado de calcular el transporte (por difusión o advección) de las propiedades, o el módulo WaterQuality (calidad del agua), el cual es uno de los tres módulos encargados de calcular procesos biogeoquímicos. A través de este módulo, MOHID es capaz de simular diferentes propiedades como la temperatura, la salinidad, sedimentos cohesivos, fitoplancton, nutrientes, contaminantes, etc.

Conocido el comportamiento hidrodinámico del medio, se aplicó el módulo Euleriano de transporte de masa del MOHID, el cual simula el transporte, sedimentación y erosión de sedimentos, teniendo en cuenta la velocidad de caída de las partículas y su comportamiento en función de las tensiones de corte de erosión y de deposición, en la forma en que fue descrito en la Línea de Base Ambiental del EIA previamente presentada, y que se amplía en el parágrafo 2.3, donde se describe con mayor detalle la implementación del modelo y el ajuste de sus parámetros.

2.2 MODELACIÓN HIDRODINÁMICA

2.2.1 Implementación del Modelo

El modelo hidrodinámico ha sido diseñado, calibrado y validado con el fin de reproducir los fenómenos observados en el estuario de Bahía Blanca, según lo descrito en el capítulo sobre las condiciones hidrodinámicas y morfológicas del mismo.

Los datos de tres mareógrafos diferentes con registros prolongados fueron analizados para validar el modelo en primer lugar (Torre Mareográfica - TM, Puerto Belgrano – PB y Puerto Ingeniero White - IW), y luego se ajustó la zona superior por contraste con el mareógrafo de Puerto Cuatrerros, el cual presenta un registro reciente con frecuentes discontinuidades.

A continuación se presenta la metodología seguida, combinando el análisis armónico de las elevaciones del agua y las observaciones de corrientes con los valores obtenidos del modelo y para así discernir el ajuste necesario de los parámetros del modelo a fin de obtener un resultado más representativo de la realidad.

Con toda la información descripta anteriormente se procedió a implementar el modelo hidrodinámico MOHID (<http://www.mohid.com/>) para crear un modelo bidimensional del estuario de Bahía Blanca que cubre el sitio de estudio.

La simulación fue llevada a cabo utilizando tres grillas anidadas. Una grilla de baja resolución con celdas de 800 m de lado, cuya extensión total es aproximadamente 8352 km². Dentro de anterior se encuentra la malla de resolución media con celdas de 200 m de lado cubriendo una extensión de 1421 km². Finalmente la tercera y cuarta grilla de alta resolución ocupan área de 1381 km² y conformada por celdas de 50 m de lado como se observa en la Figura 3.

La razón por la cual se implementaron las dos últimas grillas cubriendo prácticamente la misma región, es que la segunda es necesaria para lograr una adecuada transferencia de las condiciones de contorno generadas por la primer grilla de baja resolución, a la grilla de menor tamaño de celda (alta resolución), dado que la diferencia en los tamaños de las celdas es excesiva como para enlazar las grillas mayor y menor directamente.

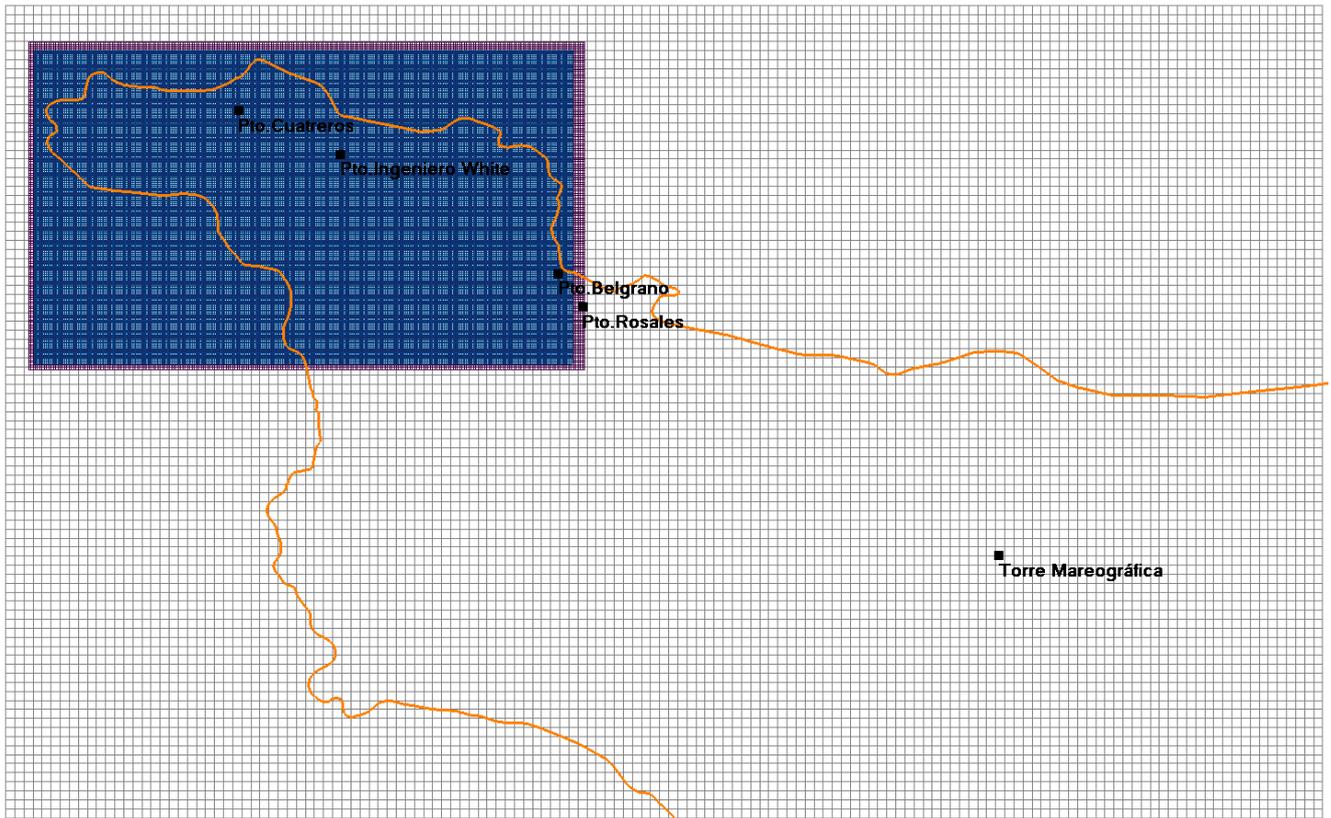


Figura 3. Grillas de cálculo anidadas utilizadas en la simulación

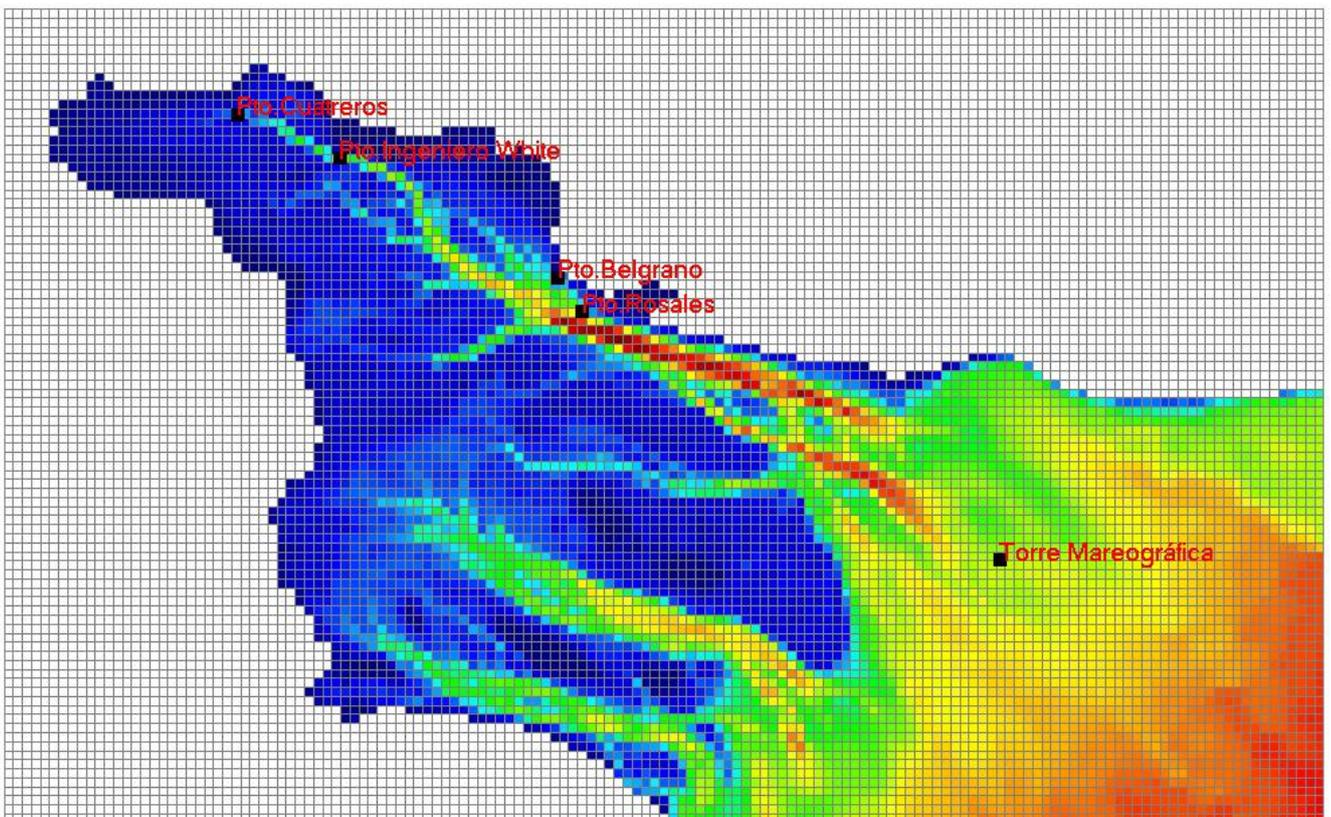


Figura 4. Batimetría implementada en la simulación de baja resolución

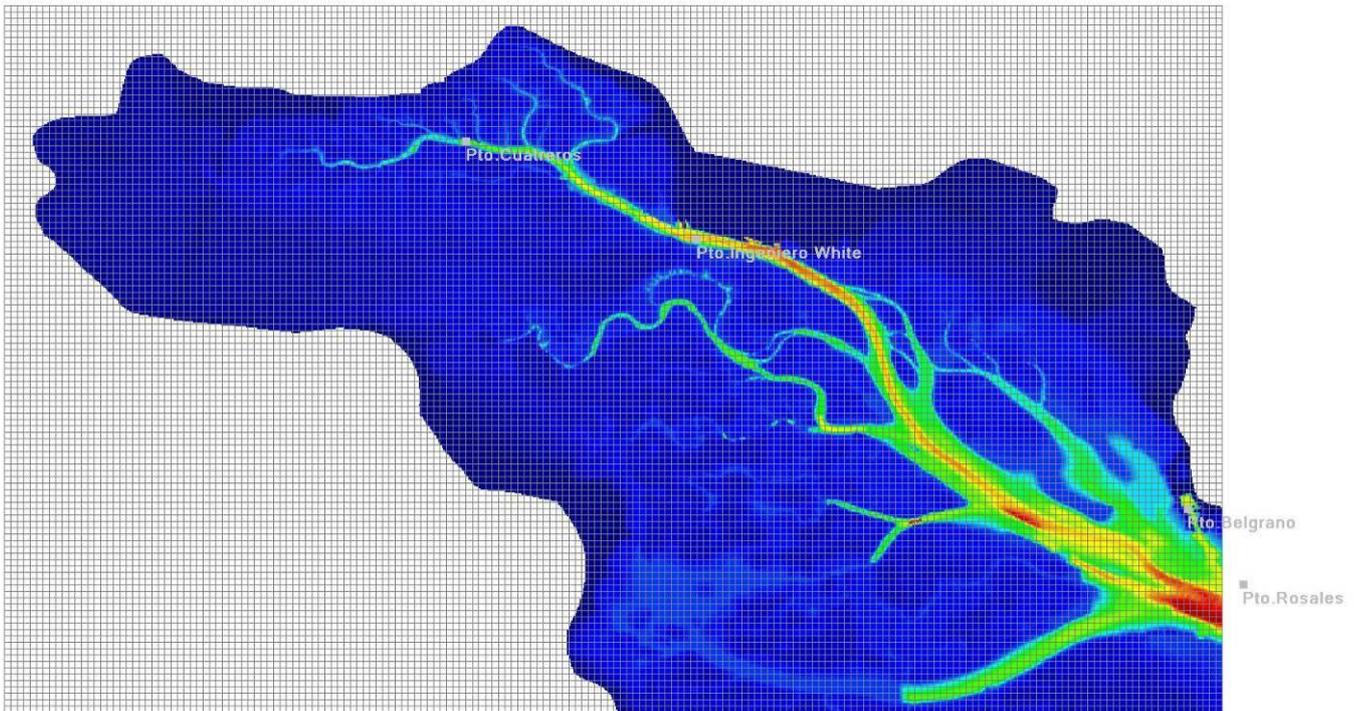


Figura 5. Batimetría implementada en la simulación de alta resolución

Debido a la cercanía de la Torre Mareográfica al límite del dominio de Bahía Blanca, las condiciones de frontera fueron proporcionadas por los componentes de marea de esa estación a lo largo de toda la frontera abierta.

Dado que el viento juega un papel importante sobre la dinámica del estuario y el nivel del agua en el estuario de Bahía Blanca, tal como se ha descrito previamente, su efecto ha sido tenido en cuenta en las simulaciones de calibración, empleando los registros de la estación de Puerto Rosales para los años 2002 y 2003 y los de la estación de Puerto Cuatros para 2010.

2.2.2 Topografía y Batimetría del Estuario

A continuación se describe la topobatimetría de base empleada para elaborar la modelación.

El estuario de Bahía Blanca (también denominado Ría de Bahía Blanca) es el espacio geográfico determinado por la línea imaginaria que va desde Punta Pehuen-có al noreste, a Punta Laberinto al sudoeste, siguiendo el arribamiento de la isobata de -10,0 m y las líneas de ribera de ambas márgenes hasta su finalización.

Desde la embocadura presenta una suerte de barrera formada por cadenas de dunas, algunas sumergidas, otras que velan con alturas inferiores a las pleamares como el Banco del Oeste, del Toro, del Sur, Banco Redondo y Banco Cuchillo y la mayor superficie conforman islas accesibles consolidadas como Isla Trinidad, Isla Bermejo e Islas del Embudo.

Esta barrera goza de una estabilidad dinámica en el corto y mediano plazo, con evoluciones predecibles, lo que ha permitido hasta el presente adecuar el trazado del Canal Navegable mediante la ejecución de dragados periódicos de corrección en el tramo denominado Canal del Toro.

Desde el punto de vista hidrodinámico la barrera brinda un efecto beneficioso, al impedir la propagación de los oleajes de generación oceánica, lo que permite una navegación segura independientemente de las condiciones atmosféricas imperantes.

La topografía del estuario fue definida en primera instancia mediante un procedimiento de teledetección satelital.

La teledetección satelital constituye una herramienta útil para el estudio de estuarios con gran extensión de superficie intermareal como es el caso del estuario de Bahía Blanca (2300 km²). La accesibilidad a las distintas partes del estuario representa un serio problema debido a que gran parte de su superficie corresponde a superficies intermareales.

La extracción de la línea de agua, que es la línea de igual elevación que separa el fluido y la tierra, mediante imágenes satelitales, se utilizó en distintas partes del mundo como una herramienta para estudiar cambios en los ambientes mareales y las líneas de costa (Chen y Rau 1998; Kevin y El Asmar 1999; Frazier y Page 2000; Ryu et al 2002). Con el objeto de generar una batimetría del área que pueda ser utilizada posteriormente en el modelo hidrodinámico se analizaron distintos métodos para detectar la línea de agua en el estuario mediante imágenes Landsat 5-TM y 7-ETM.

La línea tierra-agua se puede considerar aproximadamente una línea de igual elevación del nivel del agua con respecto a la tierra. De este modo, conocida la altura de la marea en el momento de adquisición de cada imagen, es posible generar un modelo de elevación digital (DEM) del estuario por superposición de una serie de líneas de agua (separación agua-tierra) obtenidas a partir de imágenes con distintas condiciones de marea.

Los datos utilizados en la generación del DEM son:

- Datos batimétricos de canal de acceso al Puerto Belgrano, cubriendo un ancho de 500m desde el kilómetro 0 al 22 de dicho canal provistos por el CGPBB.
- Digitalización de la carta H256 editada por el Servicio de Hidrografía Naval (S.H.N.,1999)
- Datos de marea para cada una de las imágenes, obtenidos de los mareógrafos localizados en la Torre Oceanográfica, Ingeniero White y Puerto Belgrano, referidos al Nivel de Reducción.
- Imágenes satelitales Landsat 5-TM y 7-ETM (Path 226, Row 87), Nivel 5 de procesamiento, obtenidas a distintas alturas de marea, provistas por la CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales). Ver Tabla 1.
- Información de cartas topográficas el IGM en los bordes externos no inundados.

- Datos batimétricos relevados en las áreas de canal y dársenas existentes, así como en las áreas a dragar para el presente proyecto, entregados por el CGPBB.
- Digitalización de puntos batimétricos y curvas de nivel de la Carta Náutica digital H212 en zonas con escasa información batimétrica.
- Datos topográficos de alta precisión obtenidos mediante tecnología LiDAR, mediante los cuales se realizó un ajuste del DEM obtenido con la información precedente, de tal manera de ajustar las cotas de la planicie y referirlas a un plano horizontal (el “cero del IGN”).

Tabla 1. Listado de imágenes satelitales

Sistema Satelital		Fecha	Marea	
Satélite	Sensor		Altura	Estado
Landsat 7	ETM	09/11/2000	0.66 m	Bajante
Landsat 5	TM	15/01/1999	2.57 m	Bajante
Landsat 7	ETM	05/04/2002	3.07 m	Creciente
Landsat 7	ETM	30/10/2002	3.25 m	Creciente
Landsat 7	ETM	09/09/2001	4.07 m	Creciente
Landsat 7	ETM	28/01/2001	4.44 m	Pleamar

Con excepción de los datos LiDAR, la información se encuentra referida a un plano conocido como plano de reducción, definido como el valor medio de las bajamares de sicigias menos una desviación estándar en cada uno de los puertos (ver Figura 6). En el estuario de Bahía Blanca los mareógrafos se encuentran calibrados a este nivel de referencia y corresponde al establecido por la Carta H212. Entonces todos los datos se encuentran referidos al mismo plano de reducción el cual no es horizontal sino que va variando a medida que nos internamos en el estuario.

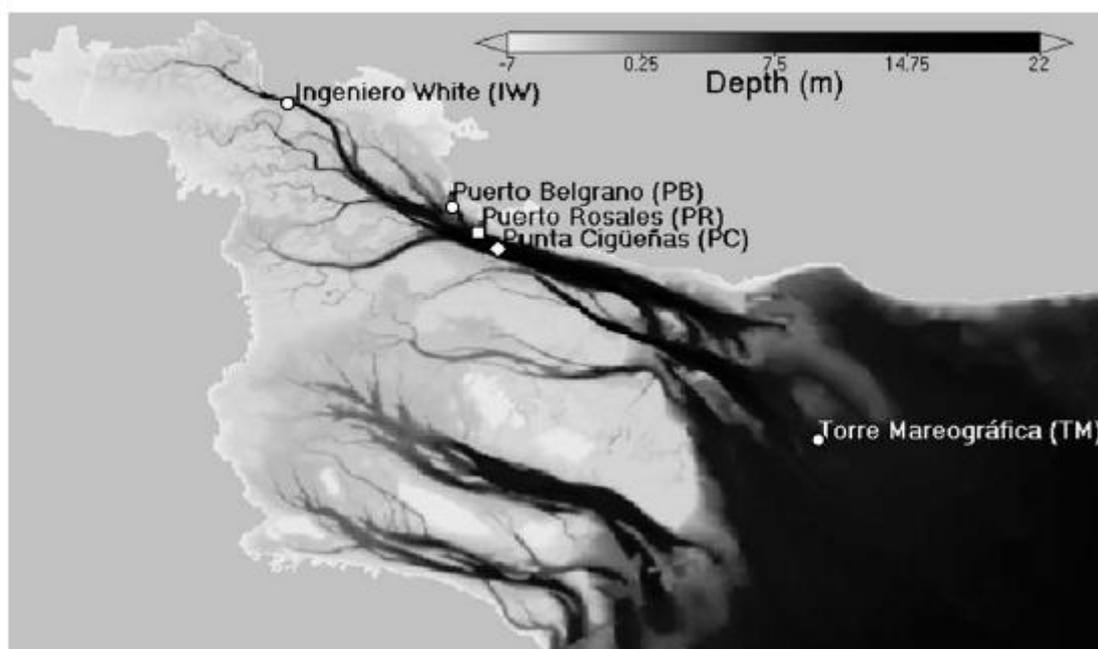


Figura 6. Representación batimétrica del área de estudio (referida a los ceros de referencia del SHN) y localización de los mareógrafos en el estuario de Bahía Blanca.

La Figura 7 muestra la topografía LiDAR referida al cero del IGN.

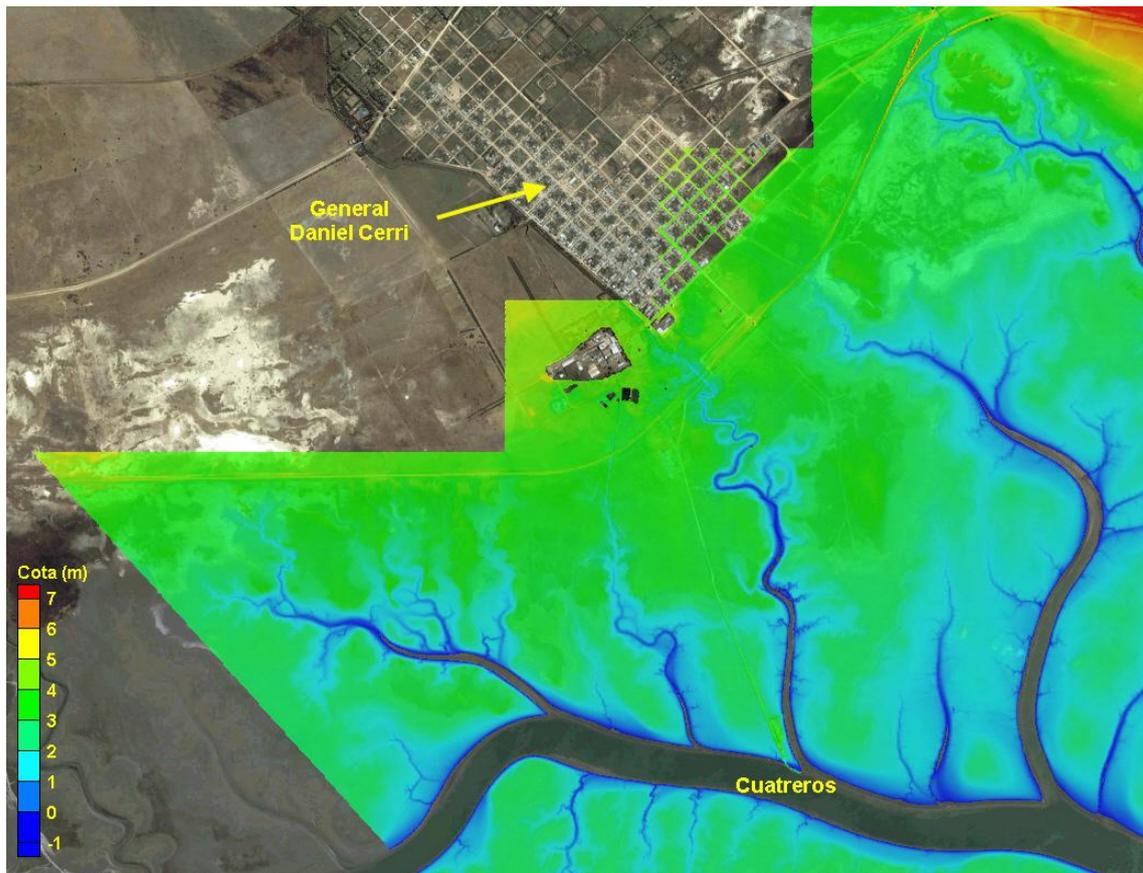


Figura 7. Topografía LiDAR adquirida para el área de estudio referida al cero del IGN.

La información LiDAR en conjunto con la cota IGN del cero de mareas en Puerto Ingeniero White (ver Figura 8), fue empleada para ajustar la batimetría general y relacionarla a un plano horizontal coincidente con el cero del IGN (ver Figura 9).

Dado que la información LiDAR no cubre en forma pareja ambos lados del canal, su incorporación se realizó en dos instancias. En primer lugar, se incorporó únicamente la información correspondiente a la planicie del lado Norte del canal principal, que está más completa y se procedió a realizar las simulaciones con el modelo.

Posteriormente, luego de obtenidos los resultados iniciales en cuanto a la sedimentación para la condición actual, y advirtiendo que el área inundada al Sur del canal principal parecía estar algo subvaluada en relación con la realidad, particularmente por un cierto estrangulamiento del flujo en los canales secundarios, se mejoró la batimetría en el sector donde se dispuso de información LiDAR y se empalmó el DEM con el resto de la información batimétrica obtenida del análisis satelital, a fin de evitar la aparición de saltos en la interfase.

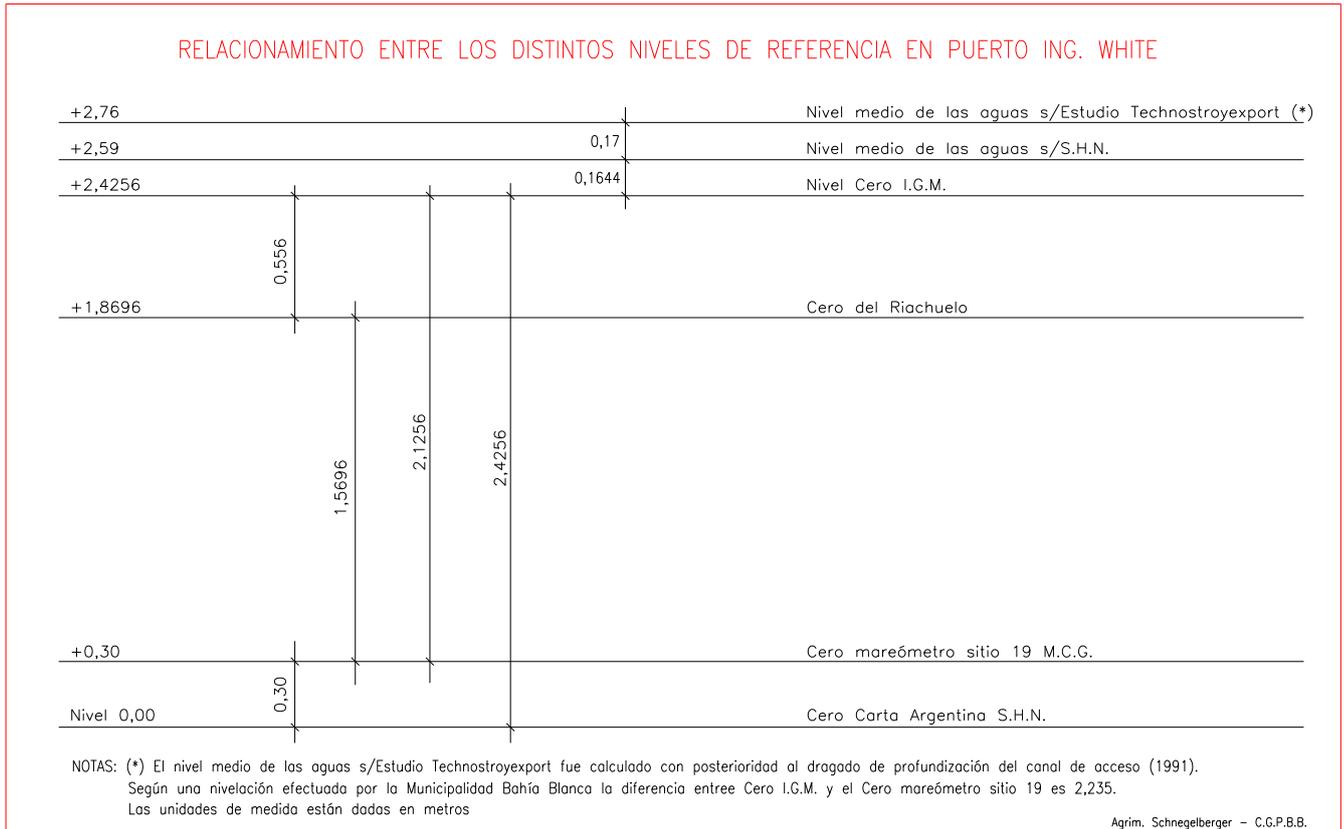


Figura 8. Niveles de referencia en Puerto Ingeniero White. Fuente: CGPBB

La topografía utilizada en el modelo consiste en consecuencia en un Modelo Digital del Lecho referido al Cero del IGN el cual se presenta en la Figura 9 (para la totalidad del área modelada).

En la Figura 10 se ilustra con mayor detalle la zona de estudio ubicada al Oeste de Puerto Belgrano.

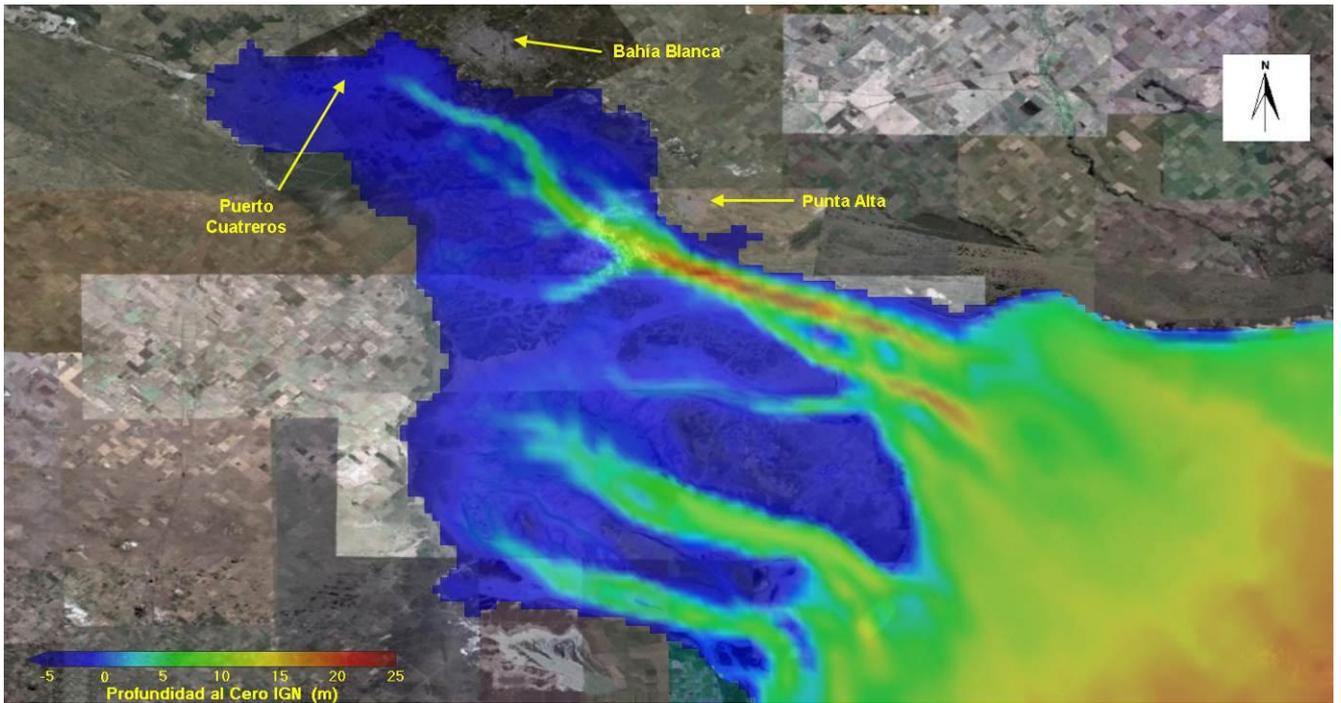


Figura 9. Topografía utilizada para la totalidad del área de modelación referida al Cero de IGN.

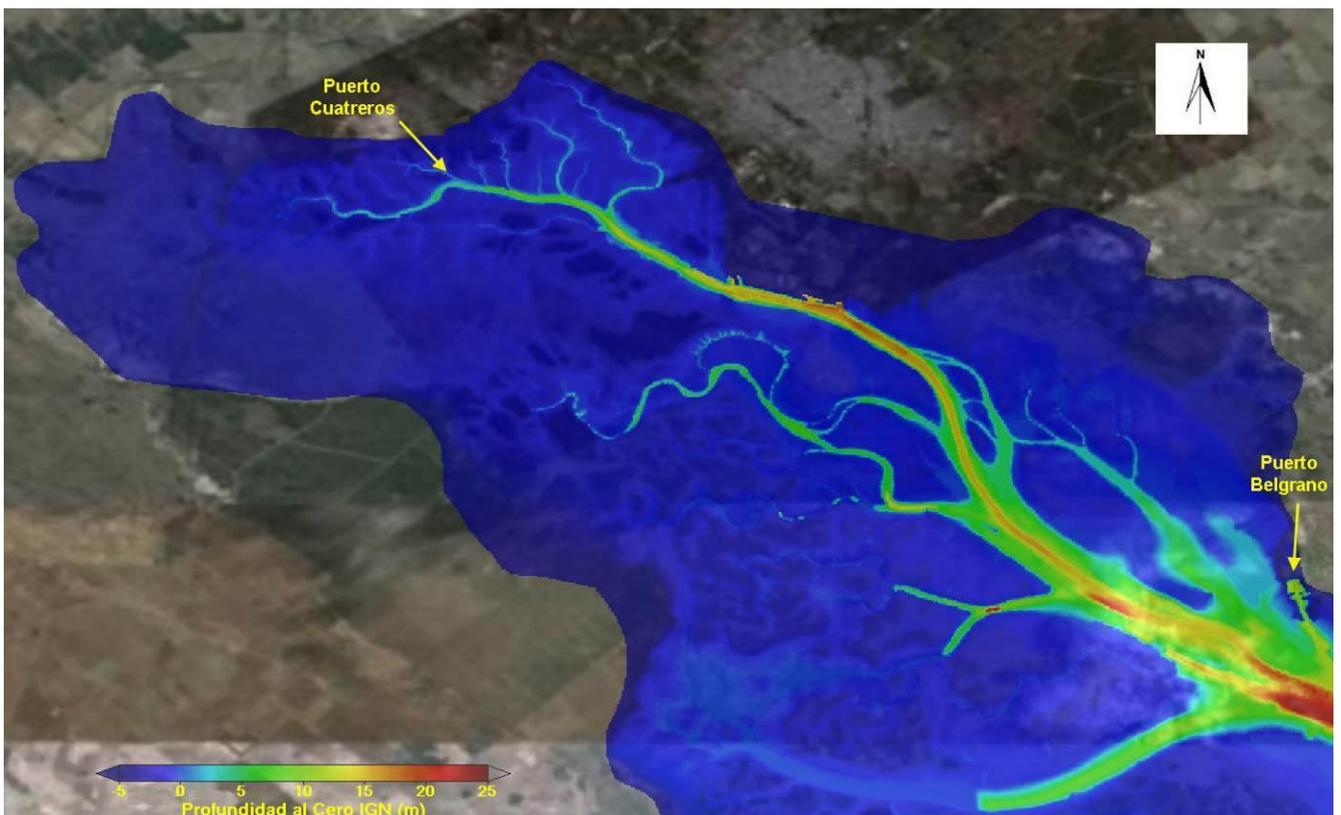


Figura 10. Topografía detallada utilizada para la modelación de la zona entre Puerto Belgrano y Puerto Cuatros referida al Cero de IGN.

2.2.3 Calibración del Modelo de Baja Resolución

2.2.3.1 Nivel de Marea

En el estuario de Bahía Blanca debido a su geomorfología especial, que incluye una gran parte de la zona intermareal, las variaciones en el nivel del mar tienen mucha influencia dado que unos pocos centímetros extra pueden suponer un gran volumen de agua de intercambio adicional.

La calibración de la grilla de baja resolución se realizó realizando simultáneamente una validación de los niveles de agua y de las intensidades de las corrientes en Punta Cigüeñas obteniendo como resultado un alto coeficiente de correlación.

La Figura 11 representa las series de tiempo y las regresiones lineales entre la marea astronómica y los resultados del modelo de baja resolución. Desde el mar abierto a la zona interior, los niveles de agua en la estación TM están muy cerca de los resultados del modelo dado que son los componentes de las mareas las que se usan para forzar el modelo; las diferencias se deben al hecho de que estos componentes de marea han sido forzados a lo largo de todos los límites y a la distancia recorrida por la onda hasta llegar a la estación de validación.

En esta estación se comparan los resultados del modelo con la marea astronómica obtenidos a través de los componentes de marea. La regresión lineal entre ambas series muestra que los valores de ambas series están compuestos en el mismo rango de valores y también que el coeficiente de correlación es muy alto 0,97. Así, el modelo es capaz de explicar un 97% de la variación del nivel del agua en esa estación.

Puerto Belgrano (PB) se encuentra a más de 40 km hacia el interior de la estación de TM. En esta estación se realizaron comparaciones entre los resultados del modelo y el nivel del agua. Los resultados muestran un grado similar de ajuste, similar a la estación anterior, tanto en la serie de tiempo como en la regresión lineal, donde el coeficiente de correlación nuevamente 0,97.

IW se encuentra a 20 km hacia el interior de la estación de PB, utilizando los resultados presentan un coeficiente de determinación de 0,93. Sin embargo, los resultados del modelo para la estación de IW podemos apreciar que los valores en marea baja son inferiores a los valores obtenidos a través del análisis armónico. Una de las posibles causas sería alguna inexactitud en la batimetría de dominio que ha sido obtenida de fuentes diferentes y otra la escasa representación del cauce con una grilla de 800 m de tamaño.

Las condiciones típicas de marea en pleamar y bajamar en el modelo de baja resolución se ilustran en la Figura 12 y la Figura 13. Se puede apreciar en las mismas el proceso de llenado de las planicies de marea.

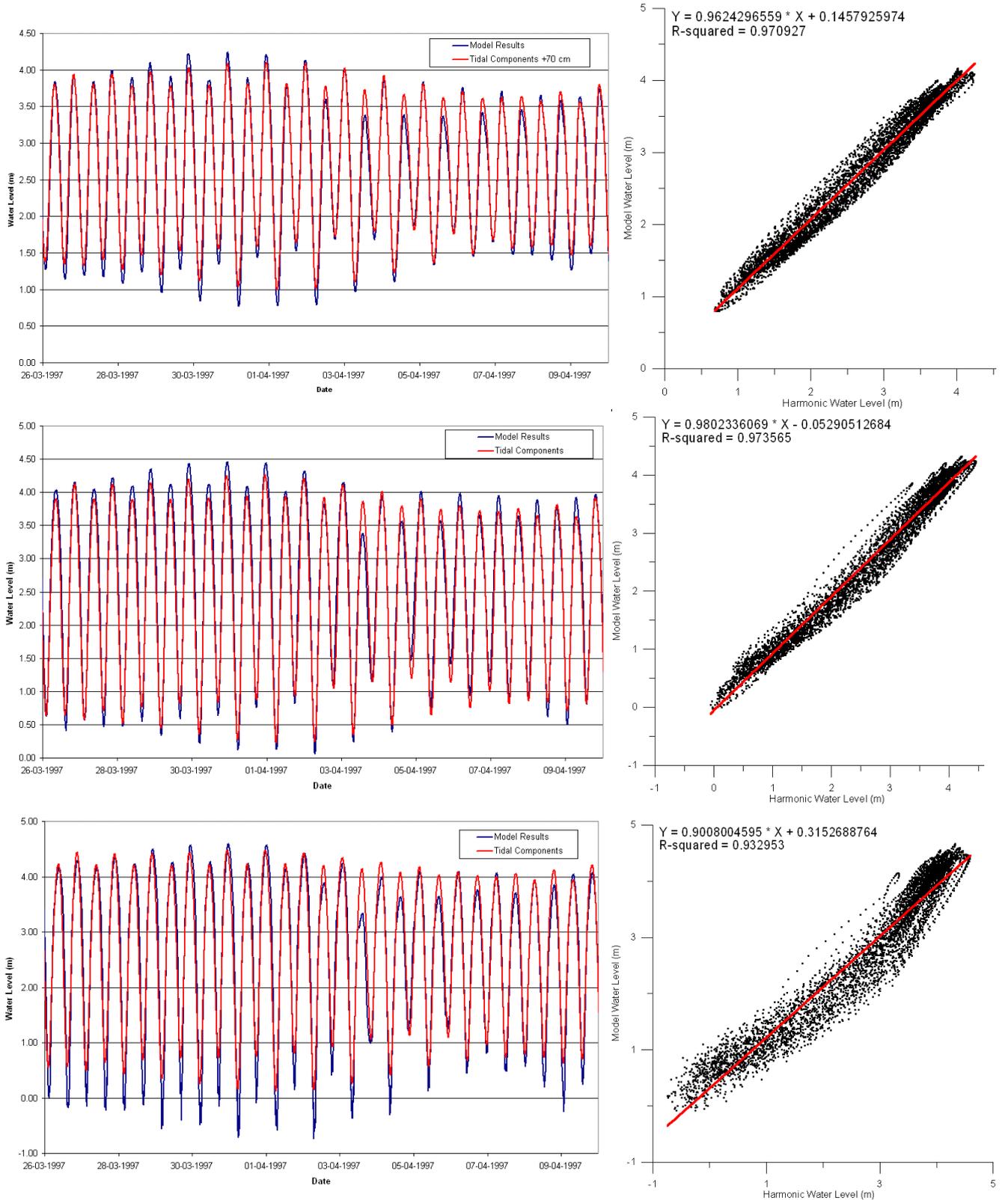


Figura 11. Niveles de agua obtenidos a través del análisis armónico y el modelo numérico (izquierda) y regresión lineal entre ambas series de tiempo (derecha) para las estaciones TM, PB e IW.

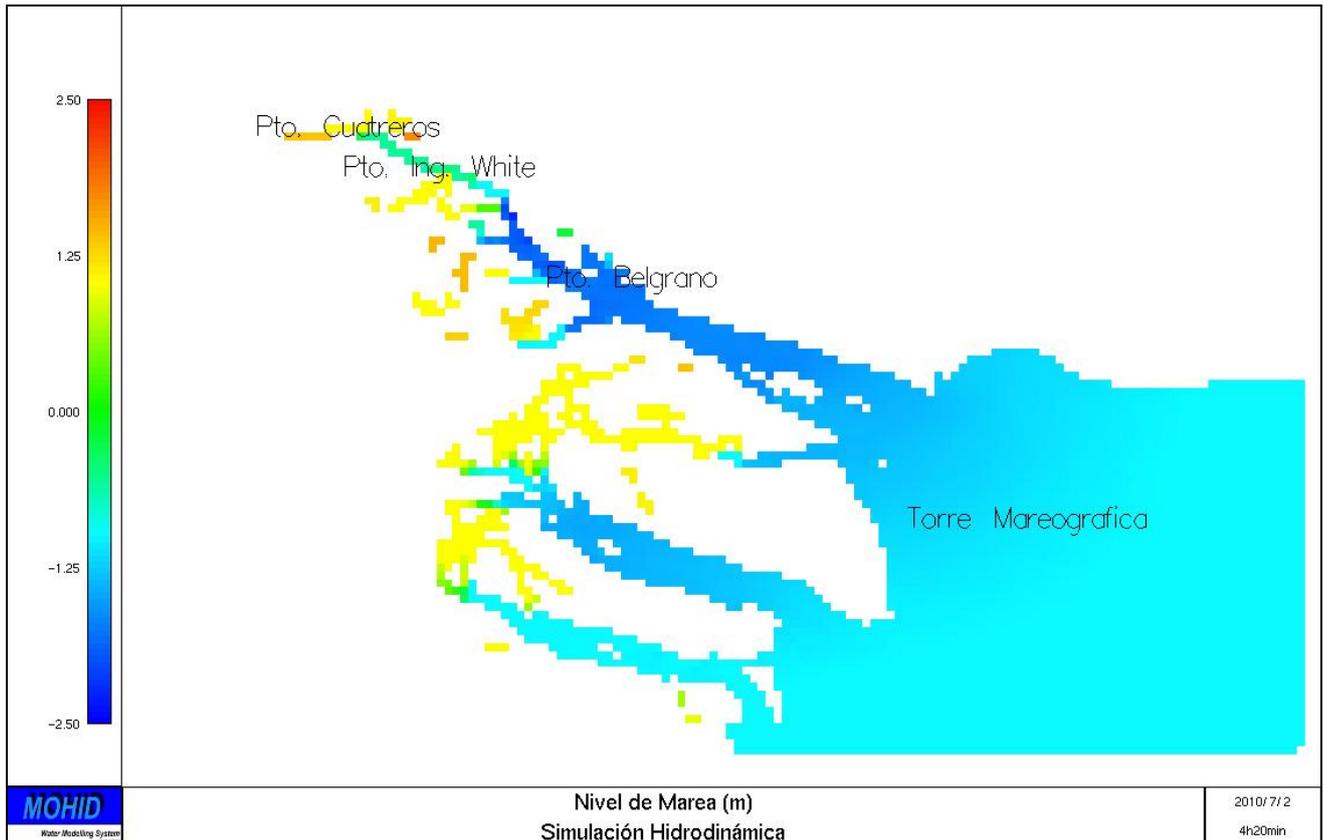


Figura 12. Niveles típicos de Bajamar en el modelo de Baja Resolución

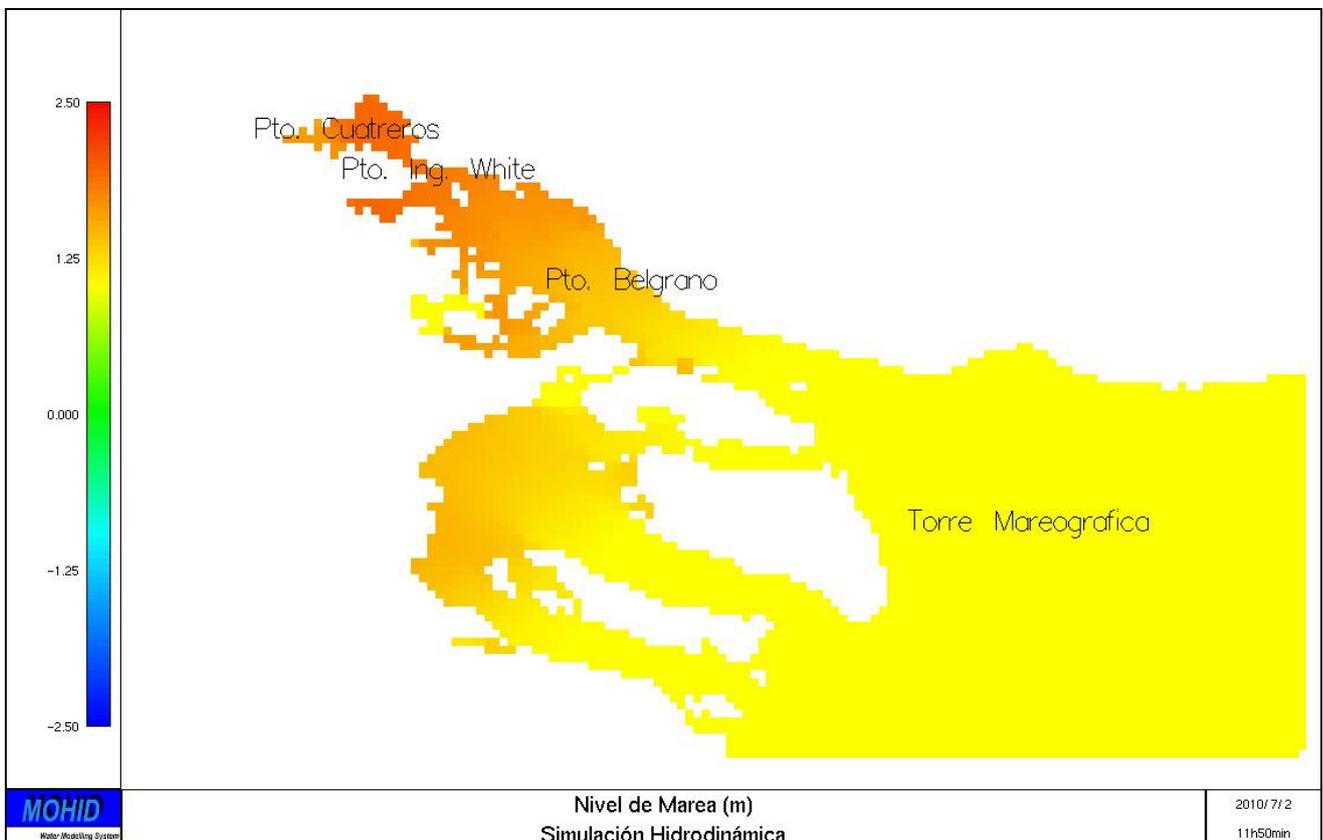


Figura 13. Niveles típicos de Pleamar en el modelo de Baja Resolución

2.2.3.2 Corrientes

Se utilizó un conjunto de datos medidos sobre el Canal principal en las proximidades de Punta Cigüeñas por el Servicio de Hidrografía Naval (SHN), el cual consiste en la velocidad y dirección cada 15 minutos durante 35 días, que es el más representativo disponible en el estuario de Bahía Blanca. El valor promedio para toda la serie es 0,64 m/s con un máximo de 1,33 m/s y las direcciones son prácticamente opuestas apuntando respectivamente a 295° y 115°. Las velocidades de reflujos con marea máxima son ligeramente superiores.

Con el fin de validar y calibrar el modelo de diferentes períodos, las componentes armónicas del conjunto de datos fueron obtenidos para cada componente de la velocidad mediante el software TASK-2000. La componente de la intensidad de la velocidad U es casi el doble de la componente V, debido a la orientación del Canal Principal. El componente armónico de la velocidad más importante es el M2, que es responsable de más del 40% de la velocidad de las mareas, seguido por la componente N2 que representa un 8% de la intensidad de las corrientes. Los componentes de marea son capaces de explicar el 82% de la variabilidad total de las corrientes medidas durante el período de muestreo, el resto de la variabilidad puede deberse a variaciones en la media del nivel del mar y los efectos atmosféricos.

En la Figura 14 se pueden observar los resultados del modelo y los valores observados mostrando picos máximos de intensidad en torno a 1,30 m/s en condiciones de reflujos (media bajante) y cerca de 1 m/s durante el flujo (media creciente).

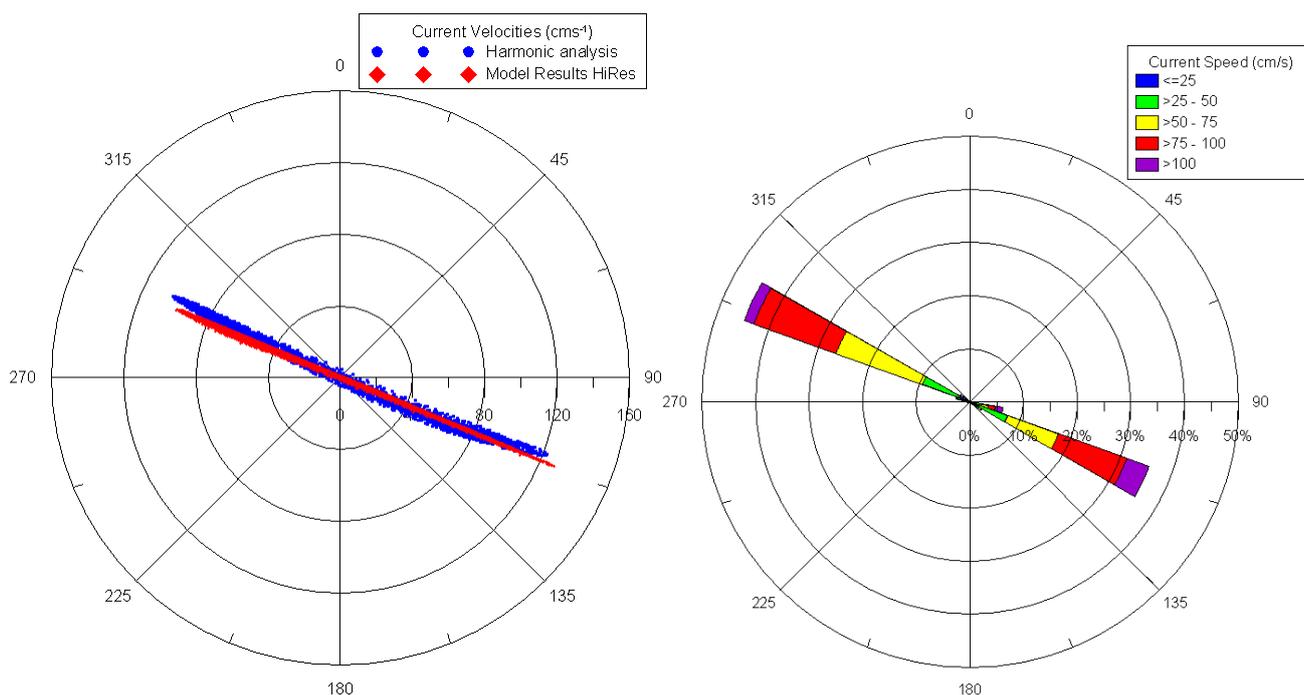


Figura 14. Intensidad y dirección de la corriente observada y modelada en Punta Cigüeñas a través de análisis armónico para el mismo periodo (izquierda) y análisis de los valores de corrientes observados (derecha).

Los resultados obtenidos a través de las simulaciones concuerdan con los valores obtenidos por el modelo y los datos analizados. El modelo de baja resolución ha sido validado principalmente en el Canal Principal de la Bahía Blanca debido a la falta de datos para el resto del sistema. Las condiciones de corriente típicas se presentan en las figuras siguientes.

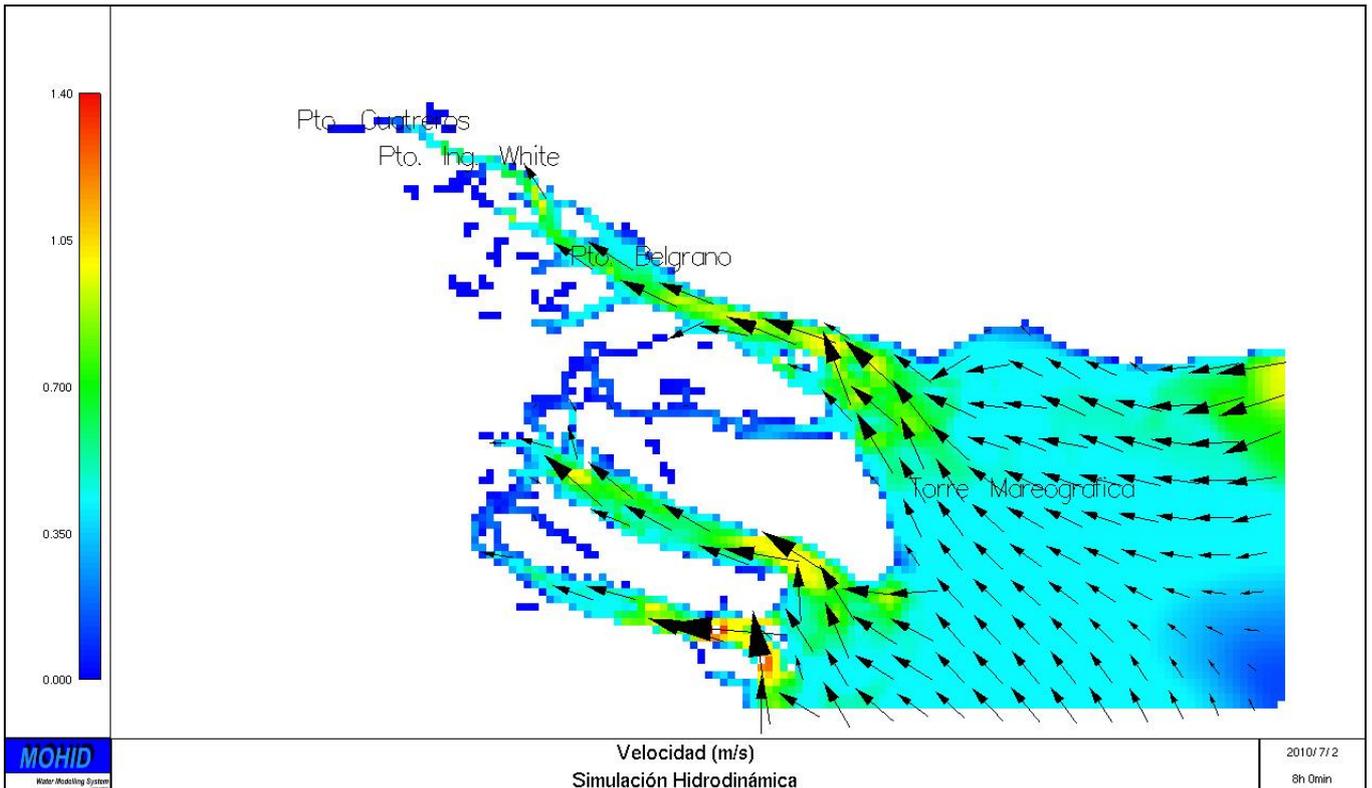


Figura 15. Velocidades típicas en condiciones de Flujo en el modelo de baja resolución

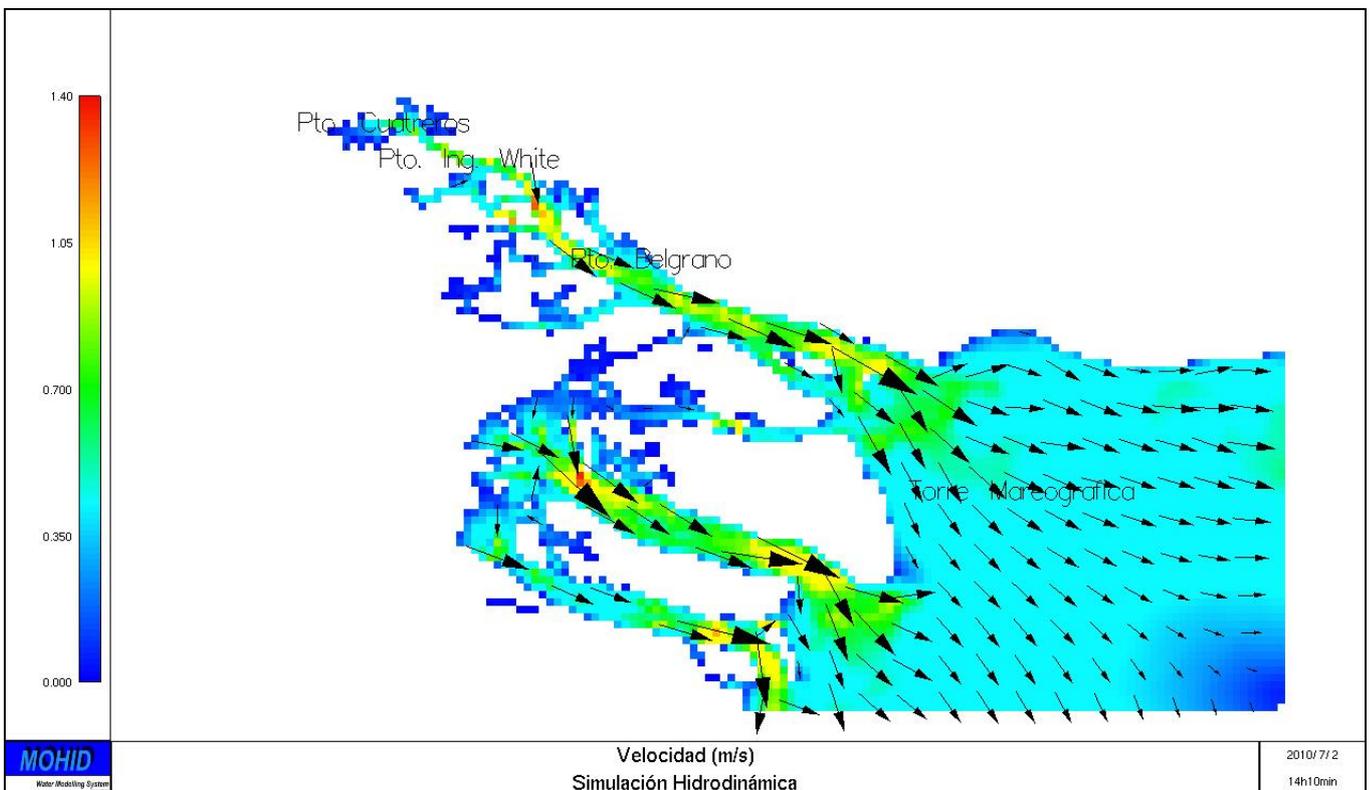


Figura 16. Velocidades típicas en condiciones de Reflujo en el modelo de baja resolución

2.2.4 Calibración del Modelo de Alta Resolución

La calibración del modelo de alta resolución se realizó empleando información de niveles de marea y vientos disponible para dos períodos, uno en el año 2002 y otro en el año 2010. El período más reciente incluyó información sobre los niveles registrados en una escala ubicada en Puerto Cuatros, los cuales se encontraban medidos respecto al cero de la escala, y fueron referidos al nivel de reducción, restando 0,5 metros a cada dato (este ajuste es provisorio y ha sido realizado evaluando el nivel medio del registro en diferentes subperíodos con baja intensidad de viento).

Los niveles de marea medidos y modelados en Puerto Belgrano y Puerto Ing. White en abril de 2002, y para Puerto Ing. White y Puerto Cuatros en julio de 2010, se presentan en la Figura 17 a la Figura 20.

En la Figura 21 y la Figura 22 se presentan los niveles típicos en todo el sector modelado en alta resolución, para condiciones de bajamar y pleamar, respectivamente.

En relación con las velocidades de la corriente en la zona interna, la mayor parte de la información disponible ha sido medida a principios de la década del 80, cuando el canal aún no había sido construido, razón por la cual las áreas de conducción encauzada eran menores que las actuales. En consecuencia, los valores históricos de velocidad registrados, serán seguramente superiores a los actuales.

Información más reciente es la que se obtuvo a fines de la década del 80, para el proyecto del Pto. Ing. White, en el marco del cual se estimó que las velocidades máximas se relacionan con las amplitudes de marea “A” a través de las siguientes relaciones aproximadas:

$$\text{Creciente (Flujo): } V_c = 0,0255 A^{2,15}$$

$$\text{Bajante (Reflujo): } V_b = 0,186 A^{1,1}$$

Los rangos de validez estimados de estas ecuaciones cubren velocidades máximas del orden de 0,3 y 0,5 m/s en creciente y 0,6 a 0,9 m/s en bajante, respectivamente.

Las velocidades típicas de Flujo y Reflujo se presentan en la Figura 23 y la Figura 24. En la Figura 25 se muestra la ubicación de tres puntos de control para la determinación de las velocidades, presentándose en la Figura 26 la información de componentes de velocidad en el área frente a Pto. Ing. White, y en la Figura 28 y la Figura 30 la información correspondiente al Área de giro del Puerto Galván y al canal frente a Puerto Cuatros, respectivamente.

Las velocidades máximas en creciente en Pto. Ing. White en el período simulado oscilaron entre 0,35 y 0,45 m/s, mientras que en bajante lo hicieron entre 0,65 y 0,8 m/s, valores que se encuentran dentro de los rangos medidos.

En la Figura 27 y en la Figura 29 se presentan las series temporales de velocidad en el canal frente a Pto. Ing. White, en el Área de giro del Puerto Galván y en el canal frente a Puerto Cuatros, respectivamente.

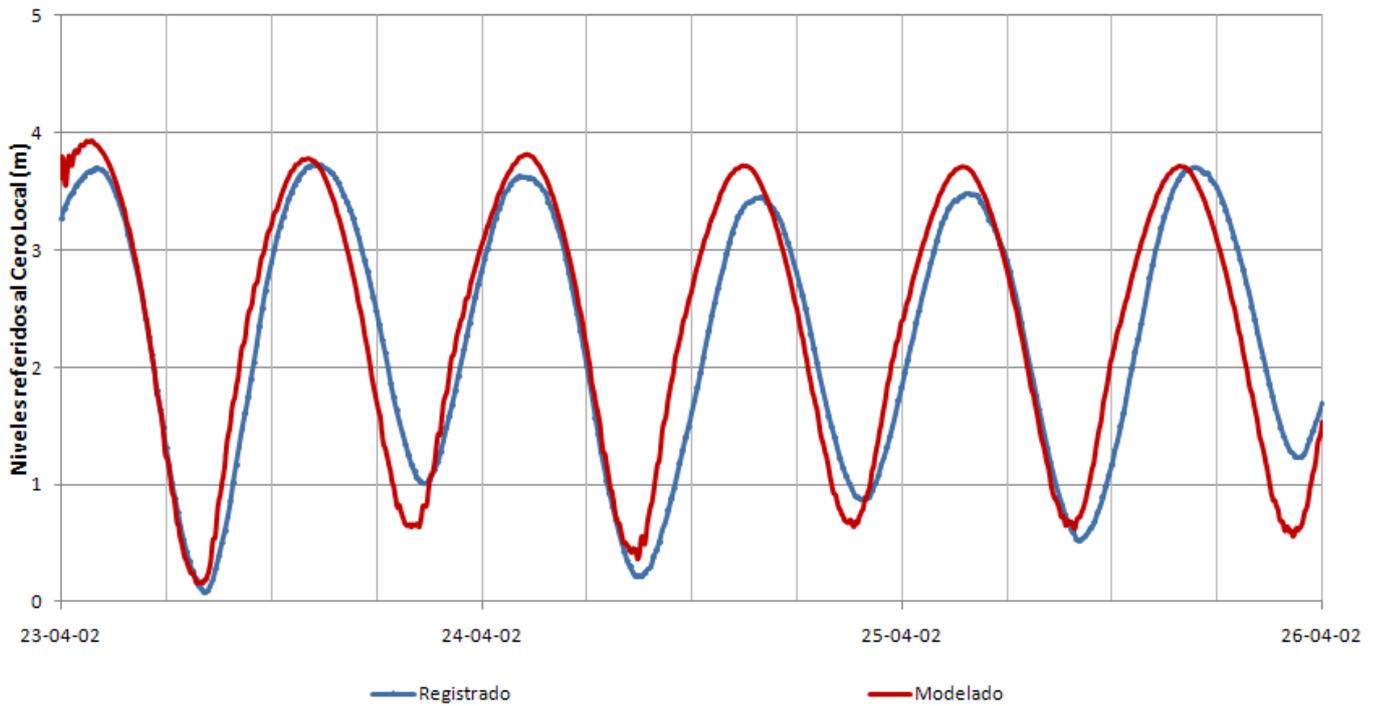


Figura 17. Calibración de Nivel de marea en Puerto Belgrano – Año 2002

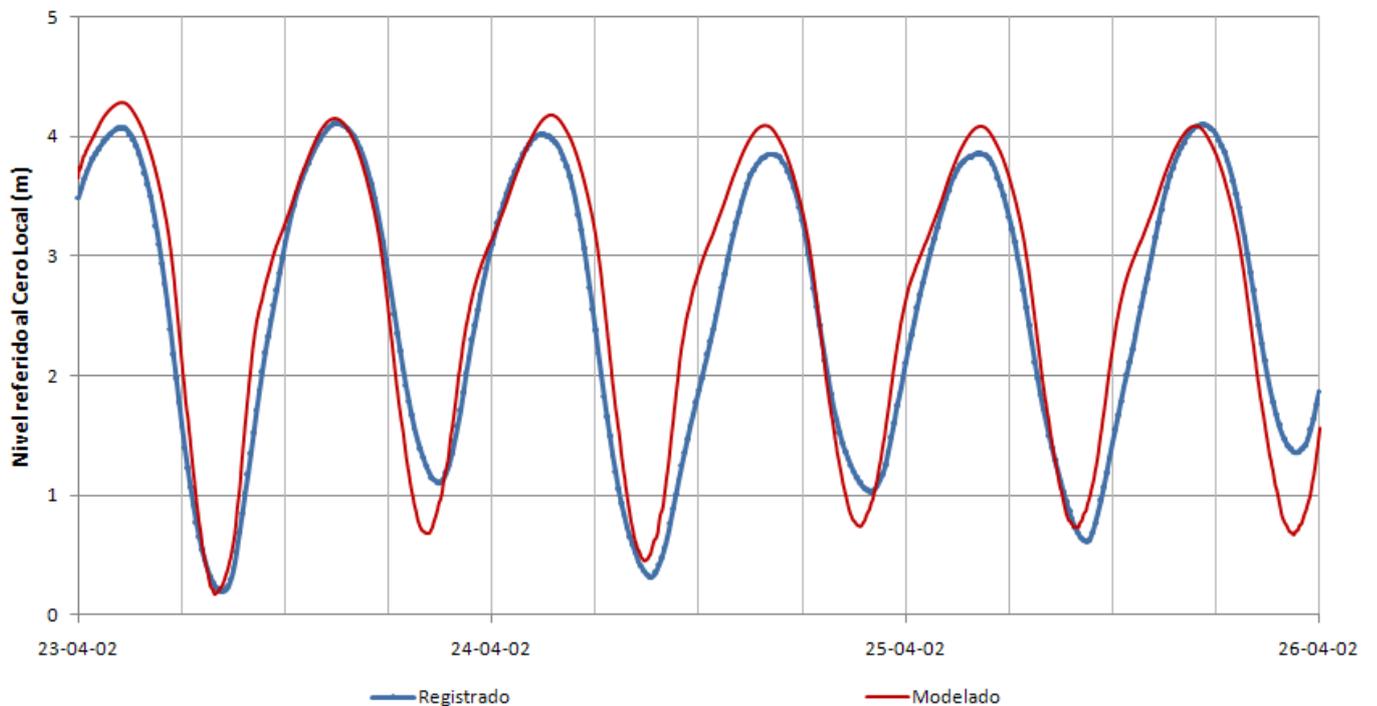


Figura 18. Calibración de Nivel de marea en Puerto Ing. White – Año 2002

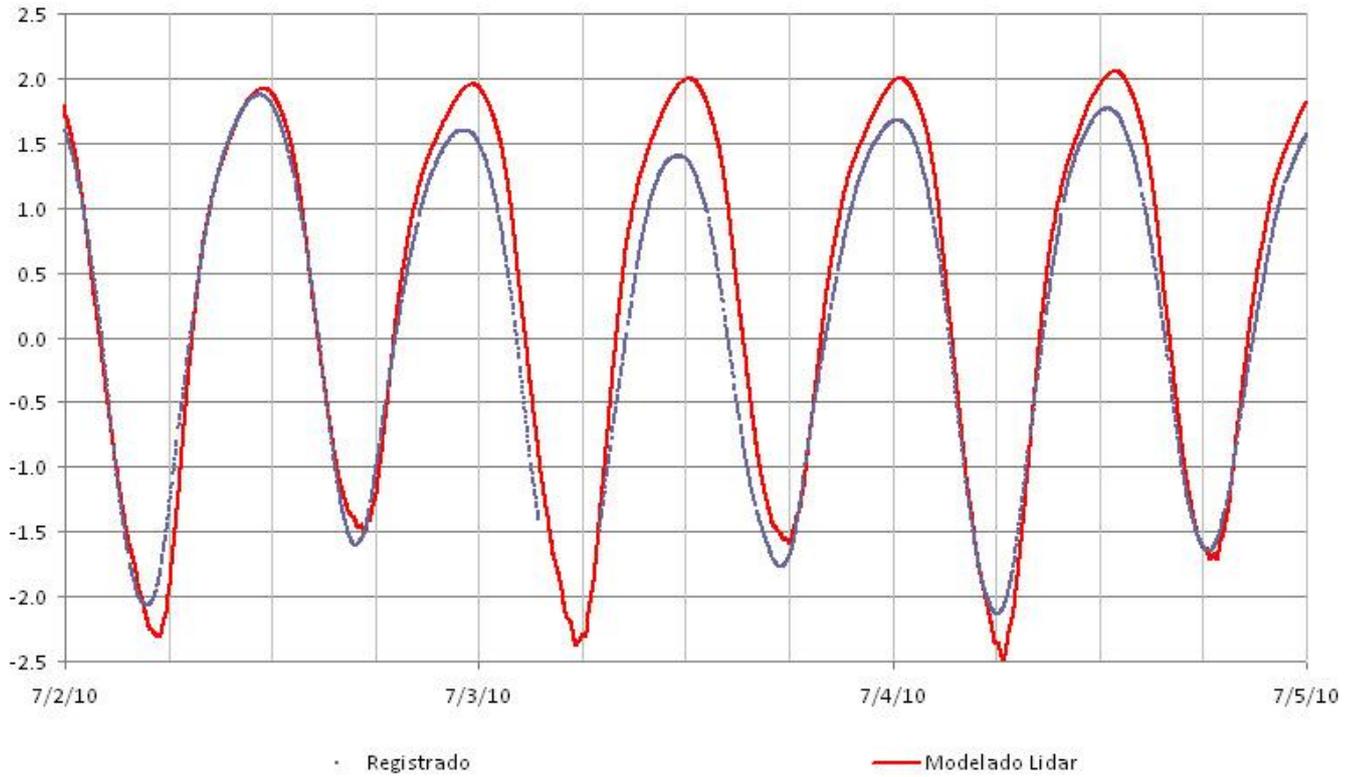


Figura 19. Calibración de Nivel de marea en Puerto Ing. White – Año 2010

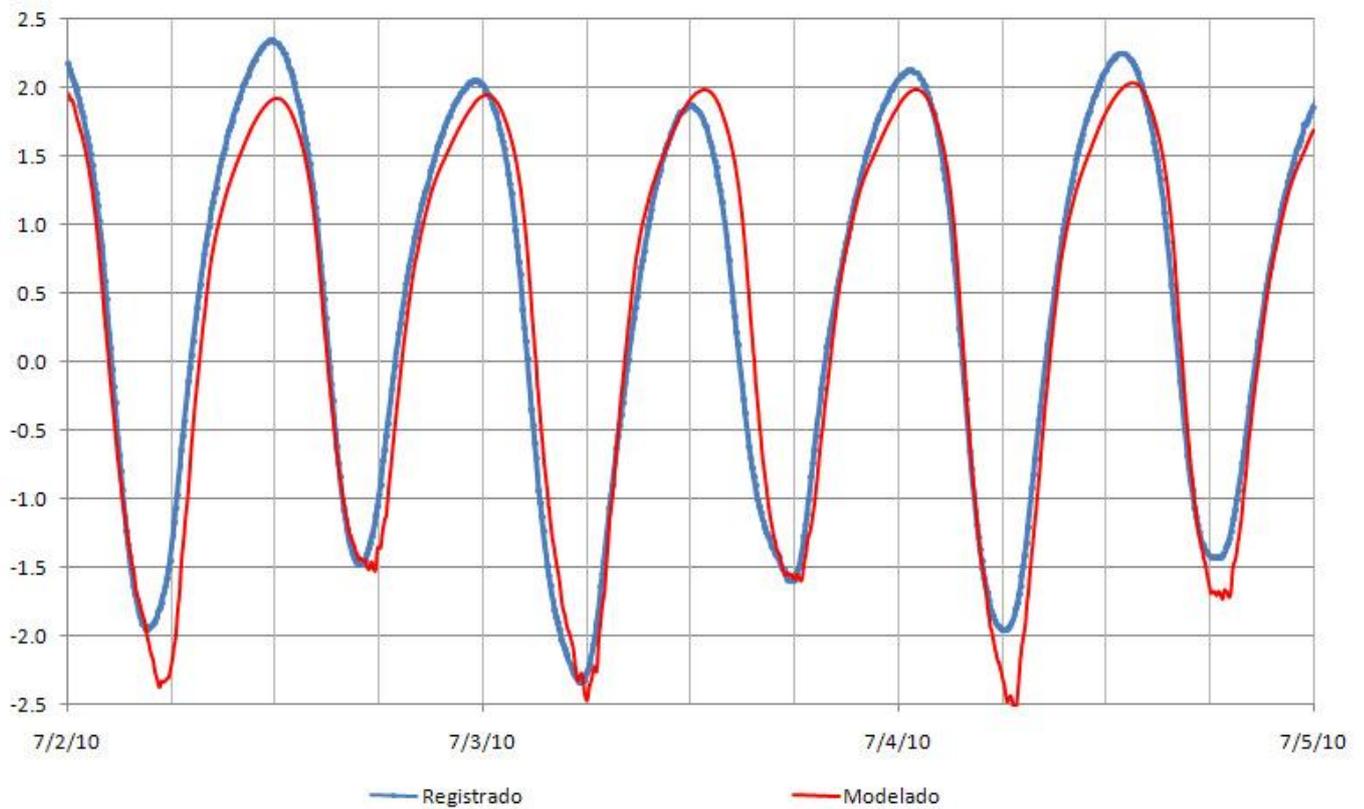


Figura 20. Calibración de Nivel de marea en Puerto Cuatros – Año 2010

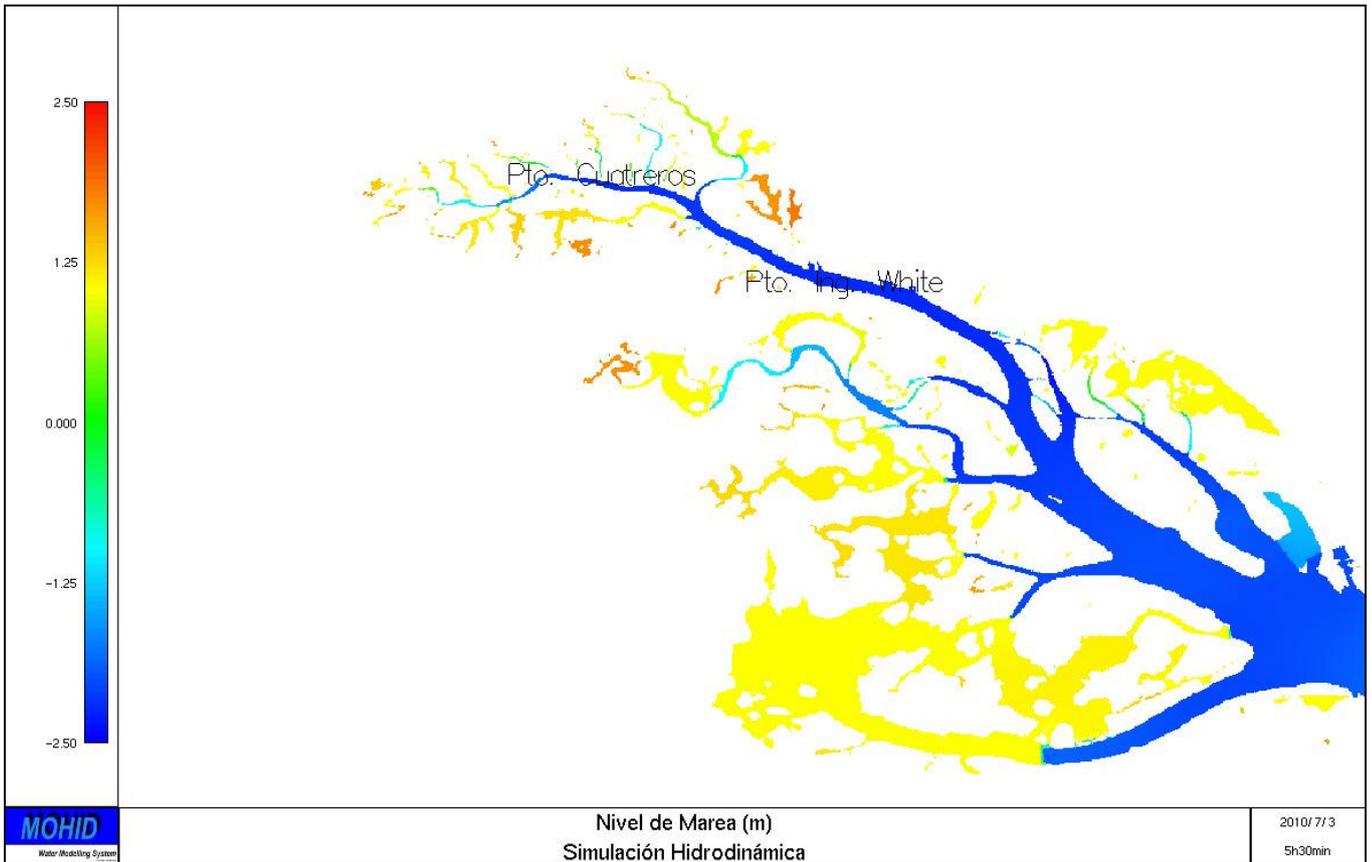


Figura 21. Niveles típicos de Bajamar en el modelo de alta Resolución

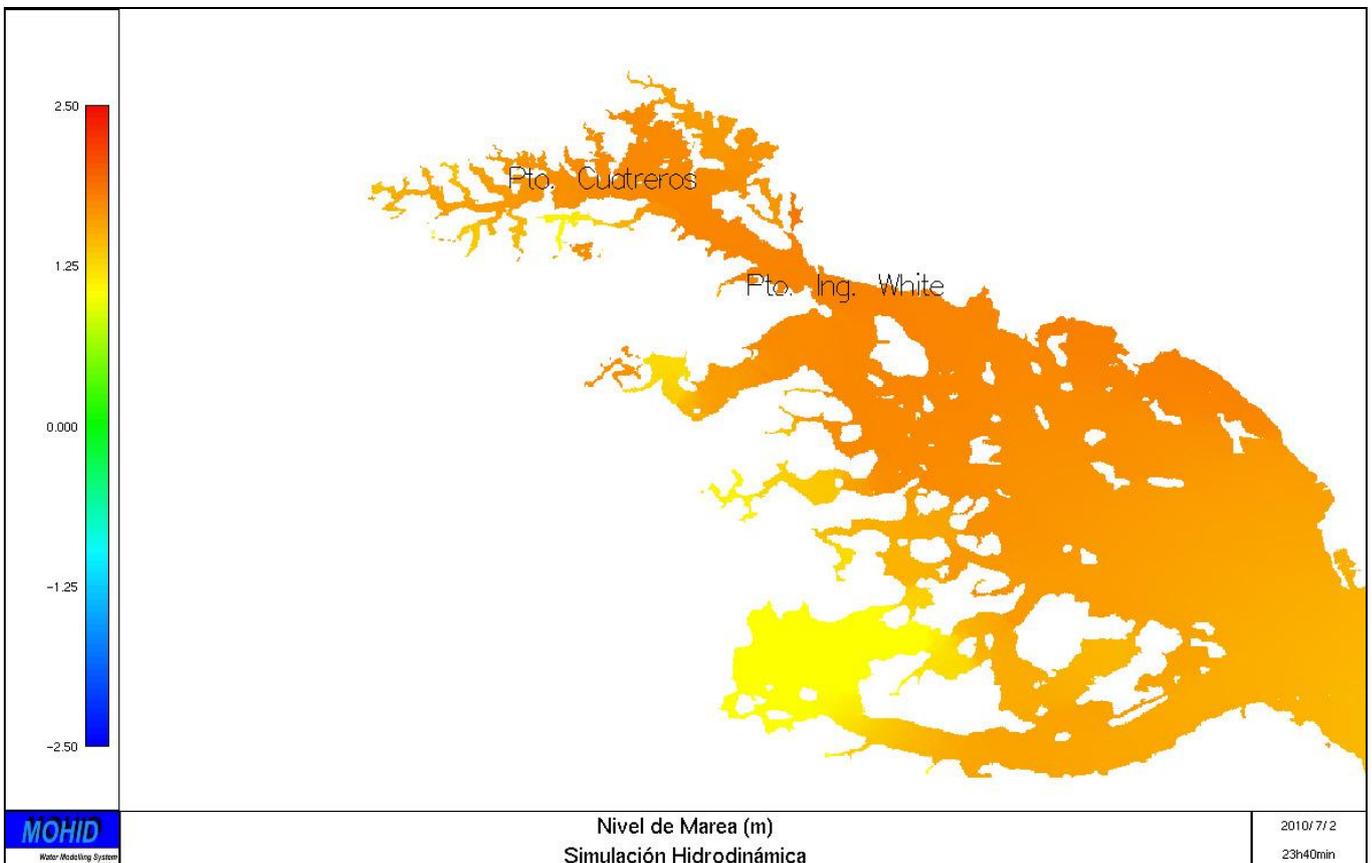


Figura 22. Niveles típicos de Pleamar en el modelo de alta Resolución

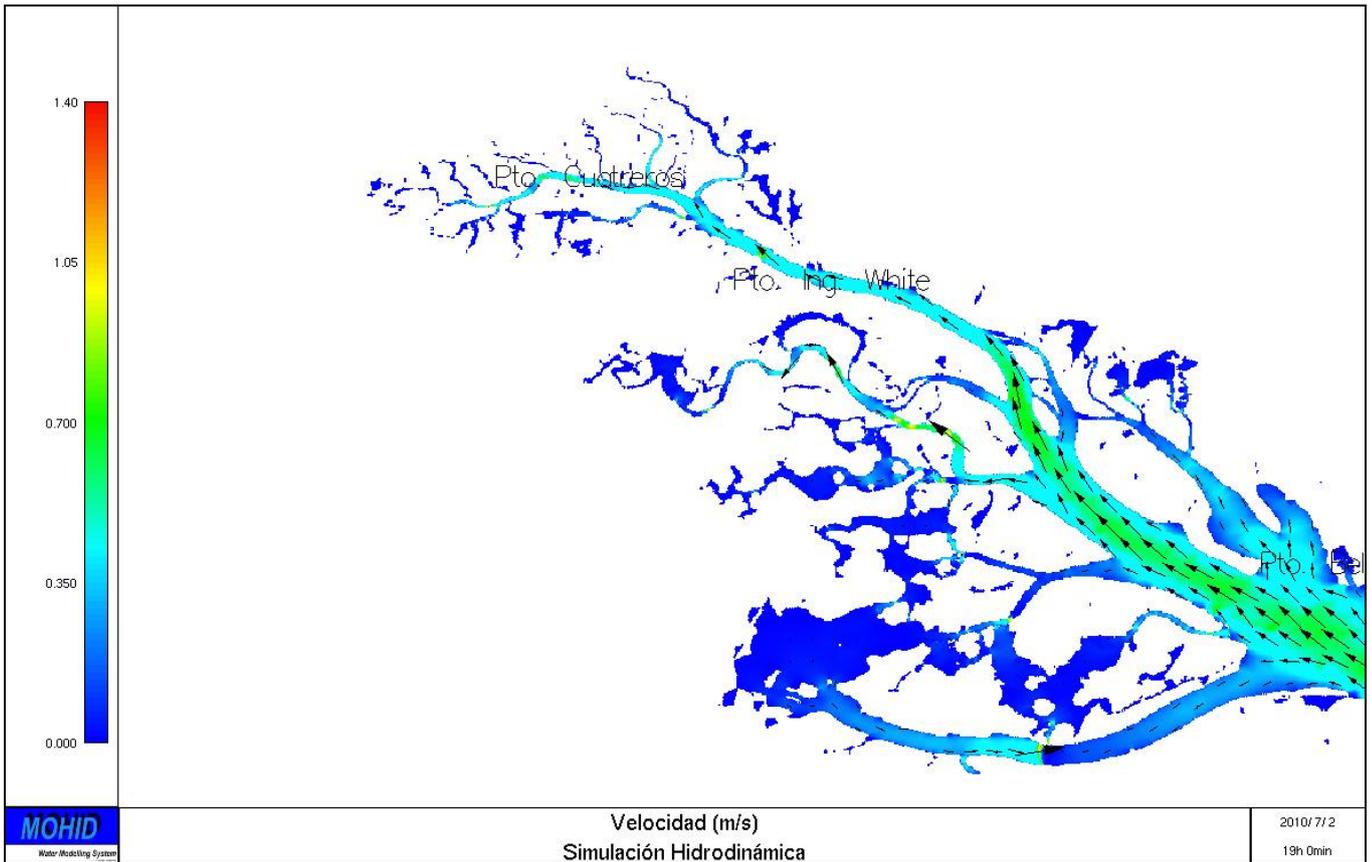


Figura 23. Velocidades típicas en condiciones de Flujo en el modelo de alta resolución

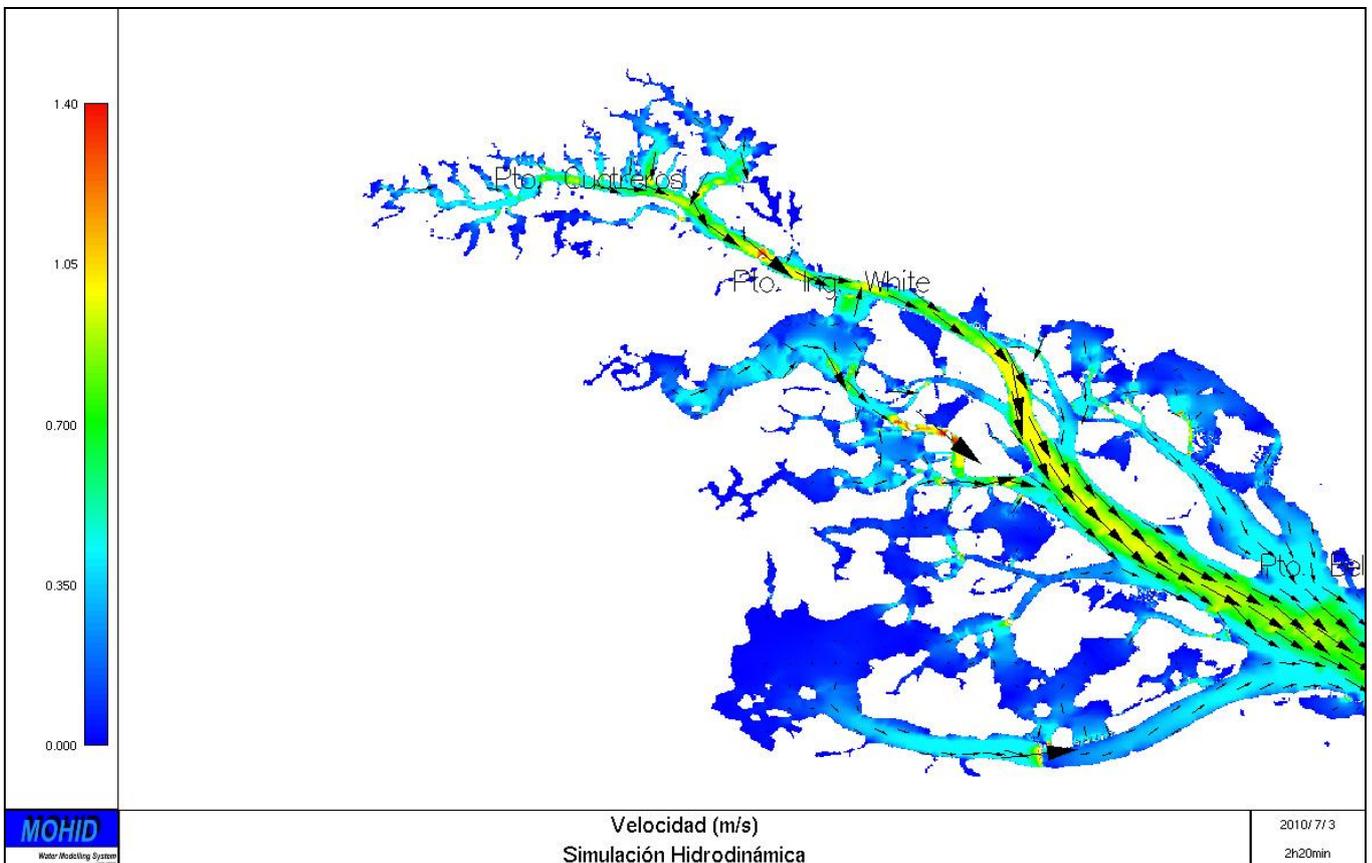


Figura 24. Velocidades típicas en condiciones de Reflujo en el modelo de alta resolución



Figura 25. Ubicación de puntos de monitoreo de velocidad y nivel en el modelo de alta resolución

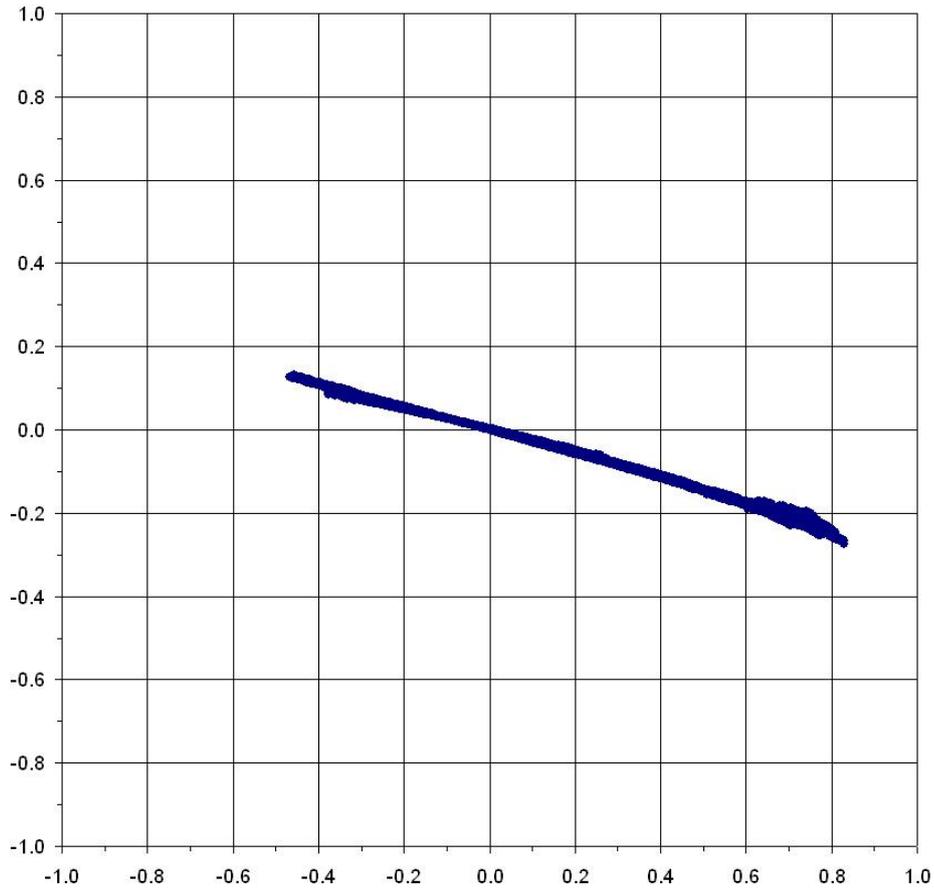


Figura 26. Velocidades típicas de Marea en el canal frente a Pto. Ing. White

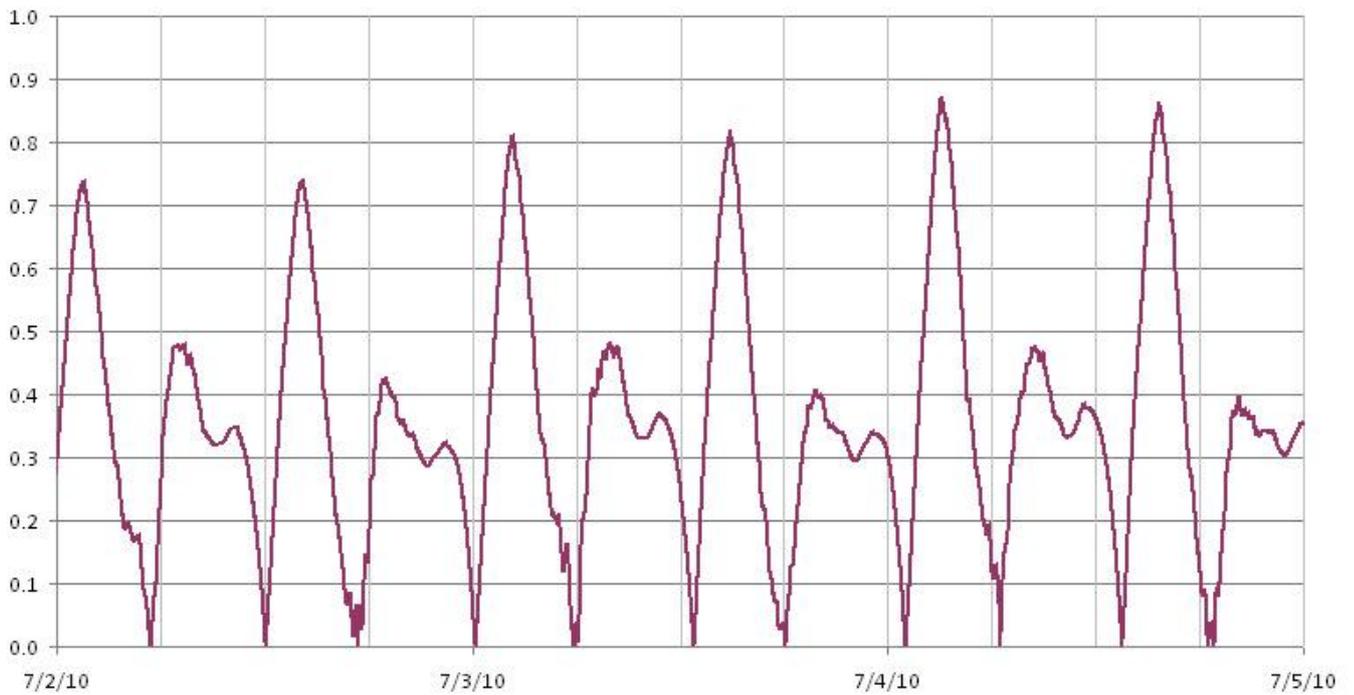


Figura 27. Serie temporal de velocidad en el canal frente a Pto. Ing. White

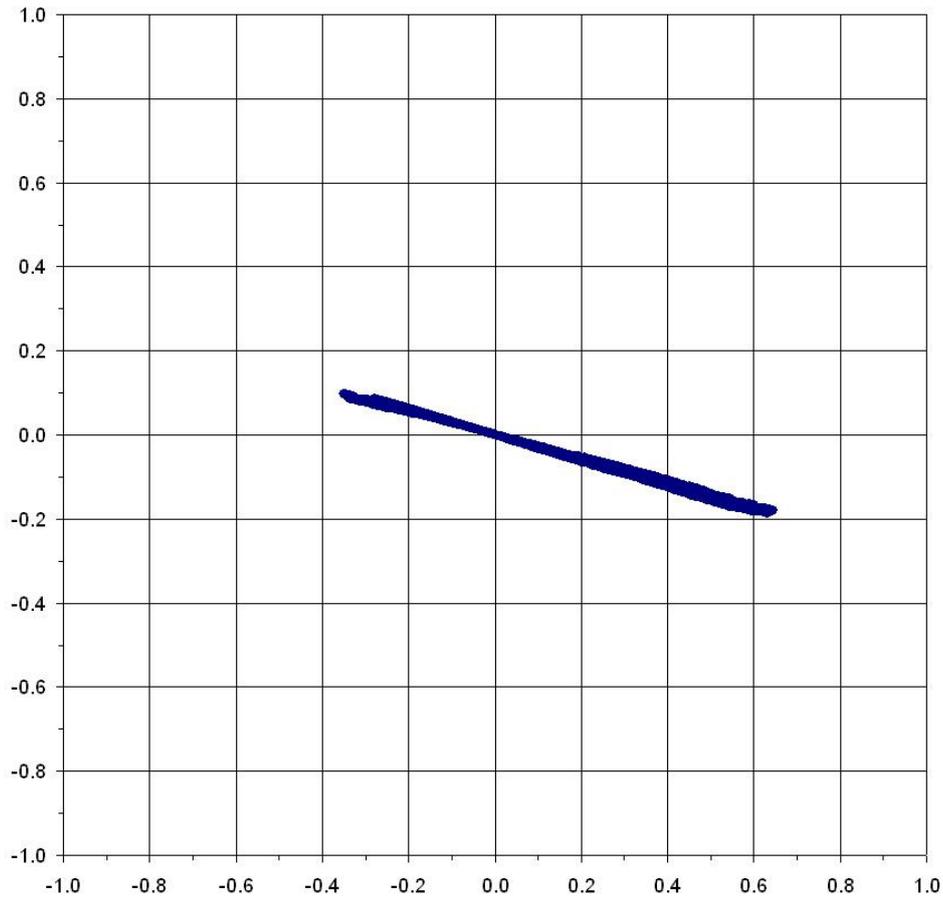


Figura 28. Velocidades típicas de Marea en el Área de giro del Puerto Galván

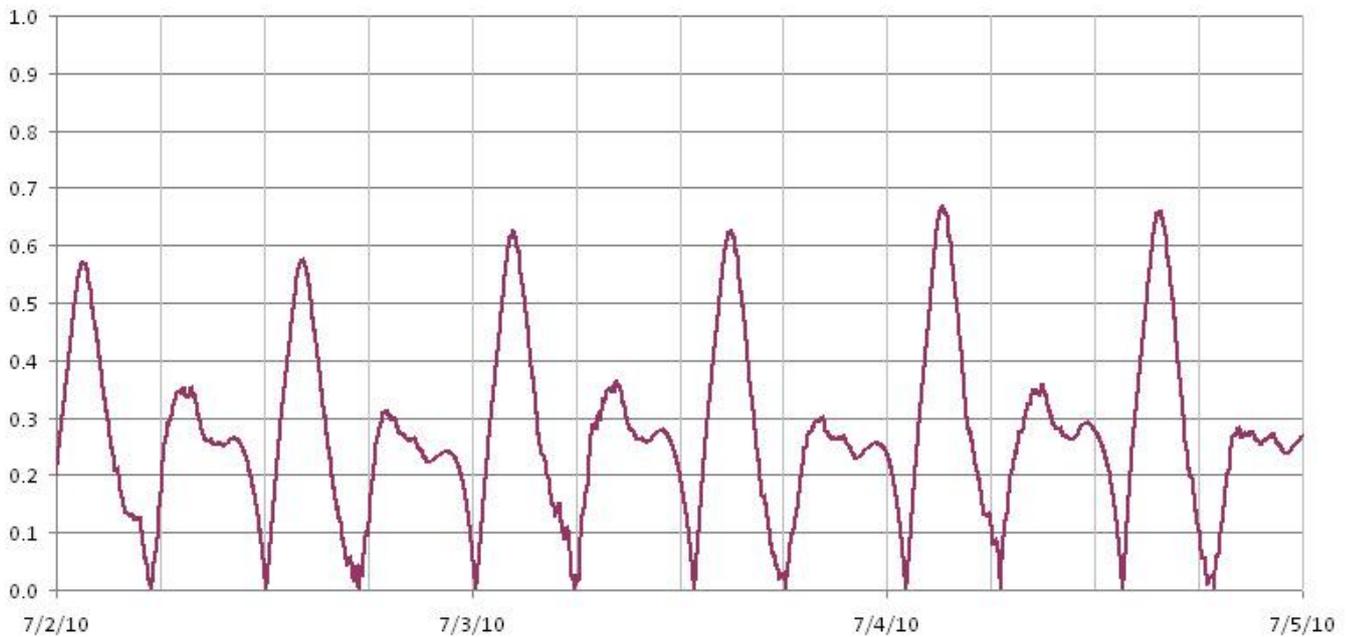


Figura 29. Serie temporal de velocidad en el Área de giro del Puerto Galván

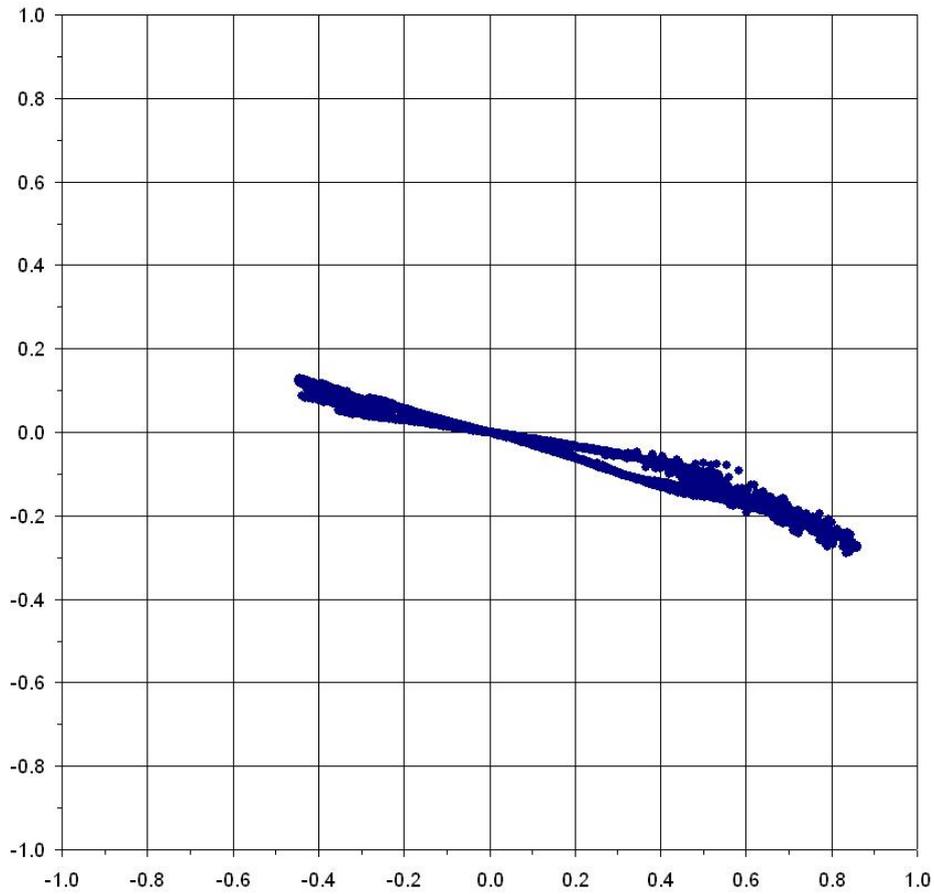


Figura 30. Velocidades típicas de Marea en el canal frente a Puerto Cuatros

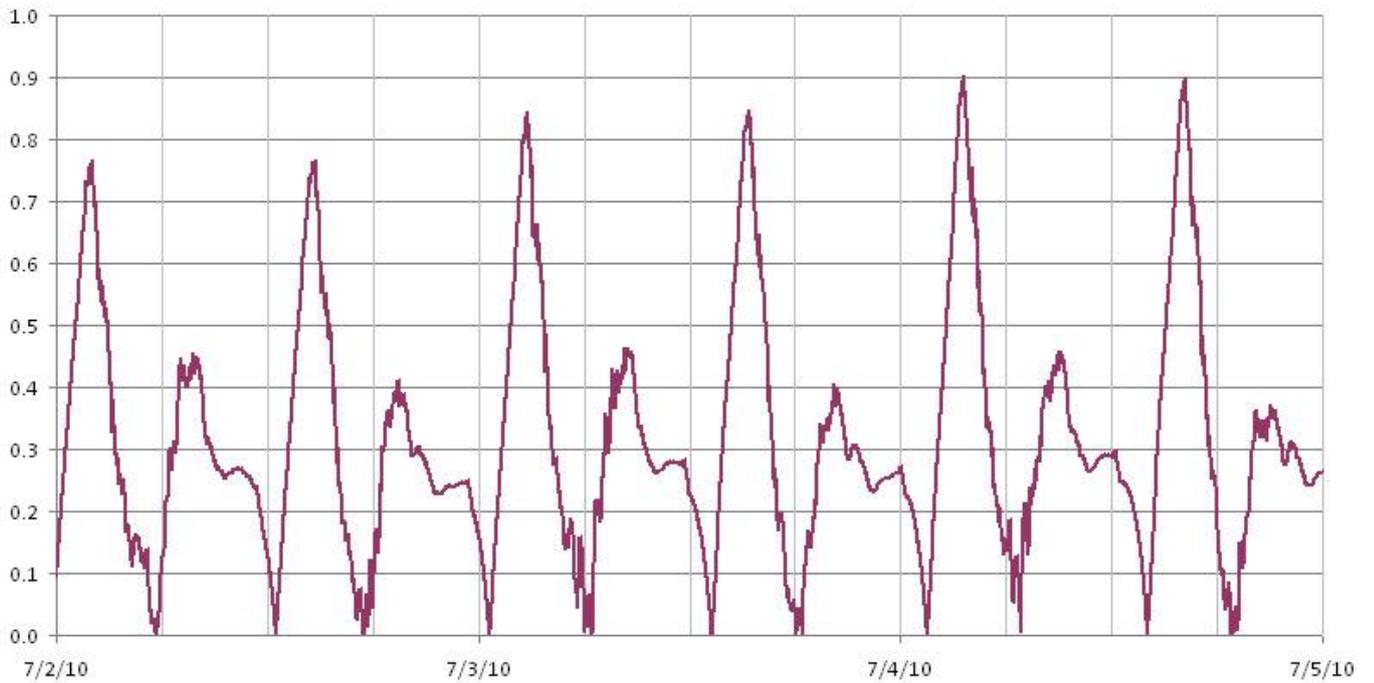


Figura 31. Serie temporal de velocidad en el canal frente a Puerto Cuatros

Los resultados previos se obtuvieron con la batimetría inicial, antes de ajustar el lado Sur del canal principal en cercanías de Puerto Cuatros, con los datos LiDAR. En la Figura 32 y la Figura 33 se presenta una comparación entre las velocidades obtenidas para ambas configuraciones del lecho en la planicie. Se puede observar que las diferencias son relativamente pequeñas pero no despreciables, lo cual permite apreciar que el grado de conocimiento de la topografía de la planicie influye en la precisión del resultado.

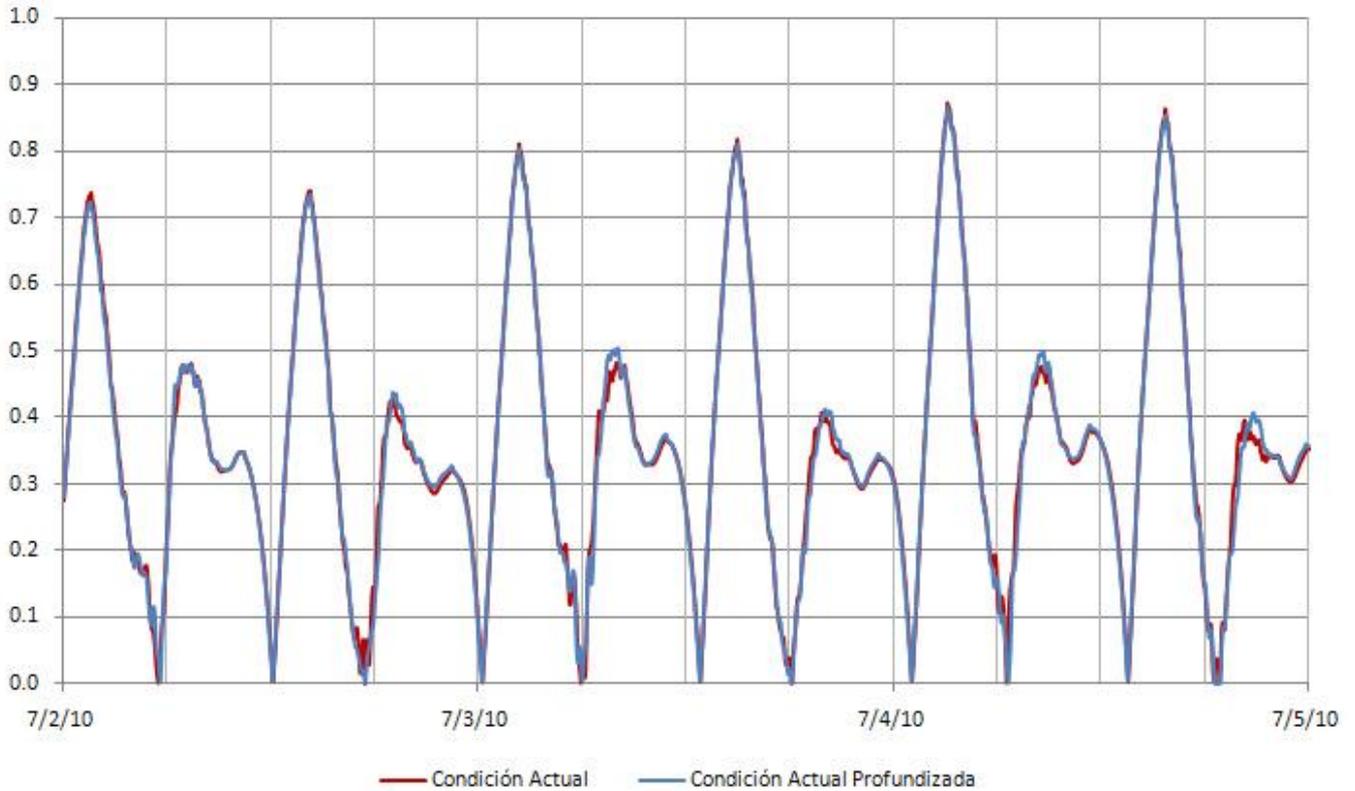


Figura 32. Comparación de la velocidad en el canal frente a Pto. Ing. White antes y después del ajuste de la batimetría del lado Sur del canal principal

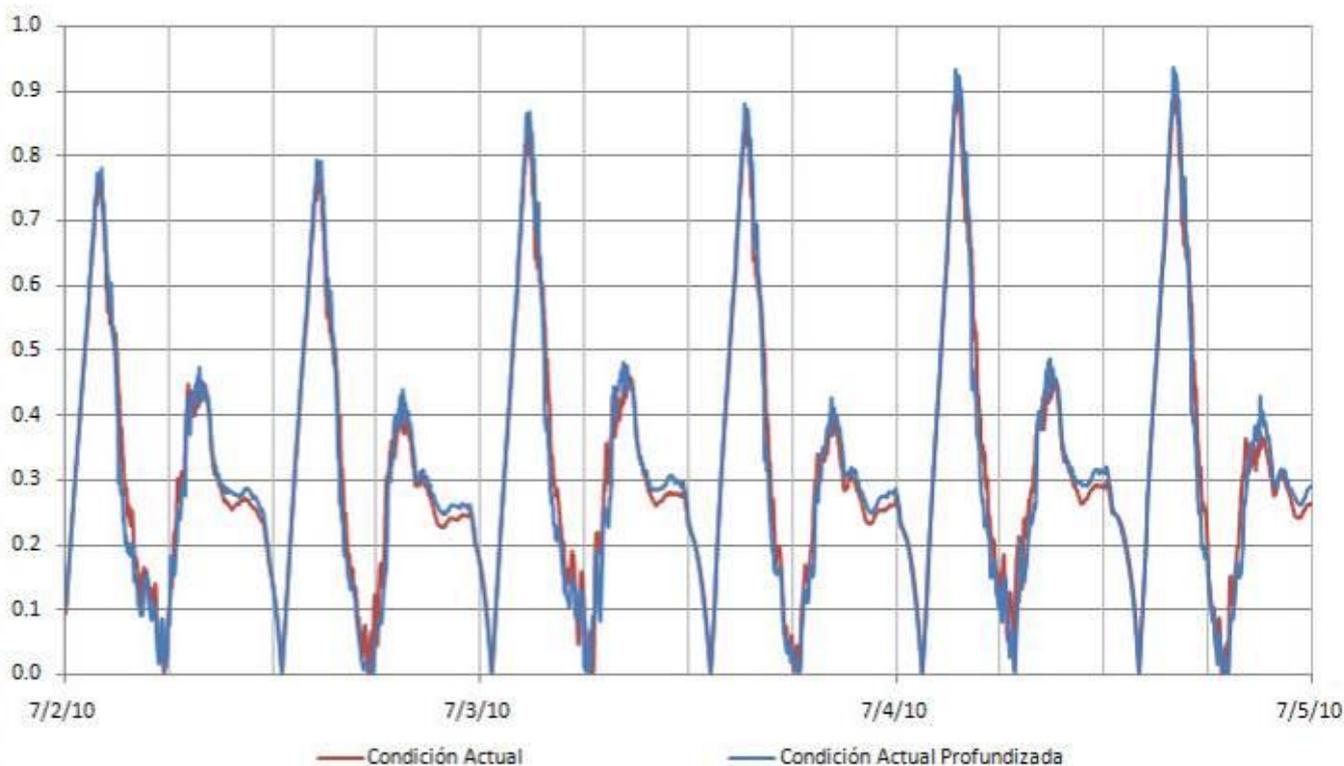


Figura 33. Comparación de la velocidad en el canal frente a Pto. Cuatros antes y después del ajuste de la batimetría del lado Sur del canal principal

2.2.5 Simulación de las Condiciones Hidrodinámicas con Obras

El modelo matemático fue adaptado modificando el Modelo Digital del Lecho para incorporar las áreas profundizadas por dragado y las áreas rellenadas a través del refulado.

La geometría en planta de estas áreas fue provista por el Comitente, según lo indicado en la descripción del proyecto. Inmediatamente al Este del actual muelle de Puerto Cuatros se ha previsto el dragado de una dársena de atraque y al Este de la misma se ha dispuesto la dársena o área de Giro.

Las profundidades de dragado en el tramo Galván – Cuatros son de 13,5 m al cero de marea en Cuatros según lo especificado. Para dar continuidad al canal, se debió considerar el dragado recientemente licitado del sector ubicado al Este de Galván a 13,5 m respecto al cero de Ingeniero White, más un pie de sobredragado.

Se consideró que las áreas rellenadas no se inundan en ningún momento del ciclo de mareas.

La geometría del lecho del estuario con Obras se presenta en la Figura 34.

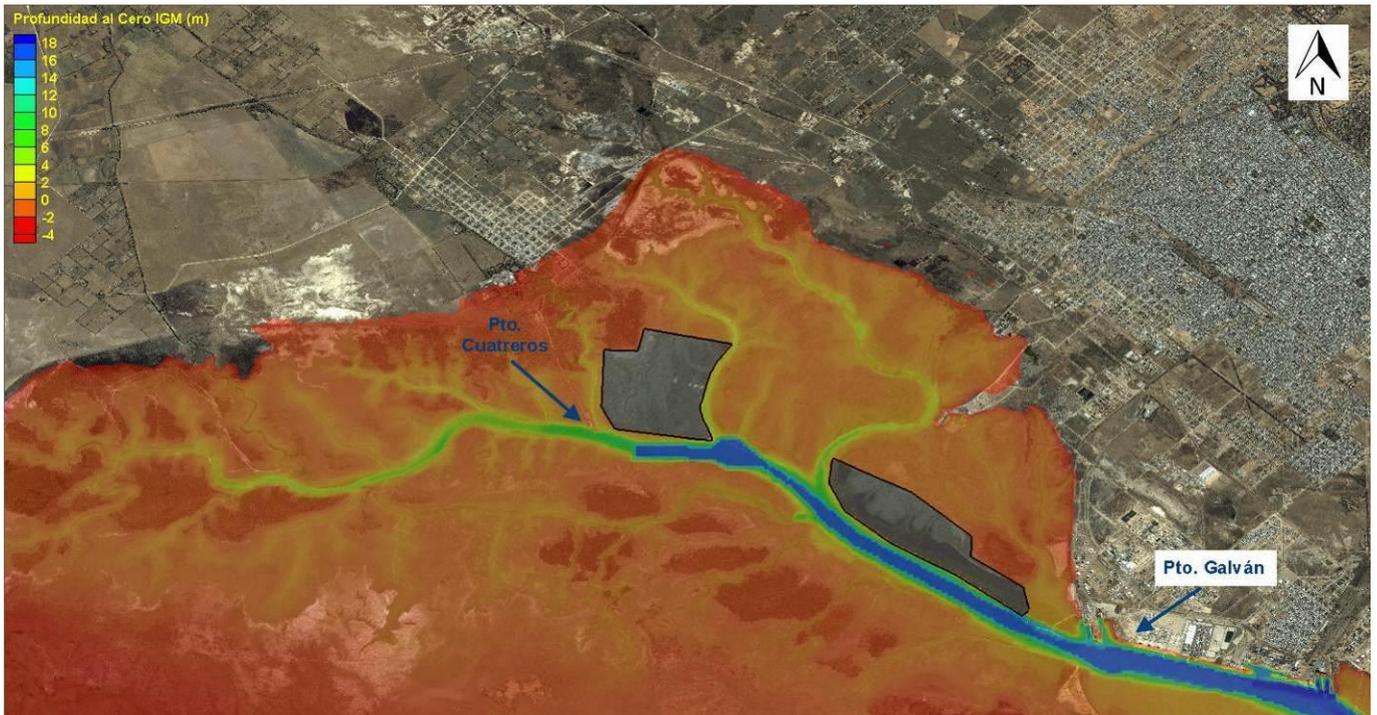


Figura 34. Topografía utilizada para la modelación con obras de dragado y refulado referida al Cero IGN.

De la Figura 35 a la Figura 38 se ilustran las condiciones típicas de velocidad de la corriente (valor medio en la columna de agua) en creciente y en bajante, con y sin obras respectivamente.

De la Figura 39 a la Figura 48 se muestran las diferencias de niveles de agua en pleamar, media marea y bajamar, y las diferencias de las velocidades de la corriente en media marea creciente y bajante, para las condiciones con y sin obras, lo cual permite evaluar el impacto de las obras desde el punto de vista hidrodinámico.

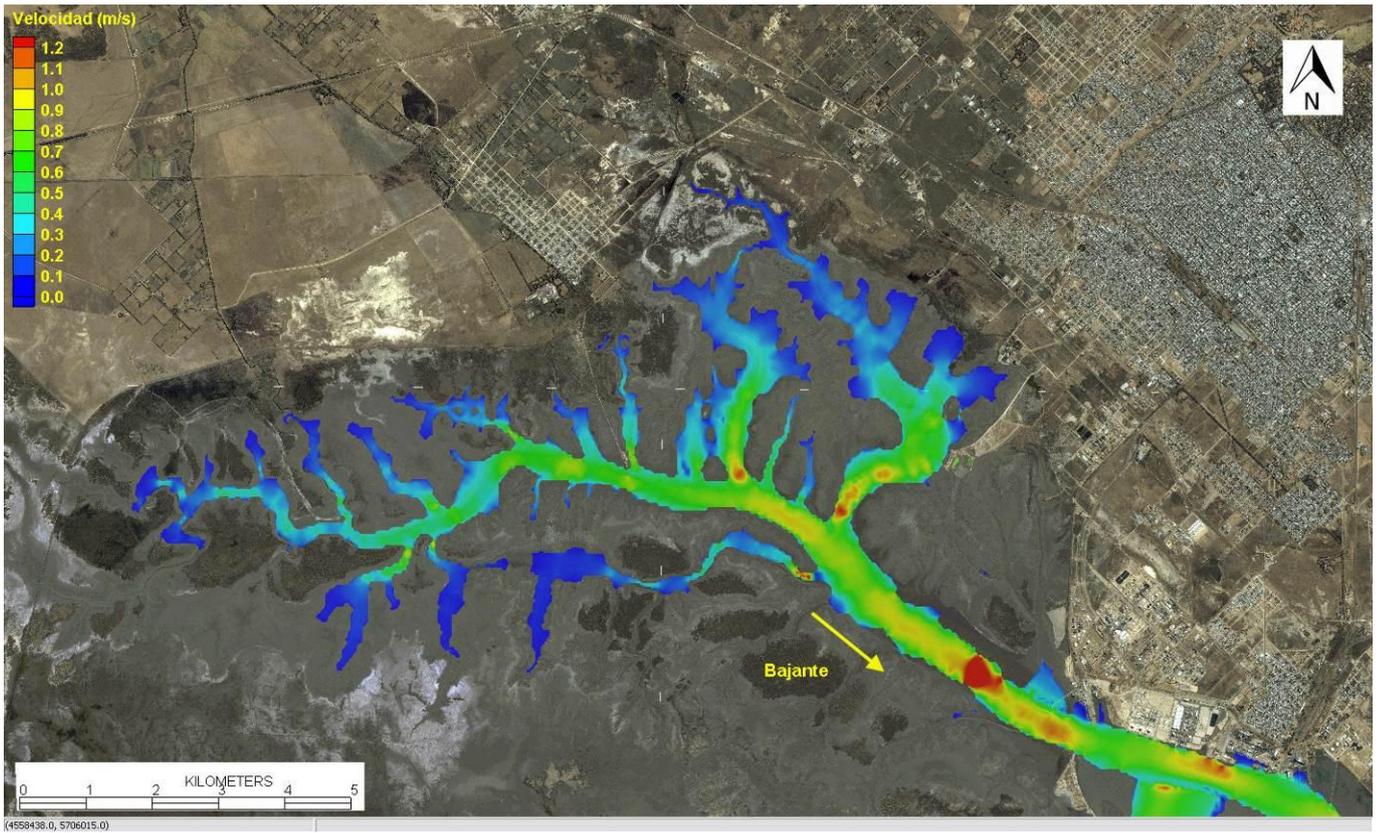


Figura 35. Velocidades máximas en bajante (reflujo) para la condición actual

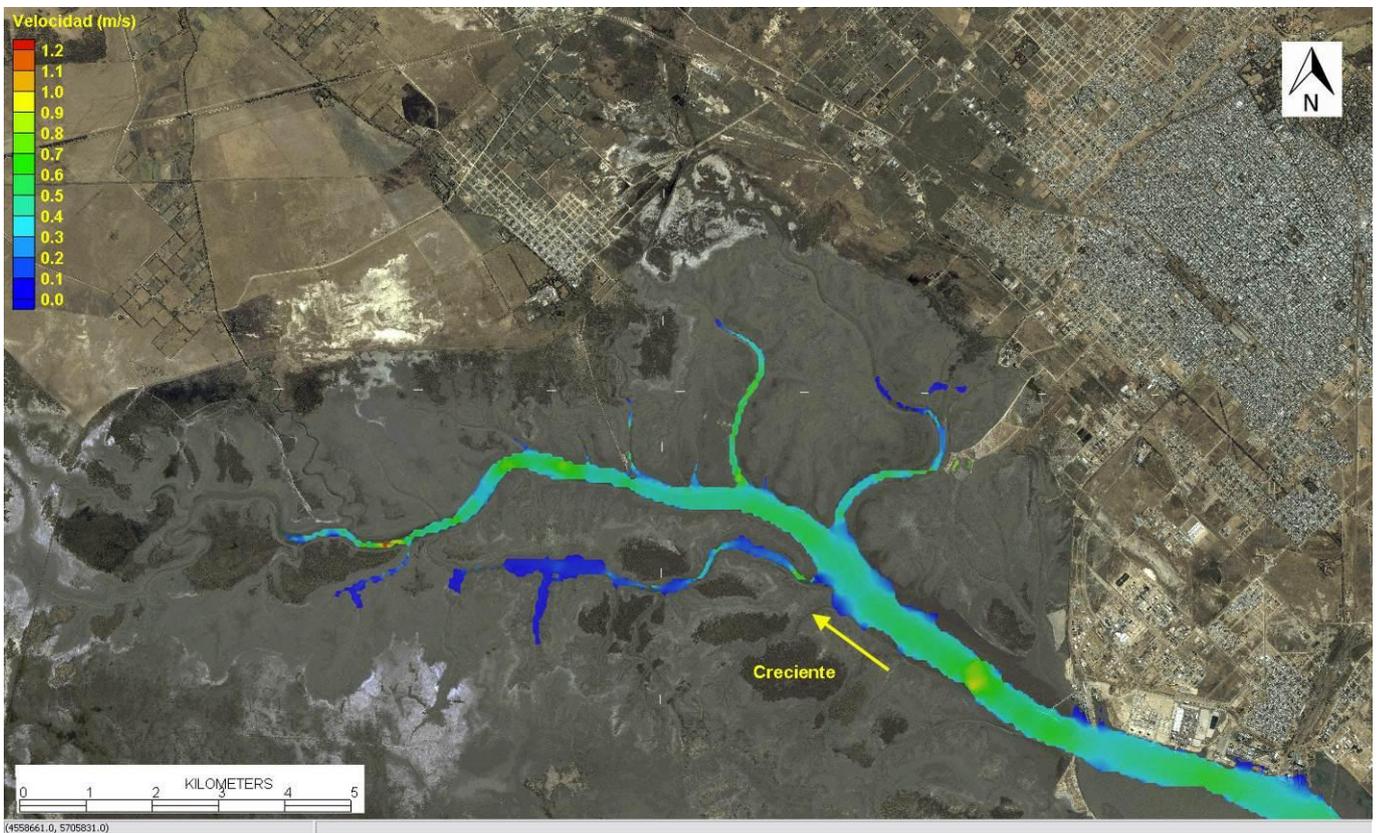


Figura 36. Velocidades máximas en creciente (flujo) para la condición actual

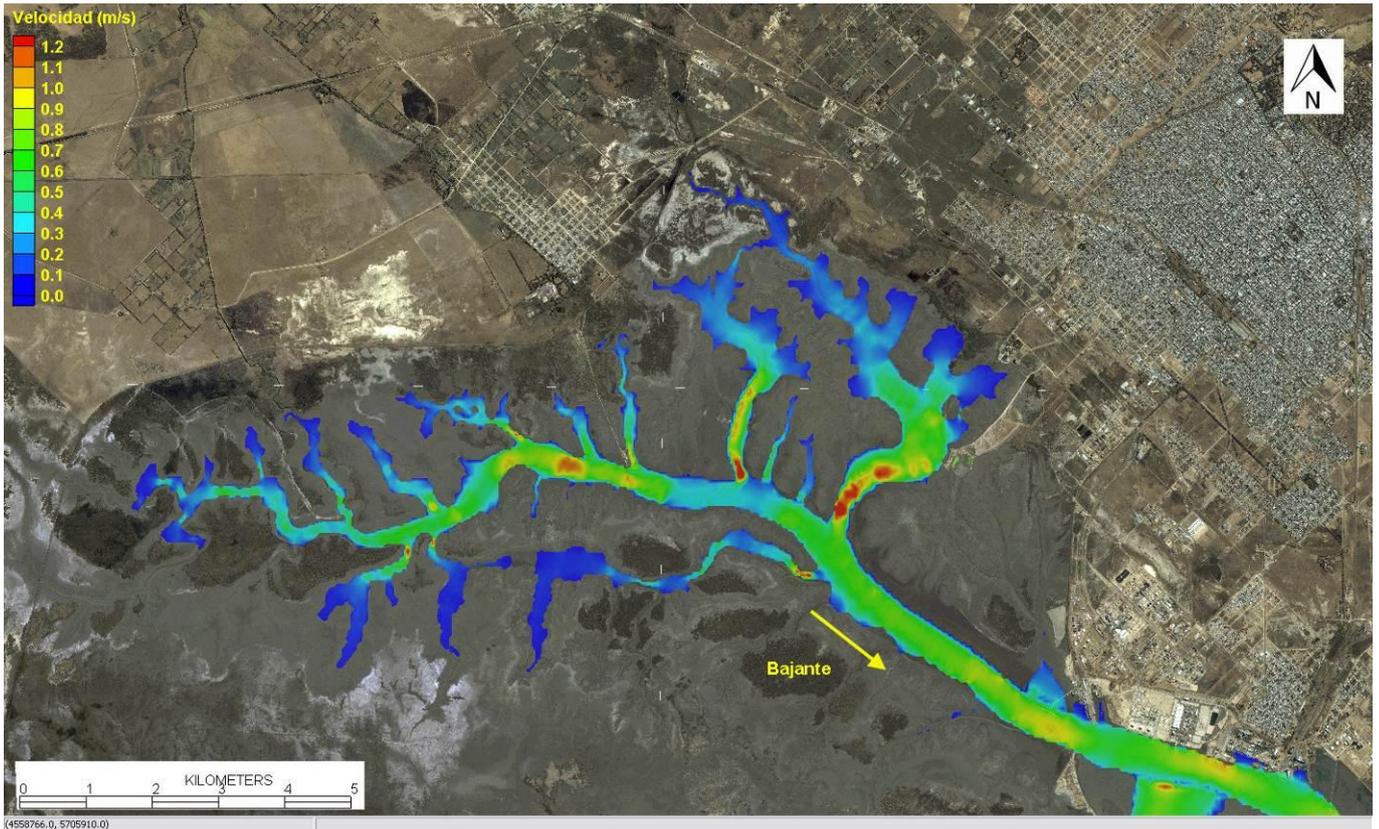


Figura 37. Velocidades máximas en bajante (reflujo) con obras de dragado y refulado

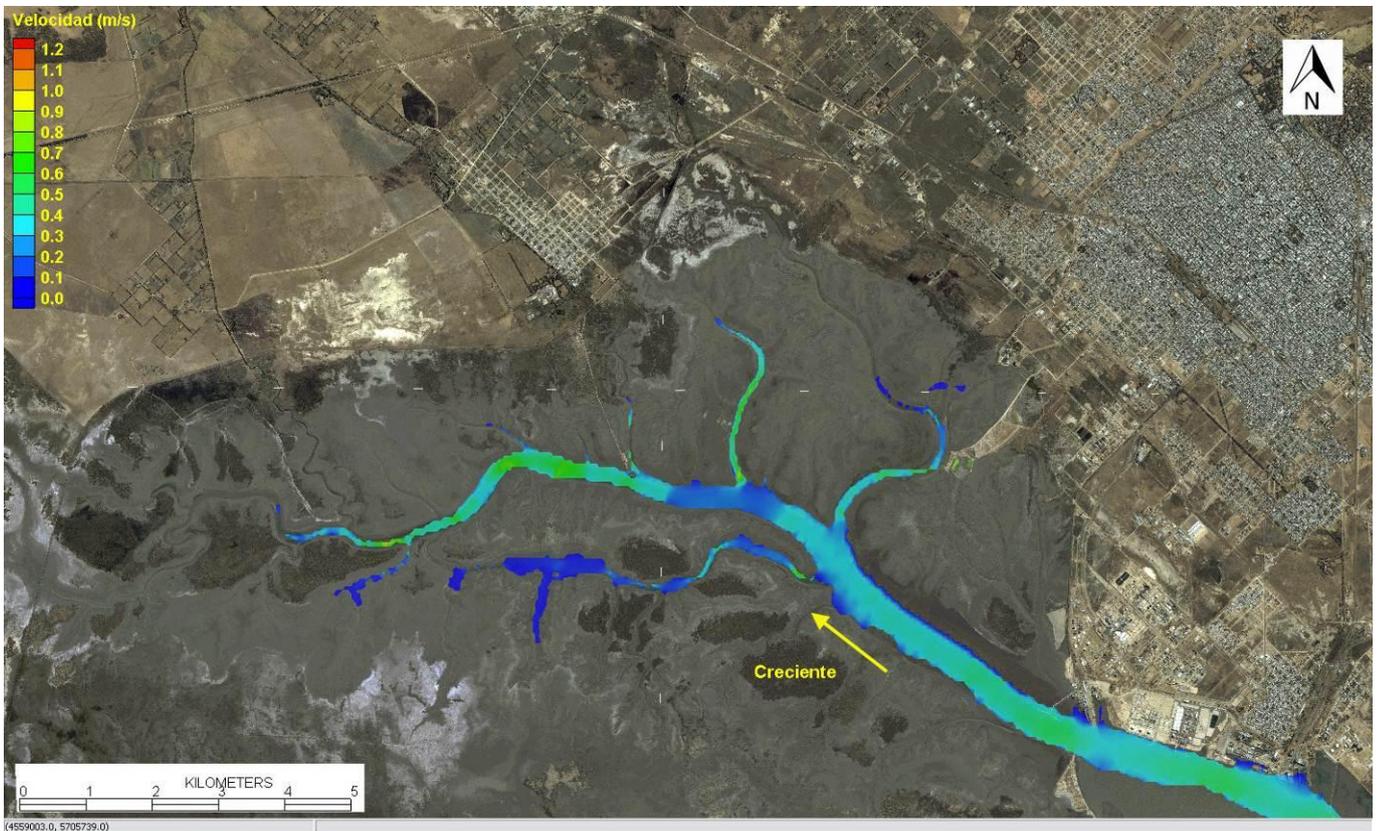


Figura 38. Velocidades máximas creciente (flujo) con obras de dragado y refulado



Figura 39. Incremento del Nivel Máximo de agua (Pleamar) debido al dragado y refulado



Figura 40. Incremento del Nivel Medio de agua para un instante medio del ciclo de mareas debido al dragado y refulado



Figura 41. Incremento del Nivel Mínimo de agua (Bajamar) debido al dragado y refilado

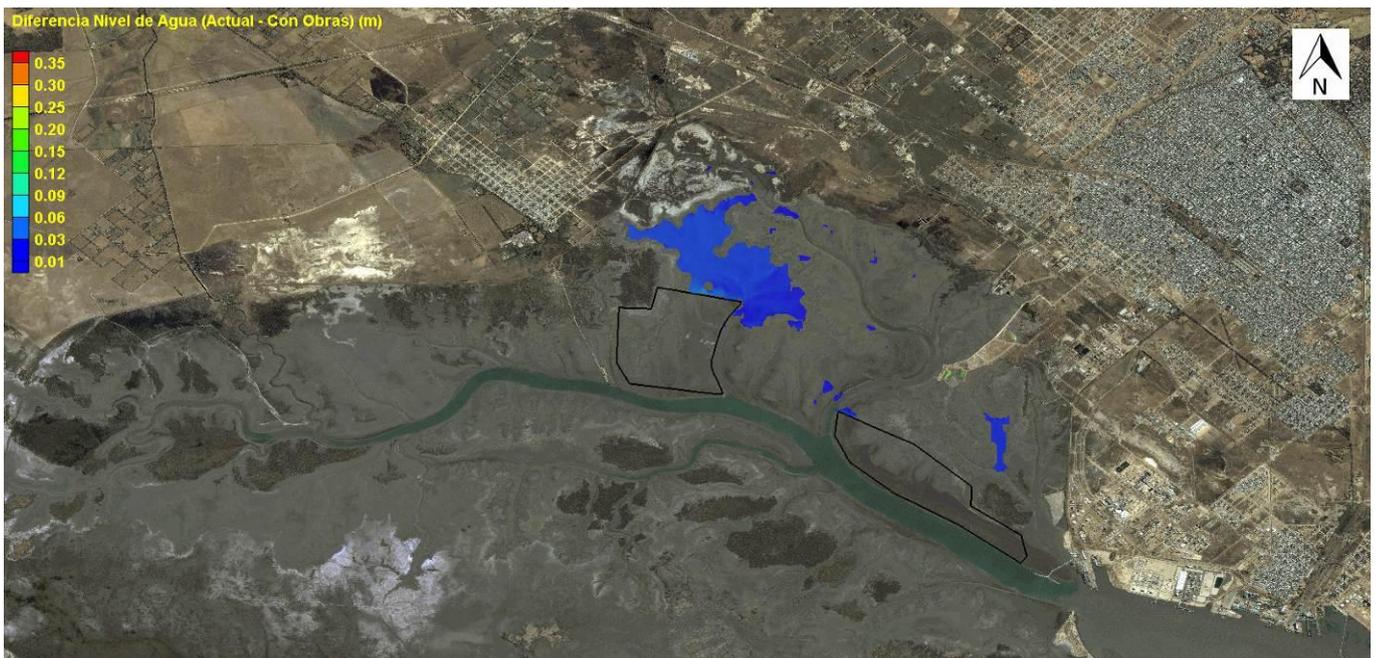


Figura 42. Reducción del Nivel Máximo de agua (Pleamar) debido al dragado y refilado

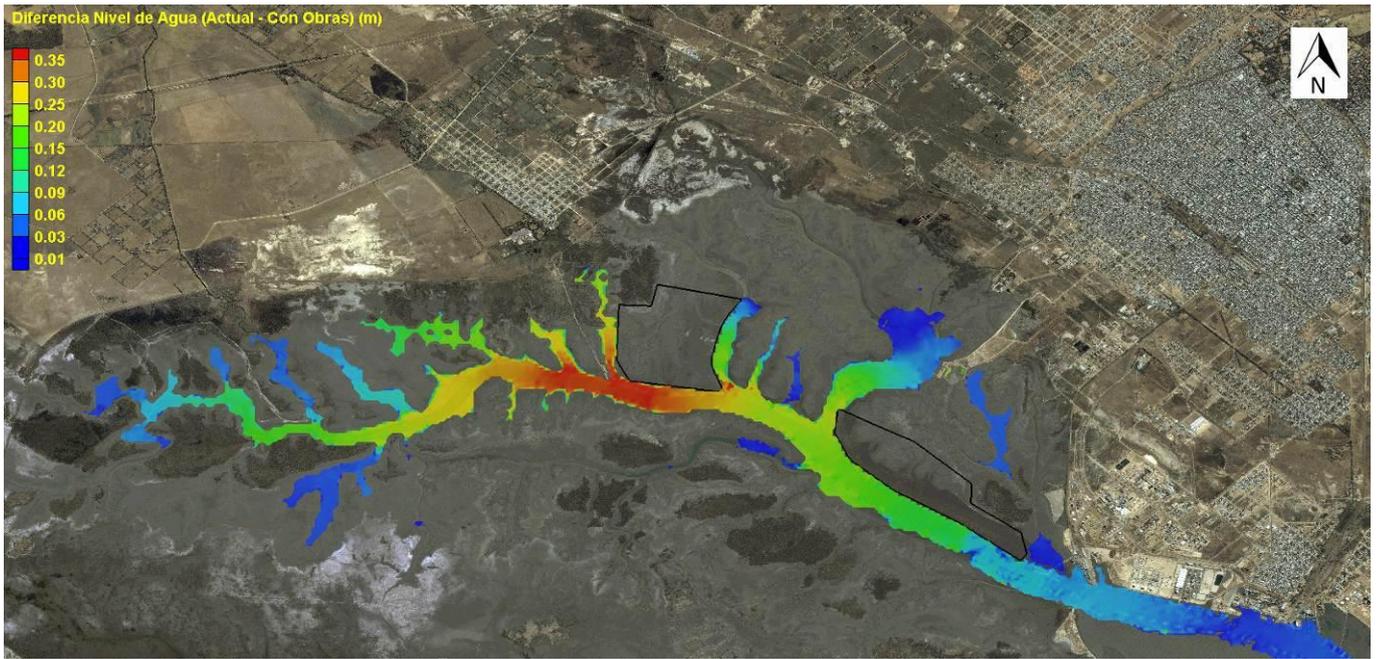


Figura 43. Reducción del Nivel Medio de agua para un instante medio del ciclo de mareas debido al dragado y refulado



Figura 44. Reducción del Nivel Mínimo de agua (Bajamar) debido al dragado y refulado



Figura 45. Incremento de Velocidad Máxima en creciente (flujo) debido al dragado y refulado

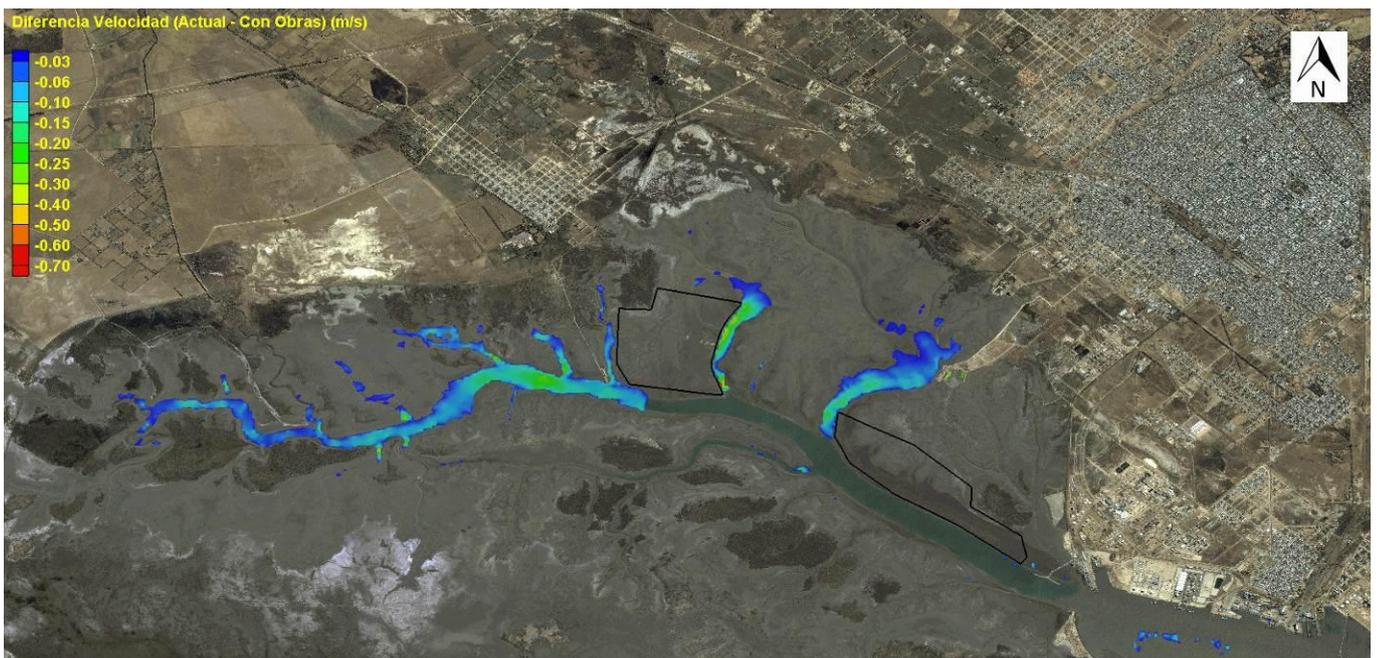


Figura 46. Incremento de Velocidad Máxima en bajante (reflujo) debido al dragado y refulado

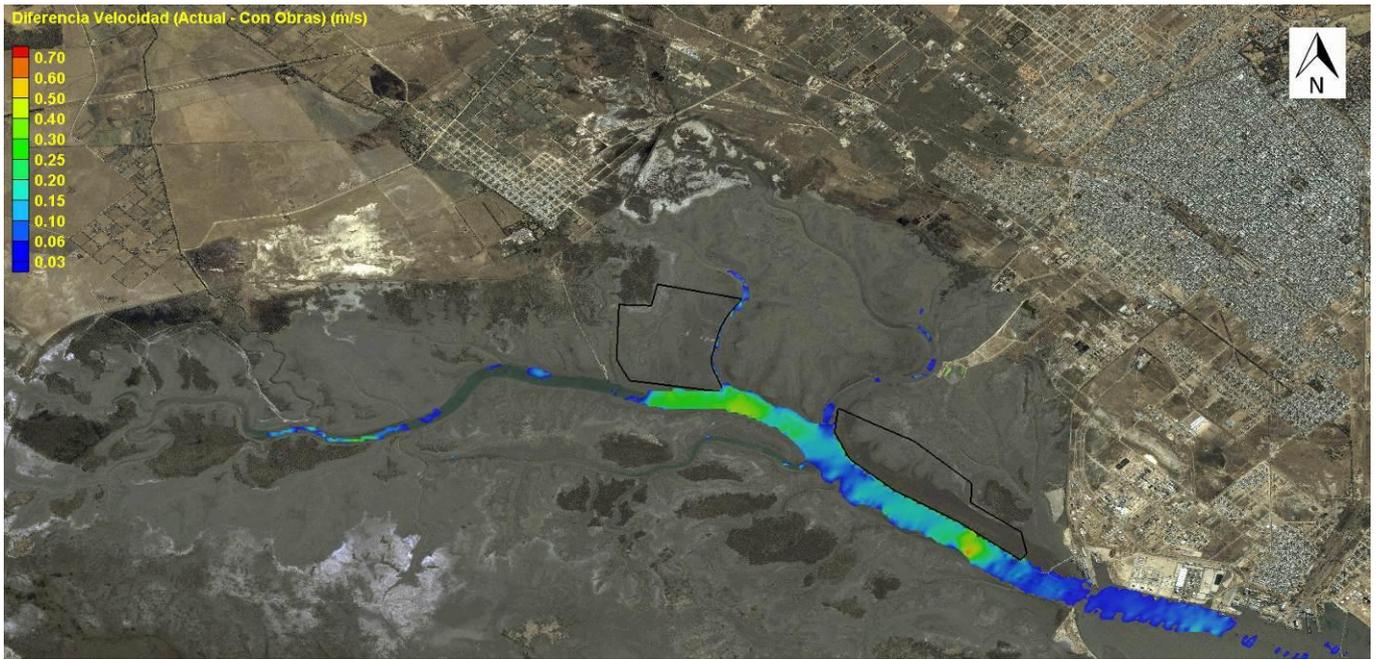


Figura 47. Reducción de Velocidad Máxima en creciente (flujo) debido al dragado y refutado

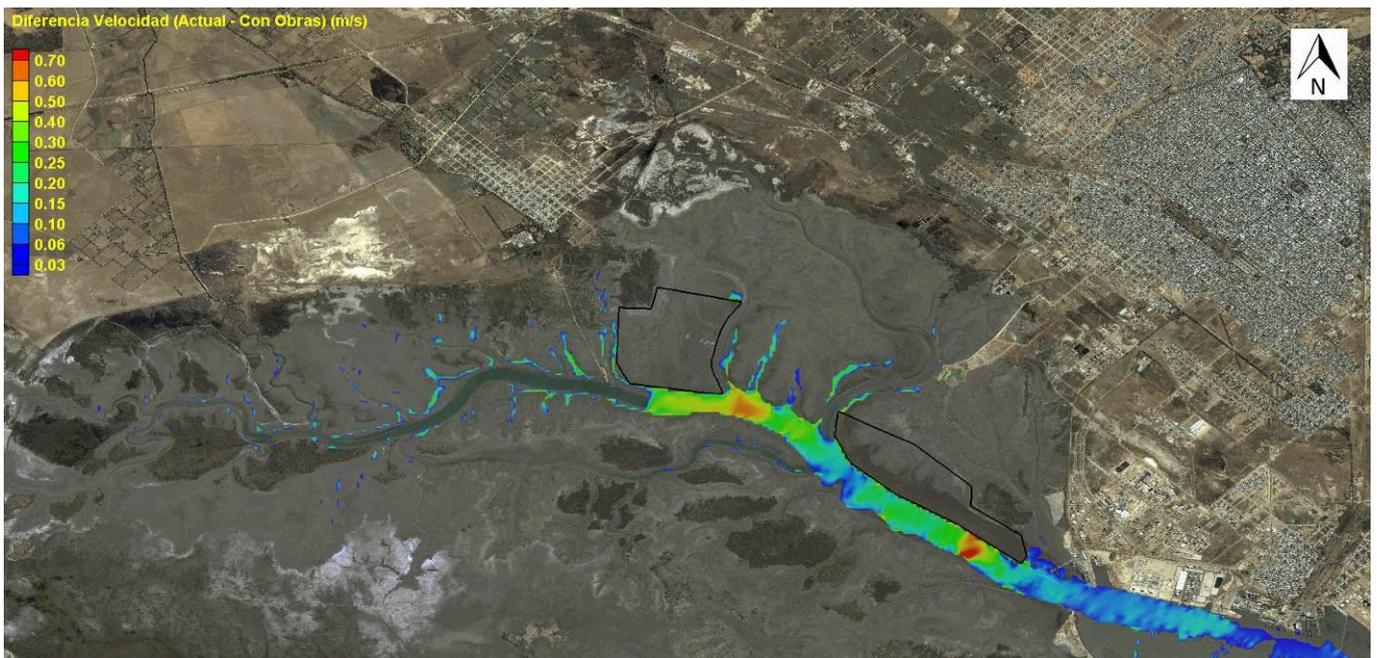


Figura 48. Reducción de Velocidad Máxima en bajante (reflujo) debido al dragado y refutado

Las conclusiones alcanzadas en relación con los impactos hidrodinámicos de las obras según los resultados obtenidos para las variaciones de velocidades y niveles de marea, se presentan en el parágrafo 2.4.

2.3 ESTUDIO DEL IMPACTO HIDROSEDIMENTOLÓGICO

2.3.1 Implementación y Principio de Funcionamiento del Modelo

El modelo hidrodinámico ha sido diseñado, calibrado y validado con el fin de reproducir los fenómenos observados en el estuario de Bahía Blanca, según lo descrito en el capítulo sobre las condiciones hidrodinámicas y morfológicas del mismo.

Básicamente, el proceso sedimentológico representado por el modelo, es el siguiente:

- a) En la zona correspondiente al canal principal navegable y sus adyacencias, el agua tiene una cierta cantidad de sedimentos en suspensión, lo cual se expresa en una concentración de masa por unidad de volumen, cuya fuente normal de provisión, son las planicies intermareales que se cubren y descubren en cada ciclo de marea (donde por efecto del viento se ponen en suspensión los materiales depositados) y los canales de marea que vinculan a las mismas con el canal principal. El nivel concentración de base de sedimentos en consecuencia, es un “aporte” externo al área del canal navegable y dársenas portuarias.
- b) Esta concentración a su vez fluctúa durante el ciclo de mareas, dado que los sedimentos están floculados (en ambiente salino) lo cual incrementa su velocidad de caída, y tienden a depositarse en el lecho cuando las velocidades son relativamente bajas (cerca de la pleamar y bajamar, y especialmente cuando se produce la “estoa” de cambio de dirección durante la cual las velocidades son casi nulas). Estos sedimentos son resuspendidos cuando las velocidades se incrementan en media marea creciente y bajante (especialmente en este caso dado que las mismas son más intensas), lo cual provoca un incremento transitorio de la concentración en la columna de agua.
- c) Existe una tensión de corte crítica de deposición, y una tensión de corte crítica de erosión, lo cual en cada punto define las velocidades de la corriente por debajo de las cuales existe depósito de sedimentos y las velocidades por encima de las cuales existe erosión. Las tensiones de corte de erosión son muy bajas para materiales recientemente depositados, y son dependientes de la “historia” del depósito, dado que cuando se van acumulando capas de sedimentos sucesivas que se consolidan, las tensiones crecen y cada vez es más difícil erosionar los sedimentos.
- d) La masa de sedimento que se deposita en cada período de bajas velocidades, es dependiente de la concentración de sedimentos en suspensión disponible para caer al fondo, de la velocidad de caída correspondiente, y de la tensión de corte de deposición.
- e) La masa de sedimento que se erosiona en cada período de altas velocidades, es proporcional a la tensión de corte del flujo (la cual depende de la velocidad, profundidad y rugosidad), de la tensión de corte crítica (la cual depende de la existencia, o no, de consolidación), y de un coeficiente de erosión (con dimensiones de masa erosionada por metro cuadrado del lecho y por segundo).

- f) El hecho de que un sitio tenga, o no, sedimentación neta, depende del equilibrio que exista para las condiciones medias del flujo en un ciclo de mareas (estadísticamente hablando), entre las tasas de deposición y de erosión. En todas partes hay deposición, pero en las zonas bien encauzadas (en el canal navegable), durante cada período de velocidades altas se produce la erosión total del material depositado durante el período de velocidades bajas.
- g) En el fondo de las dársenas portuarias, las velocidades son tan bajas, que el material que se deposita no logra ser erosionado en ningún momento, por lo que la tasa de deposición depende directamente de la disponibilidad de material en el agua, que pueda depositarse, y alcanza los máximos valores posibles en la zona.
- h) En otras zonas de transición se produce una sedimentación parcial (de menor intensidad), como ser en las interfases entre las dársenas y el canal, en la zona Sur del área de Giro de Puerto Galván (donde hay una expansión del flujo), y en el frente portuario marginal ubicado inmediatamente al Este de Puerto Galván (y al Oeste de MEGA), donde una leve obstrucción al flujo provocada por el extremo del Sur de las estructuras portuarias de Galván reduce ligeramente las velocidades de la corriente.
- i) En estas zonas, las intensidades máximas de las corrientes en cada ciclo de marea alcanzan a erosionar una parte de los sedimentos depositados, pero una fracción variable de los mismos permanece en el lecho y es cubierta por los materiales que se depositan en el ciclo subsiguiente.

Como puede apreciarse, el proceso es complejo y depende de numerosas variables, las cuales como sucede con la concentración de sedimentos no han sido determinadas en forma sistemática en el estuario de Bahía Blanca, y la mayor parte de ellas no han sido medidas (como las relacionadas a las tensiones de corte críticas y las tasas de erosión). La amplia dispersión de ambientes del estuario y la complejidad de la determinación de estas variables, implica que la metodología de modelización debe basarse en la calibración de los valores de las mismas, dentro de los rangos de variación indicados en la bibliografía especializada, a los efectos de reproducir las tasas de sedimentación actuales en las diferentes áreas.

Este es el enfoque adoptado a continuación, el cual permite emplear el modelo para predecir con suficiente seguridad las tasas de sedimentación que tendrán las nuevas zonas dragadas, y estimar los márgenes de incertidumbre correspondientes.

2.3.2 Calibración del Modelo Sedimentológico

2.3.2.1 Información de Base sobre Tasas de Sedimentación Actuales

Para la calibración del modelo fue fundamental el conocimiento de las tasas y espesores típicos de sedimentación en la zona de estudio. Con dichos datos y el ajuste del valor de las tensiones críticas de erosión y deposición fue calibrado el modelo para reproducir las condiciones actuales.

Ante la dificultad que impone en un cortísimo plazo procesar información batimétrica para estimar espesores y volúmenes de sedimentación a partir de la comparación de relevamientos post-dragado y pre-dragado sucesivos, se realizaron algunas verificaciones de este tipo, pero se enfocó el estudio en estimar los volúmenes sedimentados empleando los volúmenes dragados por parte del CGPBB para el mantenimiento de las áreas de uso náutico.

La Tabla 2 presenta la información de base recopilada durante los años 2005 a 2010, pudiéndose apreciar que tanto los volúmenes dragados varían en algunos casos fuertemente según el período de medición.

Tabla 2. Volúmenes de dragado de mantenimiento para períodos anuales consecutivos (2005-2010)

Período	1	2	3	4	5
AREA	Nov. 2005 - May. 2006	Nov. 2006 - May. 2007	Nov. 2007 - May. 2008	Nov. 2007 - May. 2009	Nov. 2009 - May. 2010
	m ³				
Sitio 5/6 + anexo 3/4 TBB	106.300	84.600	63.200	27.489	24.790
Sitio 7/8 TBB	30.200	38.800	35.400	37.858	22.110
Sitio 9 TBB	71.400	58.500	38.500	12.142	29.220
Muelle Cargill	25.900	15.500	16.000	3.143	18.580
Muelles C. Generales	80.700	68.500	73.000	49.548	44.860
Profertil	13.500	6.286	9.123	7.091	5.420
Mega	43.500	30.700	48.900	16.880	0
Anexo Mega (DREYFUS)	9.000	0	178.900	40.640	20.400
Zona círculo Giro	27.000	23.000	103.000	65.300	14.600
Galván 5/6/7/8/9	89.840	79.100	64.000	49.294	25.300
Galván 1/2/3/4	53.000	99.100	40.730	33.312	30.520
TOTAL	550.340	504.086	670.753	342.697	235.800

Las tasas de sedimentación presentadas en la Tabla 3 fueron obtenidas como resultado del cociente entre los volúmenes dragados y el área de dragado estimada correspondiente a cada zona de trabajo. Las áreas desvíos de los valores anuales superior al 50%, como se observa en la Tabla 3 son el Sitio 5/6 + anexo 3/4 TBB, Muelle Cargill, Mega y Galván 1/2/3/4.

El área del Anexo MEGA (Dreyfus) y el área de Giro de Galván han sido objeto de dragados especiales de apertura o de recuperación de profundidades, por lo cual éstos no pueden ser considerados en la estadística como “mantenimiento” a los efectos de estimar valores medios de sedimentación. En tal sentido, en la misma tabla se indica cuáles son los períodos anuales considerados para el análisis en cada caso, los cuales se seleccionaron a partir de las conversaciones mantenidas con los responsables del dragado por parte del CGPBB, en función de evitar incluir períodos afectados por dragados no representativos del mantenimiento anual.

La desviación estándar del espesor promedio anual calculada genera un intervalo de altura posible para cada zona dragada a considerar para la calibración.

Tabla 3. Volúmenes y espesores promedios anuales de dragado de mantenimiento. Período 2005-2010

AREA	Períodos análisis	Volumen Medio Anual total	Desvío Anual	Desvío Anual	Espesor Promedio anual	Desvío Espesor	Medio - Desvío	Medio + Desvío
		m ³	m ³	%	m	m	m	m
Sitio 5/6 + anexo 3/4 TBB	3 a 5	38.493	21.439	56%	1,0	0,5	0,4	1,5
Sitio 7/8 TBB	1 a 5	32.874	6.880	21%	2,1	0,4	1,6	2,5
Sitio 9 TBB	3 a 5	26.621	13.370	50%	0,9	0,4	0,4	1,3
Muelle Cargill	1 a 5	15.825	8.217	52%	1,1	0,5	0,5	1,6
Muelles C. Generales	1 a 5	63.322	15.436	24%	0,9	0,2	0,7	1,2
Profertil	1 a 5	8.284	3.222	39%	0,6	0,2	0,3	0,8
Mega	1 a 5	27.996	19.950	71%	1,0	0,7	0,3	1,7
Zona circulo Giro	5	14.600	-	-	0,3	-	-	-
Galván 5/6/7/8/9	1 a 5	61.507	25.390	41%	1,8	0,7	1,0	2,5
Galván 1/2/3/4	1 a 5	51.332	28.084	55%	1,3	0,7	0,6	2,0
TOTAL	-	340.853						

En la Tabla 4 se presentan los valores promedio mensuales de espesores de sedimentación estimados a partir de los dragados de mantenimiento procesados, y los desvíos probables. Los valores están redondeados al centímetro para brindar mayor claridad sobre los órdenes de magnitud, aunque los cálculos se realizaron al milímetro.

Tabla 4. Espesores promedios mensuales estimados de sedimentación en el período 2005-2010

AREA	Espesor Promedio Medio mensual	Desvío Espesor	Medio - Desvío	Medio + Desvío
	cm	cm	cm	cm
Sitio 5/6 + anexo 3/4 TBB	8	4	4	12
Sitio 7/8 TBB	17	4	14	21
Sitio 9 TBB	7	4	4	11
Muelle Cargill	9	5	4	13
Muelles C. Generales	8	2	6	10
Profertil	5	2	3	6
Mega	8	6	2	15
Zona circulo Giro	2,5	-	-	-
Galván 5/6/7/8/9	15	6	9	21
Galván 1/2/3/4	11	6	5	17

Es posible apreciar por un lado, la gran variabilidad interanual de la “sedimentación” estimada, que en muchos casos alcanza o supera el 50%. Ello se debe en parte a que la política de distribución del dragado por sitios es decidida por el CGPBB anualmente en función de los recursos técnicos y necesidades puntuales, pero también refleja que existe una variabilidad intrínseca en la sedimentación, cuya causa principal se considera que se encuentra en la fluctuación de la masa de sedimentos disponible para sedimentar cada año, dependiendo principalmente de las condiciones de viento reinantes sobre el estuario.

Este hecho se traslada necesariamente al pronóstico efectuado, dado que la modelación apunta a representar condiciones “promedio anual”, es de esperar una variación interanual de la sedimentación pronosticada del orden del 50% simplemente por los factores climáticos que la condicionan, y una fluctuación mensual aún más significativa.

Por otro lado, los valores medios anuales esperables de espesor de depósito mensual en los sitios más comprometidos, son del orden de 1,8 m a 2,1 m (15 a 17 cm/mes), mientras que en sitios con una exposición ligeramente superior al flujo, se alcanzan tasas tan altas sólo en los extremos más interiores, siendo los valores medios del orden de 0,9 m a 1,1 m anuales (8 a 9 cm/mes). En zonas mucho más expuestas al flujo como el área de Giro de Galván, se registra sedimentación en el extremo Sur con tasas del orden de 30 cm/año (2 a 3 cm/mes)

2.3.2.2 Ajuste de la Modelación Matemática

El ajuste de la modelación matemática sedimentológica, consistió en modificar los parámetros clave del modelo para lograr reproducir condiciones de sedimentación actuales compatibles con las estimadas en el párrafo anterior.

Los parámetros fundamentales que determinan las tasas de sedimentación en diferentes sitios, de acuerdo a lo previamente mencionado, son los siguientes.

- Concentración promedio de sedimentos en suspensión.

La misma depende del aporte de las planicies de marea, el cual es fluctuante en función de las condiciones de viento que incrementan los esfuerzos de corte y ponen en suspensión el material. El valor asignado fue estimado en base a la información de campo disponible y fue ajustado dentro del rango posible, resultando igual a 120 mg/lit. La sedimentación es proporcional a este valor, que representa un promedio de las condiciones de agitación anuales. La ocurrencia de años con mayores o menores intensidades de viento, provoca modificaciones en la disponibilidad media de sedimentos en suspensión, lo cual hace fluctuar la tasa de deposición, especialmente en las zonas de máximo depósito tales como los sitios de atraque.

- Esfuerzos de corte críticos de erosión (T^*_e) y deposición (T^*_d)

No existiendo estudios detallados sobre las condiciones en la zona de estudio, las mismas se asignaron en función de la información bibliográfica de áreas similares descripta previamente (van Rijn, 1993), y se ajustaron para obtener el comportamiento sedimentológico deseado, resultando los siguientes valores: $T^*_e = 0,10 \text{ N/m}^2$ y $T^*_d = 0,05 \text{ N/m}^2$, y se realizó un análisis de sensibilidad para valores un 20% menores.

- Coeficiente de tasa de erosión E

Se estimó a partir de la bibliografía en $E = 0,00005 \text{ kg/m}^2/\text{s}$ como valor estándar y se realizó un análisis de sensibilidad para un valor 4 veces más elevado.

- Velocidad del caída del sedimento W_s

Se estimó a partir de la bibliografía considerando el rango correspondiente a sedimentos finos floculados y se ajustó un valor igual 0,6 mm/s.

El cálculo de sedimentación utiliza el campo de velocidades obtenido del modelo hidrodinámico previamente calibrado, el cual provoca el transporte, la deposición y la erosión del material en suspensión.

La cantidad de material disponible en la columna de agua depende de diferentes factores, tal como se mencionó anteriormente. Para representar en la modelación la concentración promedio anual de sedimentos en suspensión, fue necesario mantener una fuente de sedimentos con una concentración de masa constante igual 120 mg/lt. De esta forma el modelo cuenta con una fuente de material que es erosionado o depositado de acuerdo al balance de fuerzas entre las tensiones de corte calculadas y los valores de tensiones críticas de erosión y deposición (variables de calibración).

Puede apreciarse en la Figura 49 que en el sector Sur del área de Giro de Galván, al aumentar la tensión de corte al incrementarse la velocidad del flujo, los materiales depositados comienzan a erosionarse, mientras que al disminuir la tensión los materiales se depositan. Dependiendo del valor máximo de tensión calculado en el punto de observación puede o no erosionarse todo el material depositado. Si bien hay erosión, la tensión máxima (0,35 N/m²) no es suficiente como para erosionar todo lo sedimentado durante el ciclo de marea anterior.

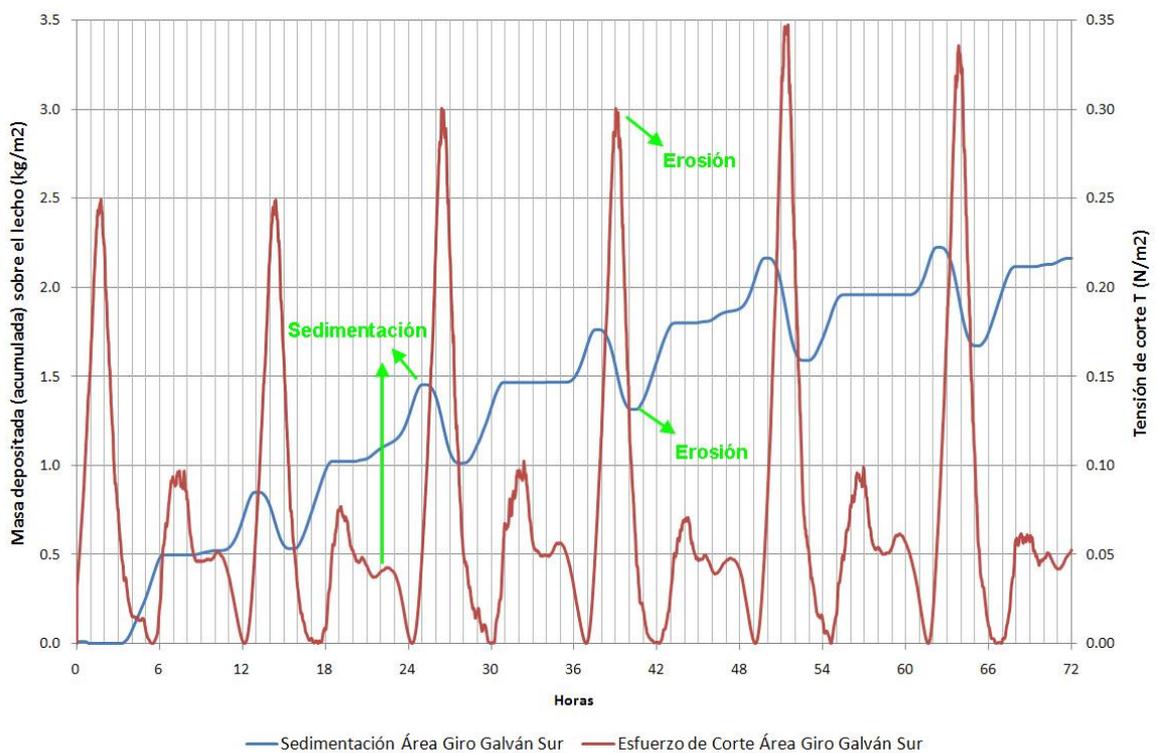


Figura 49 Mecanismo de erosión y sedimentación en área de Giro Galván – Sector Sur

En cambio en la Figura 50, correspondiente a un punto próximo a Puerto Ing. White y ubicado en el centro de canal donde se encuentran la máximas velocidades, la tensión de corte máxima (0,75 N/m²) permite remover todo el material depositado en cada ciclo de mareas, por lo que no se produce una acumulación neta (no hay sedimentación a largo plazo).

Una comparación de la masa depositada en cada caso se encuentra graficada en la Figura 51, donde puede observarse claramente las diferentes formas de deposición/erosión.

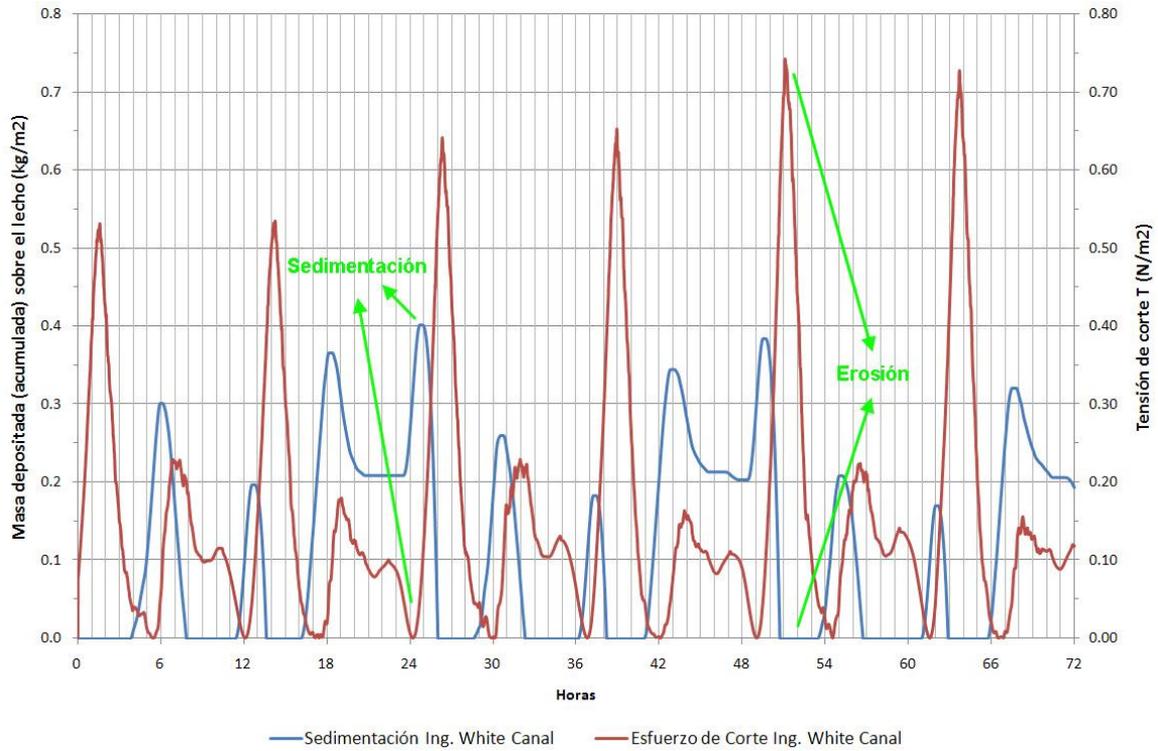


Figura 50. Mecanismo de erosión y sedimentación en el Canal cerca de Ing. White

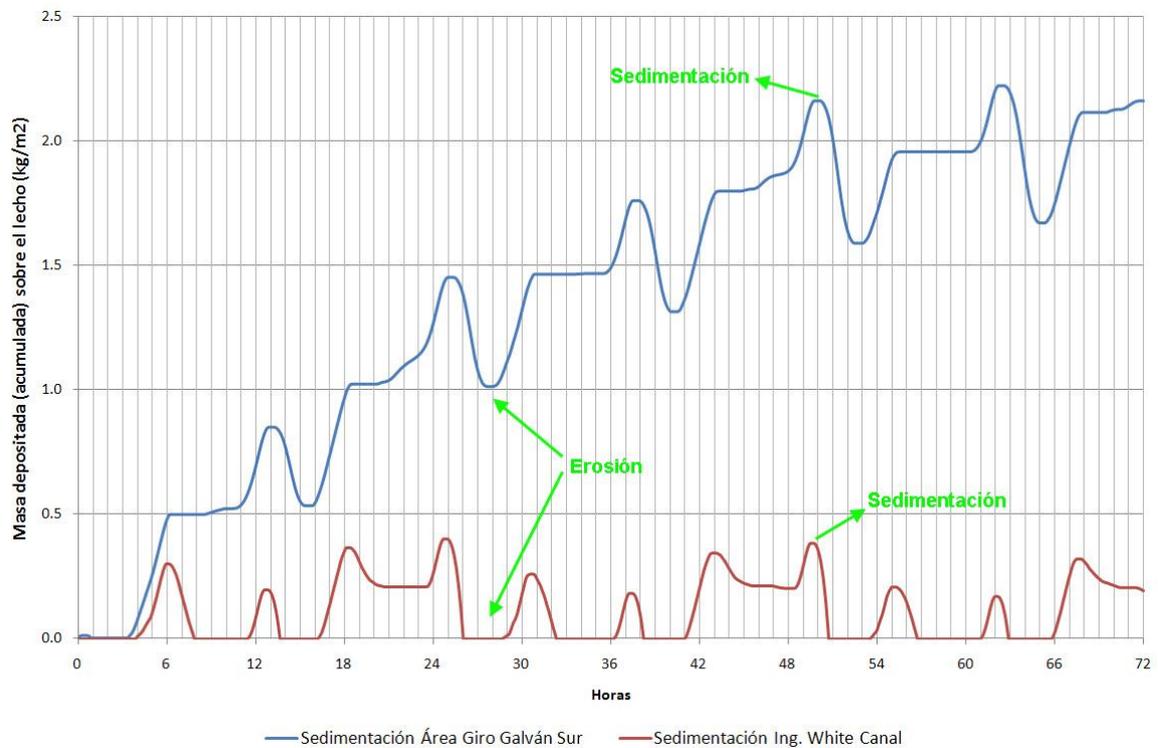


Figura 51. Diferente forma de deposición según zona de sedimentación.

Las simulaciones realizadas para la calibración del modelo fueron tres. La diferencia entre ellas fueron los valores impuestos de tensión crítica de erosión, tensión crítica de deposición, y de la Tasa de erosión.

Para la condición definida como Base los valores implementados fueron:

- Tensión crítica de erosión: $0,1 \text{ N/m}^2$
- Tensión crítica de deposición: $0,05 \text{ N/m}^2$
- Tasa de erosión $E = 0,00005 \text{ kg/m}^2/\text{s}$

Se definió una condición para análisis de sensibilidad (1), la cual emplea valores críticos de las tensiones más bajos, pero compatibles con las características típicas del sedimento del área:

- Tensión crítica de erosión: $0,08 \text{ N/m}^2$
- Tensión crítica de deposición: $0,04 \text{ N/m}^2$
- Tasa de erosión $E = 0,00005 \text{ kg/m}^2/\text{s}$

Un segundo análisis de sensibilidad (2), fue realizado incrementando la Tasa de erosión E , acercándola al rango máximo indicado en la bibliografía:

- Tensión crítica de erosión: $0,1 \text{ N/m}^2$
- Tensión crítica de deposición: $0,05 \text{ N/m}^2$
- Tasa de erosión $E = 0,00020 \text{ kg/m}^2/\text{s}$

No se realizaron simulaciones de sensibilidad empleando diferentes concentraciones de sedimento en suspensión medias anuales, dado que las mismas únicamente provocan una variación proporcional de la sedimentación. La velocidad de caída de los sedimentos finos floculados fue un factor de ajuste del proceso de calibración, su variación dentro de los rangos esperables produce una modificación de las tasas de sedimentación que se estimó en un 20%.

Las simulaciones para las dos condiciones de tensión de corte crítica, también se realizaron para la condición con obras, incluyendo el dragado del canal (desde Puerto Galván hasta Cuatrerros y también la zona al Este de Puerto Galván), de la dársena y zona de giro en Cuatrerros, y el refulado sobre la margen norte del canal entre Galván y Cuatrerros.

Para las cuatro condiciones de simulación se calcularon los espesores medios máximos mensuales de depósito y se extrapolaron los volúmenes medios anuales de sedimentación, que se traducirán en necesidades de dragado de apertura.

El modelo brinda como resultado la cantidad de masa en kg/m^2 de material depositado en el fondo durante el período simulado. El espesor de depósito y el volumen correspondiente sólo puede obtenerse considerando una densidad apropiada para el material depositado. Resulta evidente que la densidad es variable con el estado de consolidación y antigüedad del depósito, pero si bien el modelo puede representar el proceso de consolidación, los cortos plazos del estudio no permitieron emplear el módulo de consolidación para tal fin. En consecuencia, se estimó un valor típico fijo de densidad para los sedimentos depositados de 1320 kg/m^3 , correspondiente a una densidad seca de 480 kg/m^3 , valor típico para sedimentos finos limoarcillosos (sin fracción arenosa) poco consolidados.

En realidad, existe una dependencia mutua entre los dos parámetros de ajuste que actúan en forma linealmente proporcional sobre el volumen depositado, que son la concentración de sedimentos en suspensión (proporción directa) y el espesor de los sedimentos ya depositados (proporción inversa).

El mismo resultado puede obtenerse con valores diferentes de estos parámetros siempre que se respete la relación entre ambos, es decir, con un incremento del 10% en la densidad y en la concentración de sedimentos, el resultado en cuanto a la masa depositada es diferente pero el espesor y el volumen son idénticos. Por tal motivo, ambos parámetros pueden considerarse como valores típicos interrelacionados entre si y que se ajustan dentro de los rangos de factible ocurrencia para obtener el resultado deseado (el cual está expresado como un volumen de sedimentos a dragar para mantener las cotas del lecho).

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Espesores máximos mensuales y volúmenes medios anuales calculados en las principales zonas de deposición mantenidas por el CGPBB, para las diferentes condiciones del análisis de sensibilidad

Lugar de Dragado	Espesor medio máximo mensual (cm)			Volumen medio anual (m ³)		
	Base	Sensibilidad (1)	Sensibilidad (2)	Base	Sensibilidad (1)	Sensibilidad (2)
Servicios Generales y Elevador Central (Sitio 5/6 + anexo 3 /4 + Sitio 7/8 TBB)	13	13	13	81.800	78.300	80.600
Sitio 9	7	6	6	22.100	11.900	6.900
Muelle Cargill	6	4	5	8.000	2.600	2.500
Cargas generales, Alto nivel y su acceso	13	13	13	91.200	88.900	89.900
Galván - Sitio 5 a 9 (Dársena Este)	13	13	13	65.600	59.400	58.700
Galván- Sitio 1 a 4 (Dársena Oeste)	13	13	13	68.000	63.900	65.300
Área giro Galván Sur	4	3	2	16.900	6.400	1.200
Total	----	----	----	353.600	311.400	305.100

Puede apreciarse que todas las simulaciones predicen volúmenes de sedimentación anual dentro del rango de variabilidad de los valores obtenidos en base al desvío estándar de los volúmenes promedios de dragado de mantenimiento en el período 2005-2010 (Tabla 3), si bien la condición Base es la que más se acerca globalmente a los valores totales, y en particular es la que mejor representa la tasa de sedimentación estimada para el Área de Giro frente al Puerto de Galván, mientras que los análisis de sensibilidad tienden a subvaluar la misma.

Ello se debe a que la sedimentación en el borde sur del área de Giro se debe a que la velocidad del flujo está muy poco por debajo de la necesaria para que se produzca el automantenimiento tal como se verifica en el resto del canal, por lo cual cualquier la sedimentación es muy sensible a cualquier variación de los parámetros de modelación.

En la Tabla N° 6, se presenta una comparación entre los resultados obtenidos antes y después del mencionado ajuste de las cotas de la planicie al Sur del canal principal en inmediaciones de Puerto Cuatros empleando los datos LiDAR, a los efectos de ilustrar que la influencia que tuvo la corrección de la geometría de la planicie en la tasa de sedimentación es baja.

Tabla 6. Espesores máximos mensuales y volúmenes medios anuales calculados en las principales zonas de deposición mantenidas por el CGPBB, comparación antes y después del ajuste de las cotas de planicie, para la condición Base

Lugar de Dragado	Espesor medio máximo mensual (cm)		Volumen medio anual (m ³)	
	Antes ajuste cotas planicie	Después ajuste cotas planicie	Antes ajuste cotas planicie	Después ajuste cotas planicie
Servicios Generales y Elevador Central (Sitio 5/6 + anexo 3 /4 + Sitio 7/8 TBB)	13	13	81.800	81.800
Sitio 9	7	7	22.100	21.500
Muelle Cargill	6	6	8.000	8.000
Cargas generales, Alto nivel y su acceso	13	13	91.200	93.500
Galván - Sitio 5 a 9 (Dársena Este)	13	13	65.600	65.600
Galván- Sitio 1 a 4 (Dársena Oeste)	13	13	68.000	68.000
Área giro Galván Sur	4	4	16.900	16.900
Total	-	-	353.600	355.300

Puede observarse en las tablas anteriores que el máximo espesor medio depositado mensualmente en las dársenas ubicadas fuera del canal principal es de 13 cm, lo cual se debe a que en estas zonas dragadas la deposición es constante. No hay erosión, puesto que las velocidades máximas no superan la tensión crítica de erosión, y por lo tanto el resultado es independiente de las tensiones críticas adoptadas para el análisis de sensibilidad. Este valor de tasa de deposición se ha adoptado como una estimación razonable en relación con los valores medios resultantes de los análisis de volúmenes dragados históricamente, y depende fundamentalmente de la concentración de sedimentos en suspensión media en el estuario, de su velocidad de caída, y de la densidad del depósito.

Los volúmenes depositados en las dársenas son diferentes en la condición Base y de Sensibilidad, dado que en las zonas de interfase entre la dársena y el canal las condiciones de erosión son ligeramente distintas en cada condición.

En la Figura 52 a la Figura 54 fue graficada la sedimentación mensual para las tres condiciones de simulación, en el escenario actual sin obras. Puede apreciarse que la deposición natural del material se realiza efectivamente en áreas donde la velocidad de corriente es baja, correspondiente a los sectores que actualmente son dragados.

La sedimentación es prácticamente nula en el centro del canal, donde se erosiona el material de forma natural.

Se aclara que la masa de sedimento que se visualiza como depositada en los cauces de marea secundarios del estuario resulta una deposición transitoria que no representa una evolución a largo plazo, dado que la situación de simulación es una condición media que obvia factores importantes para este caso, como la devolución de material al cauce por efecto de los vientos, la batimetría del lecho en estos canales menores no se conoce con suficiente precisión, y además, como son áreas sin mantenimiento por dragado, en algún momento llegarán a un estado de equilibrio en el cual la sedimentación cesará.

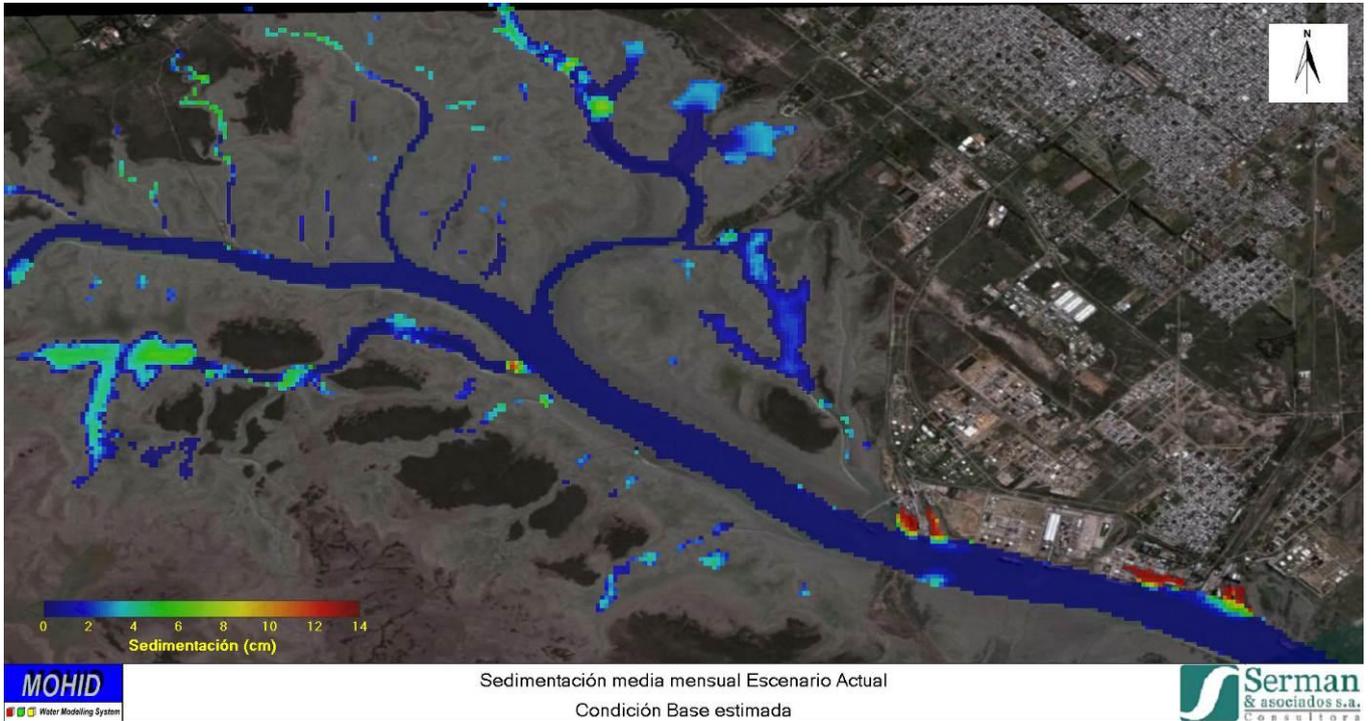


Figura 52. Sedimentación media Mensual para la Condición de Base Estimada en el Escenario Actual

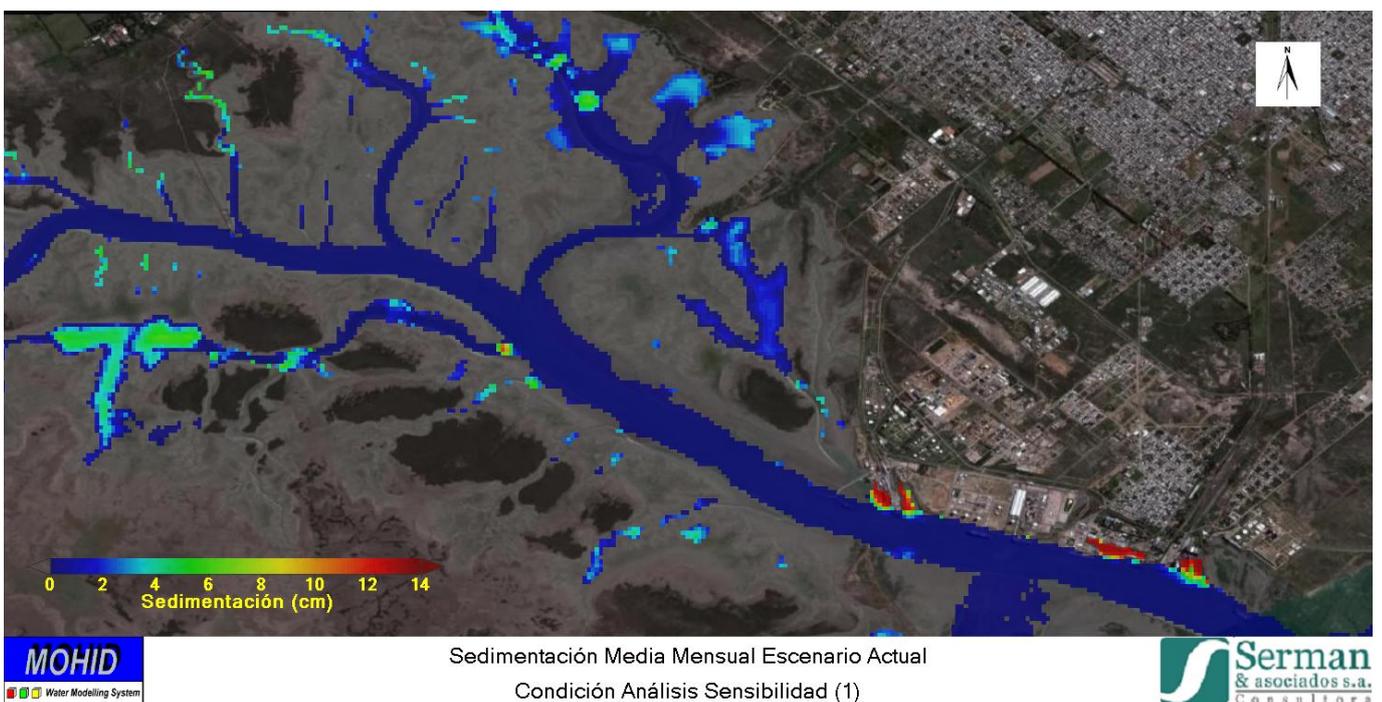


Figura 53. Sedimentación media Mensual para la Condición de Análisis de Sensibilidad a la Tensión de Corte en el Escenario Actual

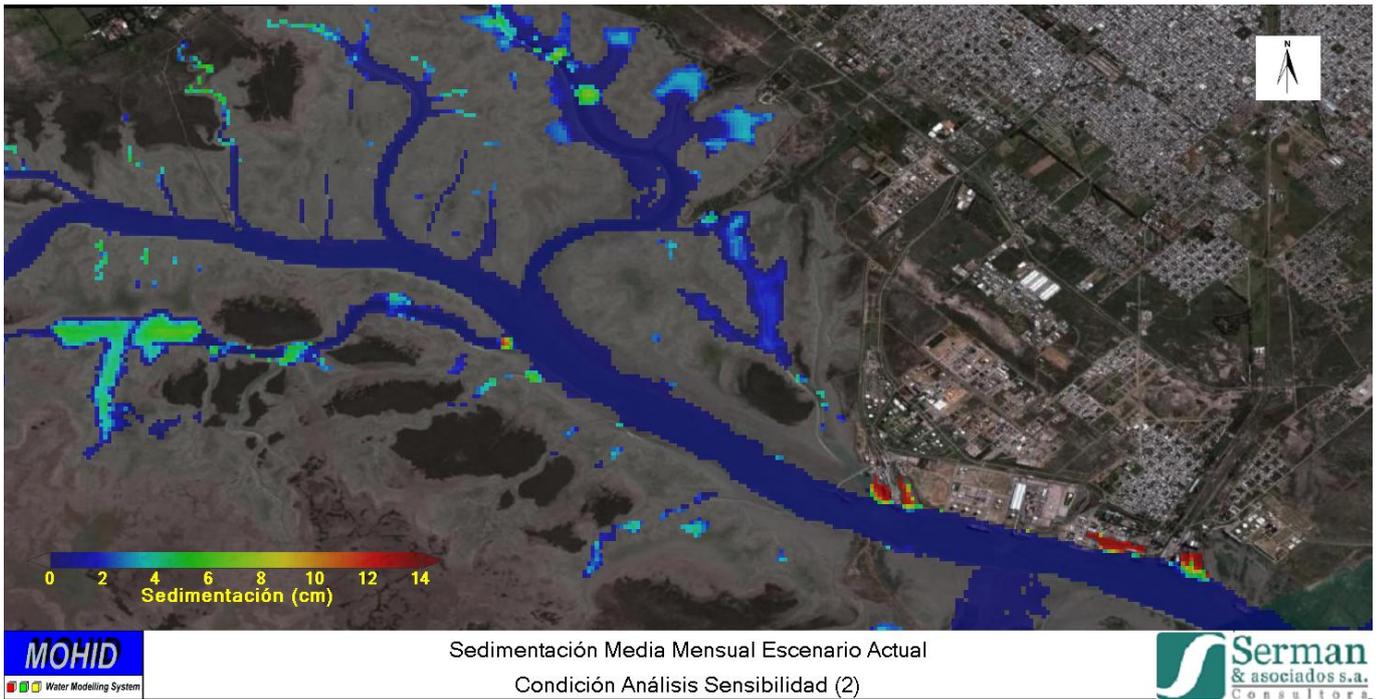


Figura 54. Sedimentación media Mensual para la Condición de Análisis de Sensibilidad a la Tasa de Erosión en el Escenario Actual

2.3.3 Modelación Sedimentológica de la Condición con Obras

La condición con obras implica, como se mencionó anteriormente, dos tipos de modificaciones en la batimetría actual del canal principal y la topografía del área intermareal cercana. Una corresponde al dragado del canal natural existente desde el Oeste de puerto Galván hasta el puerto de Cuatros, como muestra en la Figura 55, y la otra es el refulado en dos sectores sobre la margen Norte del mismo tramo de canal

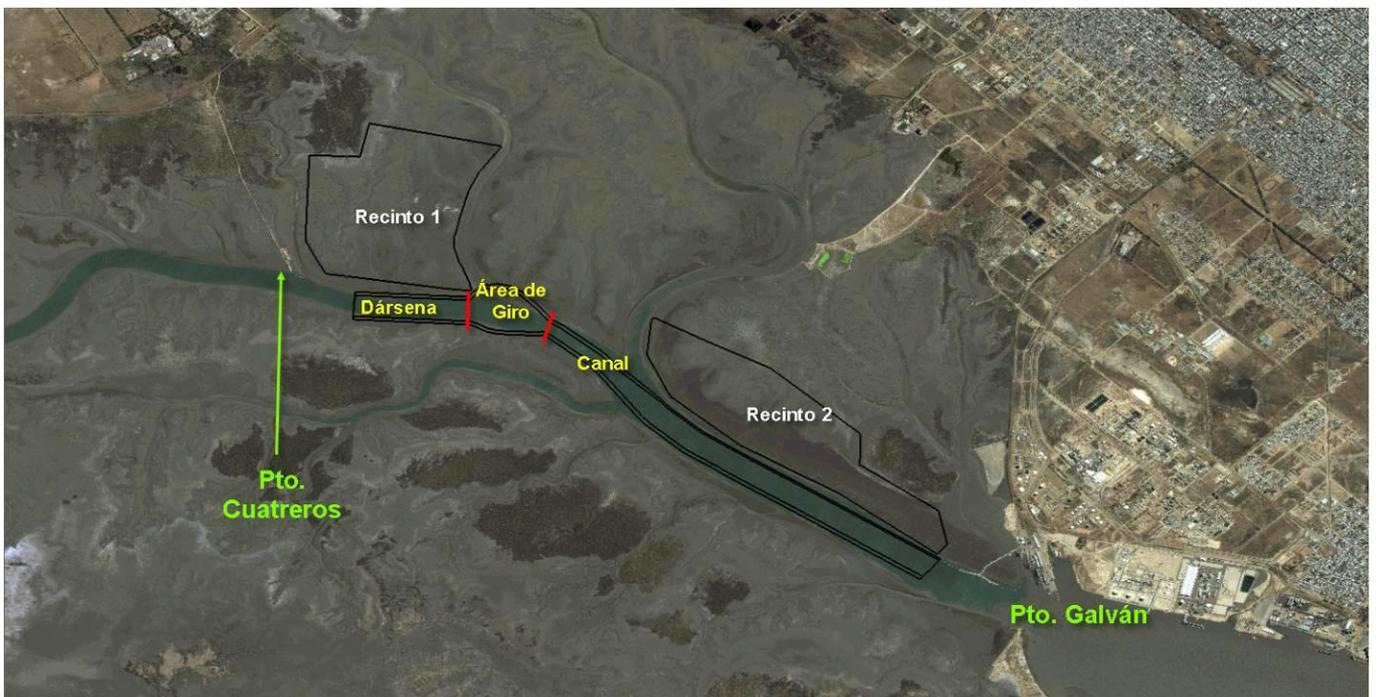


Figura 55. Ubicación de las obras a realizarse.

Utilizando la batimetría de base referida al Cero IGN, se profundizó el canal llevando la cota del lecho a 16,2 m, según lo especificado. Para lograr la continuidad en el canal y representar la situación de dragado completo, fue necesario excavar también el fondo del canal, a 16,2 m IGN en el sector que actualmente es dragado, al Este de Galván. Se representaron también las pendientes de los taludes y la dársena y área de Giro ubicadas al Este de Puerto Cuatrerros, como se puede observar en la Figura 56.

Se efectuó el mismo análisis de resultados realizado para el escenario actual, obteniéndose tasas de sedimentación media mensual que se encuentran graficadas en la Figura 57 y la Figura 58.

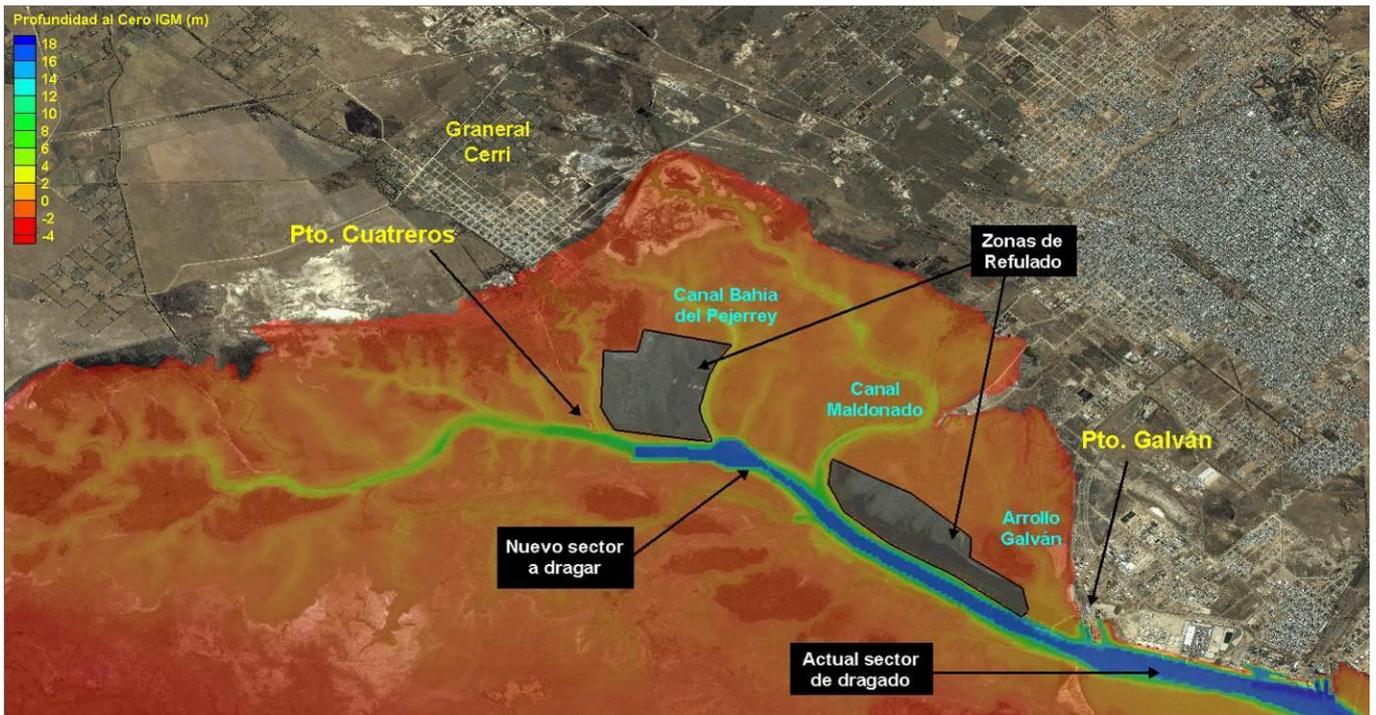


Figura 56. Topografía utilizada para la simulación con Obras.

La Tabla 7 presenta los espesores medios máximos mensuales y los volúmenes medios anuales para el escenario con obras para las tres condiciones de simulación (Base y dos análisis de sensibilidad).

Se subdividió el Canal de Acceso en dos tramos, uno de los cuales se desarrolla entre el inicio del área dragada al Oeste de Puerto Galván y una sección ubicada 700 m al Este del Arroyo Maldonado (el cual prácticamente no presenta sedimentación salvo una leve deposición al pie de la margen norte) y otro tramo a continuación de unos 2 km de longitud, ubicado más hacia el Oeste del primero, el cual finaliza en el inicio del Área de Giro. Asimismo, se consideró en forma diferenciada el Área de Giro y la Dársena de Atraque que está ubicada al Oeste de la misma.

Tabla 7. Espesores máximos mensuales y volúmenes medios anuales calculados en las zonas de deposición.

Lugar de Dragado	Espesor medio máximo mensual (cm)			Volumen medio anual (m ³)		
	Base	Sensibilidad (1)	Sensibilidad (2)	Base	Sensibilidad (1)	Sensibilidad (2)
Canal de Acceso (tramo de 2 km al Este del Área de Giro)	6	5	5	80.300	15.700	12.400
Área de Giro	13	12	13	389.900	360.000	376.900
Dársena	12	12	12	376.400	344.100	366.800
Total				846.600	719.800	756.100

El espesor medio mensual máximo depositado en la dársena de giro es aproximadamente de 13 cm, mientras que en el tramo Oeste del canal se reduce a 6 cm por mes.

El análisis de sensibilidad estima un 1 cm menos de espesor máximo depositado para el tramo Oeste, si bien el volumen de mantenimiento cae drásticamente a un 15/20% del valor Base. Ello ocurre porque este sector está en el límite del equilibrio en cuanto a las tasas de erosión y deposición en un ciclo de mareas, por lo que resulta muy sensible a las variaciones de los parámetros de tensión de corte y tasa de erosión asumidos. El punto de máxima sedimentación en el canal es adyacente al área de Giro.

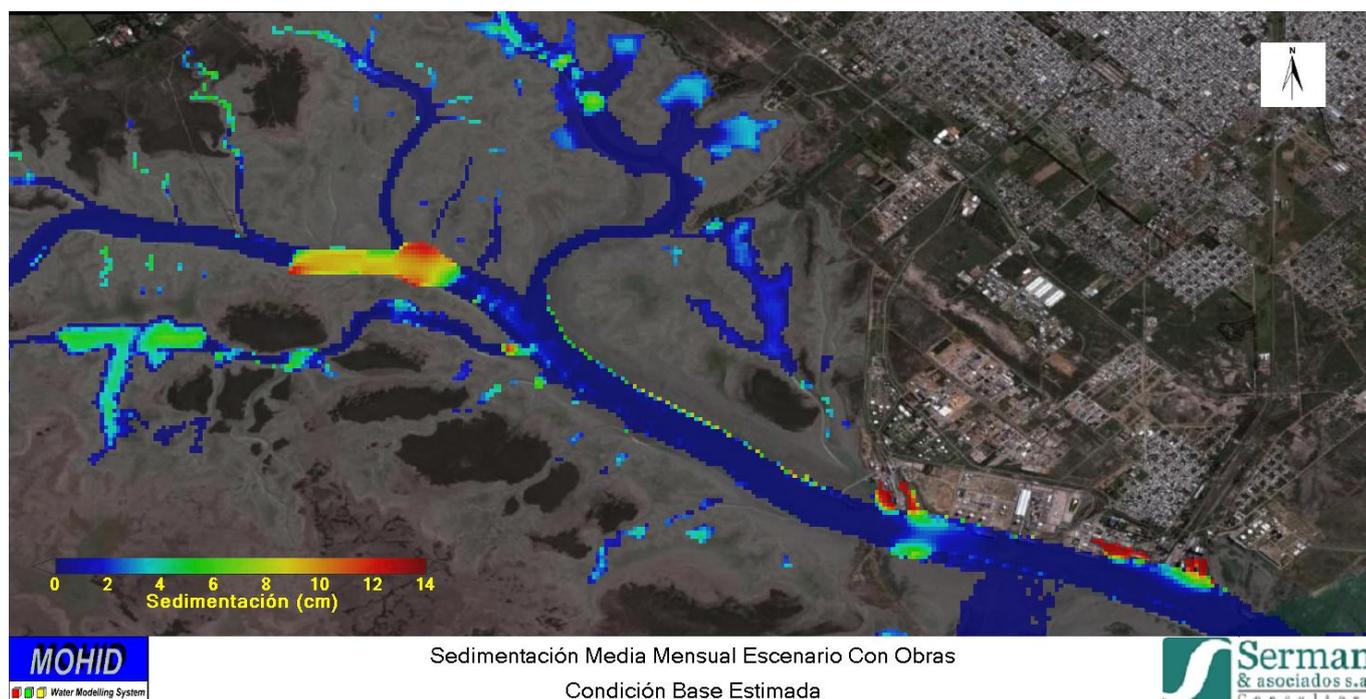


Figura 57. Sedimentación media Mensual para la Condición de Base Estimada en el Escenario con Obras

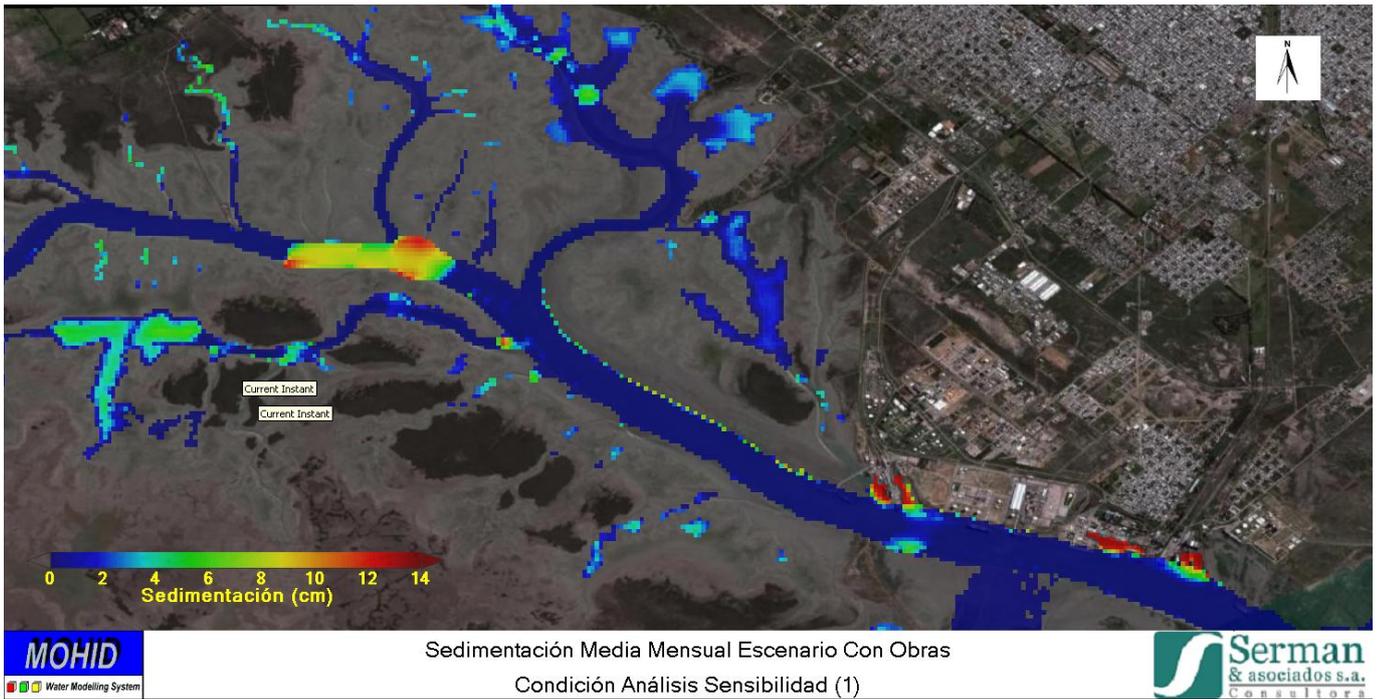


Figura 58. Sedimentación media Mensual para la condición de Análisis de Sensibilidad a la Tensión de Corte en el Escenario con Obras

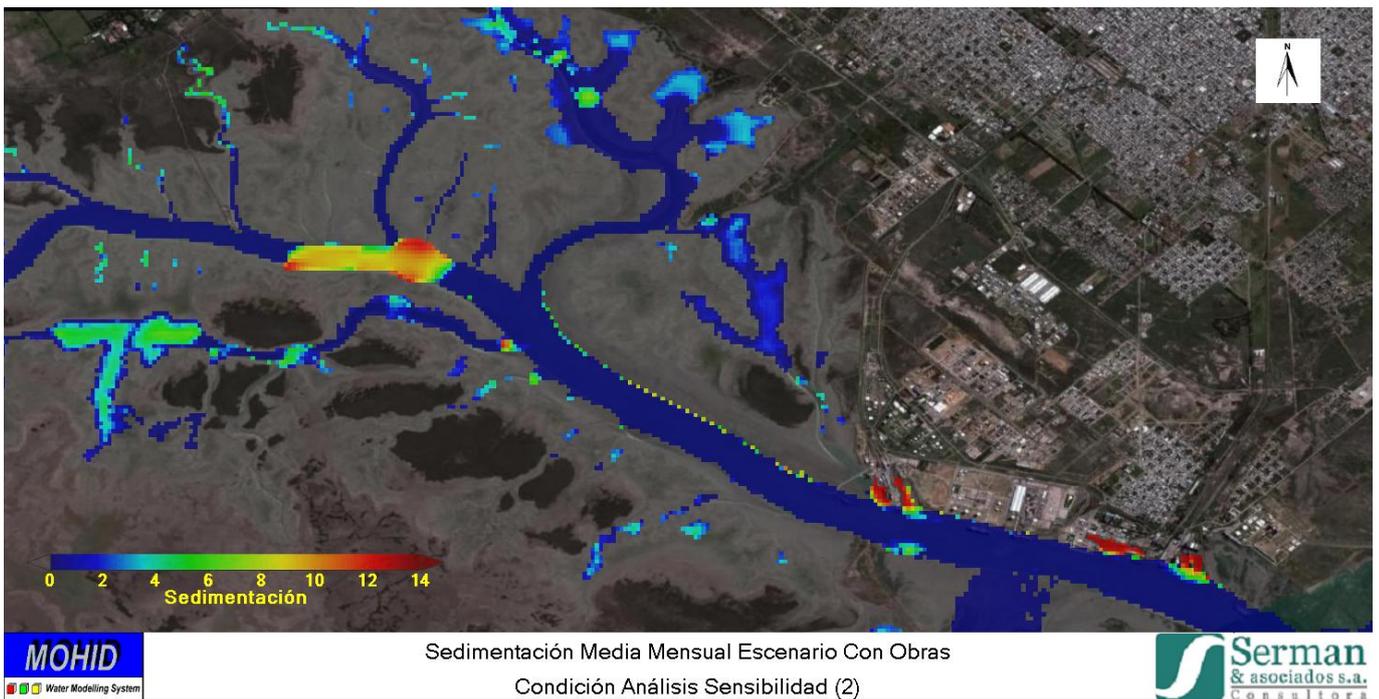


Figura 59. Sedimentación media Mensual para la condición de Análisis de Sensibilidad a la Tasa de Erosión en el Escenario con Obras

En cambio, las variaciones que se producen en los volúmenes de sedimentación para el área de Giro y la dársena de atraque en las diferentes simulaciones de sensibilidad son menores, manteniéndose en todos los casos el orden de magnitud de los mismos.

Puede observarse en las imágenes que el aumento en la deposición del material en los sectores que actualmente son dragados es en general leve, con algunas excepciones, tal como se puede apreciar cuantitativamente en la Tabla 8.

Una de las áreas proporcionalmente más afectada, si bien sigue teniendo una sedimentación relativamente baja, es la correspondiente al sector Sur del área de Giro de Puerto Galván, donde el volumen depositado prácticamente se duplica, según consideremos la condición base o el análisis de sensibilidad.

Ello se debe, al descenso de velocidades (que produce una reducción de las fracciones de tiempo en que hay erosión), provocado por un lado, por la profundización de la propia área de Giro en consonancia con la profundización del Canal al Este de Puerto Galván, y por el otro, por la reducción en el volumen de intercambio dado por el prisma de mareas existente al Oeste de Puerto Galván, debido a la presencia de los recintos de refulado que ocupan una fracción de la superficie que en las condiciones actuales se inunda, y que permanecerá en seco en el futuro.

En su conjunto, el incremento global de necesidad de mantenimiento en las áreas portuarias actuales, debido a las obras, sería del orden del 16%.

Tabla 8. Espesores máximos mensuales y volúmenes medios anuales calculados en las zonas de deposición, para las condiciones: actual y con obras.

Lugar de Dragado	Espesor medio máximo mensual (cm)						Volumen medio anual (m ³)					
	Sedimentación Actual			Sedimentación Obras			Sedimentación Actual			Sedimentación Obras		
	Base	Sensibilidad (1)	Sensibilidad (2)	Base	Sensibilidad (1)	Sensibilidad (2)	Base	Sensibilidad (1)	Sensibilidad (2)	Base	Sensibilidad (1)	Sensibilidad (2)
Servicios Generales y Elevador Central	13	13	13	13	13	13	81.800	78.300	80.600	84.400	81.200	83.700
Sitio 9	7	6	6	6	5	7	22.100	11.900	6.900	30.700	18.900	13.600
Muelle Cargill	6	4	5	6	5	5	8.000	2.600	2.500	12.900	5.400	3.300
Cargas generales, Alto nivel y su acceso	13	13	13	13	13	13	91.200	88.900	89.900	91.700	89.500	90.400
Galván - Sitio 5 a 9 (Dársena Este)	13	13	13	13	13	13	65.600	59.400	58.700	77.900	71.900	71.300
Galván- Sitio 1 a 4 (Dársena Oeste)	13	13	13	13	13	13	68.000	63.900	65.300	75.000	67.800	71.600
Área giro Galván Sur	4	3	2	7	6	7	16.900	6.400	1.200	38.500	27.900	23.100
Total	----	----	----	----	----	----	353.600	311.400	305.100	411.100	362.600	357.000
Incremento debido a las Obras	----	----	----	----	----	----	----	----	----	16%	16%	17%

2.4 CONCLUSIONES SOBRE EL IMPACTO HIDROSEDIMENTOLÓGICO DE LAS OBRAS DE DRAGADO Y CREACIÓN DE RECINTOS DE REFULADO

2.4.1 Introducción

A continuación se resumen las principales conclusiones alcanzadas en el presente trabajo, cuyo objeto fue la ejecución de un estudio de sedimentación del canal navegable, dársena de atraque y zona de giro a ser dragados en el tramo que va desde la Posta de inflamables en Puerto Galván hasta las cercanías del muelle de Puerto Cuatros en inmediaciones de la localidad de Gral. Cerri.

Los aspectos a analizar son dos, el impacto sedimentológico de la presencia de las obras (canalización, zona de giro y dársena) sobre el medio, y por otro lado, el impacto del medio sobre las nuevas obras, que se traduce en la sedimentación que se produce en las áreas profundizadas para el proyecto bajo análisis.

En cuanto al impacto de las obras sobre el medio, se puede subdividir el mismo en las modificaciones que influyen en el mantenimiento de las profundidades náuticas en las actuales áreas portuarias y el canal mediante acciones de dragado, y en el impacto de la presencia de las obras sobre el resto del ambiente de la zona interior del estuario, el cual se traduce en modificaciones hidráulicas y sus correspondientes afectaciones sedimentológicas.

2.4.2 Impactos Hidrodinámicos de las Obras

La combinación de las obras de dragado de apertura al Oeste de Puerto Galván, más las obras de dragado de profundización del tramo del canal al Este de Puerto Galván, producen los siguientes efectos:

- Sobre los niveles de agua:

El nivel máximo de agua (pleamar), típicamente se incrementa en 1 a 3 centímetros al Oeste de Puerto Galván. Este efecto es un resultado esperable de la obstrucción de parte de la planicie debido a los recintos de refulado, y de una leve aceleración de la onda de crecida en el canal dragado.

El nivel medio en cambio casi no se incrementa (sólo muy puntualmente en un sitio con flujo levemente obstruido por el recintos ubicado más al oeste), mientras que el nivel para un mismo instante medio del ciclo de mareas se reduce de forma más significativa en todo el tramo dragado al Oeste de Puerto Galván, y muy especialmente en la zona de Puerto Cuatros donde alcanza a disminuir unos 30 cm, situación que se propaga hacia el Oeste abarcando la red de cauces interior. Ello se debe a la gran ampliación de la sección media de escurrimiento y al ligero desfase que se introduce en la propagación de la onda de marea.

En bajamar por otro lado, la reducción del nivel a la altura de Puerto Cuatros es inferior (unos 3-4 cm), mientras que en la zona al Este de Puerto Galván se produce también una ligera reducción, probablemente por el descenso de la cota de fondo.

- Sobre las velocidades de la corriente:

En creciente (flujo), las velocidades de la corriente se incrementan muy levemente sólo en algunos sitios localizados, cercanos al recinto Oeste. En la mayor parte del canal dragado al Oeste de Puerto Galván, las velocidades descienden entre 10 y 30 cm/s con respecto a la situación actual, siendo especialmente significativa su reducción en la dársena de Giro y atraque cercana a Puerto Cuatros, donde alcanza a unos 40 cm/s, con lo cual desciende de unos 60/70 cm/s (situación actual) a unos 20/30 cm/s.

En bajante, se produce un incremento más intenso de la velocidad de la corriente al Oeste de Puerto Cuatros (entre 5 y 20 cm/s en forma localizada) y al Norte del canal entre Galván y Cuatros (donde se incrementa unos 10 a 20 cm/s en los espacios de conducción que quedan libres adyacentes a los recintos y que desaguan el área ubicada más al Norte).

Se produce en cambio un significativo descenso de la velocidad en las zonas dragadas del nuevo canal (de entre 20 y 40 cm/s), y especialmente en la dársena, donde la misma se reduce fuertemente en 50/60 cm/s, descendiendo de unos 90/100 cm/s actuales a unos 30/40 cm/s de magnitud.

Ello se debe a que el volumen de agua que escurrirá por el canal en cada semiciclo de bajante y de creciente, responde aproximadamente al mismo prisma de mareas que se produce en la actualidad (si bien se encontrará algo reducido por la presencia de los recintos), por lo que el caudal que debe ser conducido por el canal será similar al actual (ligeramente inferior), mientras que la sección del cauce se verá fuertemente ampliada. Lógicamente, las velocidades tienden a reducirse al incrementarse el área de conducción del canal.

En la zona del canal actual a ser profundizado, se producirá una ligera disminución de la velocidad de la corriente (unos 10/15 cm/s), la cual se debe principalmente al propio dragado de profundización (el cual también incrementa el área de conducción, aunque menos significativamente que en el dragado de apertura), además de la influencia secundaria de la menor superficie del prisma de mareas del estuario debida a la presencia de los recintos.

2.4.3 Impactos Sedimentológicos de las Obras sobre el Medio**- Sobre las áreas portuarias y de navegación actuales**

La construcción por dragado de las áreas portuarias y acceso náutico definidas para el presente proyecto, no provoca un aumento significativo de la sedimentación en las áreas portuarias y zonas navegables actualmente mantenidas por el CGPBB, si bien se ha registrado un incremento moderado que se encuentra en el orden del 16%, en parte debido a la profundización del canal y área de Giro correspondiente al tramo desde Puerto Galván al Oeste.

Dada la variabilidad interanual de las tasas de sedimentación, es poco probable que ese incremento sea detectado en la práctica, salvo en sectores marginales donde la sedimentación hoy en día es leve y podría incrementarse en forma relativamente significativa, tales como el área de Giro de Galván.

No obstante, es importante tener en cuenta, que el incremento de sedimentación no sólo se debe a la construcción de las áreas de refulado en el marco del proyecto analizado (las cuales reducen el área de la planicie intermareal que participa en el “prisma de mareas” y por lo tanto reducen los caudales – y las velocidades – en el área del canal actual, tal como se explicó previamente), sino también a la profundización del propio canal existente, a 13,5 m respecto del cero de mareas más 30 cm de sobredragado, lo cual amplía la sección del cauce, contribuyendo a reducir las velocidades de la corriente, y por ende a aumentar, si bien ligeramente, la tasa de sedimentación. Si bien la magnitud del incremento de la sedimentación en las zonas marginalmente afectadas es difícil de predecir con precisión, se entiende que dentro del rango de variabilidad natural, los porcentajes indicados son representativos del impacto que producirá el proyecto.

- **Sobre el ambiente en el entorno de las obras**

En cuanto al impacto de las obras sobre el resto del ambiente, no surgen de la modelación elementos que sugieran modificaciones sensibles en las tasas de sedimentación o erosión, más allá de algunos sitios puntuales.

En efecto, las variaciones de los niveles de agua en la planicie intermareal son muy leves (del orden de pocos centímetros), y únicamente deberá tenerse en consideración en la definición final de la geometría de los recintos, que los mismos no obstruyan vías de escurrimiento naturales ni aislen zonas bajas sin darles un adecuado drenaje, lo cual puede lograrse con una zanja de guardia perimetral.

Las variaciones de las velocidades del flujo más importantes se producen en las propias áreas dragadas, afectando solamente el entorno de la planicie inmediato del canal (en una banda que típicamente tiene unos 100/200 metros de ancho a cada lado), donde se producen en general reducciones de su magnitud.

En cambio, en las vías de escurrimiento adyacentes a los recintos, donde se concentra el flujo de intercambio intermareal (tales como el Canal Maldonado), y en el sector ubicado al Oeste de la nueva dársena de Puerto Cuatrerros, se producen incrementos de velocidad del orden de 10 a 20 cm/s, particularmente en la bajante.

Estos incrementos de velocidad, potencialmente pueden provocar una profundización localizada de estos canales secundarios, en la medida en que los sedimentos presentes en el lecho sean erosionables. La erosión progresará solamente hasta alcanzar una sección cuyas dimensiones estén en equilibrio con la capacidad erosiva de los flujos conducidos. Teniendo en cuenta que los incrementos localizados de velocidad alcanzan del orden del 15% al 25% de la velocidad actual en estos canales la erosión será moderada y circunscripta a la zona afectada.

2.4.4 Impactos Sedimentológicos del Medio sobre las Obras

La sedimentación estimada en el nuevo canal dragado resulta muy poco significativa o directamente despreciable en el tramo comprendido entre Puerto Galván y una sección ubicada unos 700 m al Este del Canal Maldonado. Ello es similar a lo que sucede en el canal existente al Este de Puerto Galván.

En el tramo ubicado más al Oeste, de unos 2 km de extensión, la situación es diferente. Según el análisis efectuado, la sedimentación en este tramo podría variar entre unos 80 mil y 15 mil metros cúbicos por año, con espesores máximos de unos 6 cm, que se van incrementando desde un valor prácticamente nulo en la zona de la desembocadura del Canal Maldonado, hasta alcanzar su valor máximo en inmediaciones de la dársena de Giro.

Surge naturalmente la pregunta sobre la causa de la diferencia, siendo que las dimensiones del canal en el segundo tramo es menor que en el primero y que ambos están inmersos en un ambiente de similares características y con similares fuentes de sedimentos en suspensión.

La respuesta se encuentra en los conceptos vertidos en la Línea de Base Ambiental y en el párrafo 2.3 del presente capítulo, sobre el mecanismo de erosión del lecho, el cual se activa sólo cuando la tensión de corte de la corriente supera la tensión crítica de erosión. A medida que se avanza hacia el Oeste en el estuario, dada la práctica inexistencia de un flujo fluvial neto, el caudal de intercambio en los semiciclos de creciente y bajante que atraviesa cada sección del canal dragado, se va reduciendo a medida que van quedando atrás (hacia el Este) áreas cada vez mayores de planicie intermareal.

En consecuencia, el cauce del canal principal del estuario, que actualmente se halla en equilibrio con las velocidades actuales de la corriente, y que por eso es cada vez más estrecho hacia aguas arriba, al verse afectado en forma muy significativa por la ampliación de área de conducción que impone la presencia del canal de navegación dragado, ve reducidas sus velocidades en una magnitud importante (según se mostró en el párrafo 2.2), y por ende deja de ser “autolimpiante”, produciéndose progresivamente una acumulación de sedimentos, de manera similar a lo que sucede, por ejemplo, en el sector Sur del área de Giro de Puerto Galván.

Si bien la magnitud precisa de este fenómeno es difícil de conocer con exactitud, dado que depende de una serie de parámetros que nunca se han medido en forma sistemática en el estuario y que por lo tanto han sido estimados en forma indirecta por calibración del modelo representando la sedimentación en las zonas actualmente mantenidas por dragado, se considera sin embargo que los órdenes de magnitud del proceso de sedimentación se encuentran bien representados.

En el área de la dársena y zona de Giro al Este de Puerto Cuatros, la situación resulta más extrema, dado que el caudal del prisma de mareas resulta insuficiente como para mantener velocidades superiores a unos 20 a 35 cm/s según el sector, con lo cual solo en breves momentos del ciclo de mareas se estaría produciendo erosión de los materiales que se van depositando.

Por lo tanto, estas zonas básicamente actúan como decantadores, tal como lo hacen las dársenas internas entre Galván y Cuatros, y por tal motivo la estimación de la tasa de sedimentación máxima que se determina en algunos puntos de baja velocidad (cerca de los márgenes) es igual a la obtenida en estos sectores, de 12/13 cm/mes, valor que puede extrapolarse a aproximadamente 1,5 metros por año.

Sin embargo, como en otros sectores de las mismas áreas el flujo es más intenso, la sedimentación no es pareja y en la mayor parte del área la tasa de depósito oscila entre 7 y 9 cm mensuales.

Recuérdese que estos son valores medios sujetos a una variabilidad natural por factores climáticos, que presenta típicamente un rango del orden del 50%. Con estas consideraciones y salvedades no obstante, se puede apreciar que el volumen de sedimentación anual resultante, es del orden de 700 a 850 mil metros cúbicos.

Puede apreciarse que el volumen total anual promedio de sedimentos que se estima serán depositados en las zonas profundizadas para el presente proyecto, prácticamente duplica el volumen que en promedio es dragado anualmente en el sector entre Puerto Galván y Puerto Ing. White, incluyendo las dársenas internas.

Como consecuencia de este intenso proceso de sedimentación, si se deseara efectuar por ejemplo un dragado de mantenimiento semestral (tal como realiza hoy en día el CGPBB), se debería considerar un sobredragado "buffer" con un valor equivalente por ejemplo a unos 13 cm x 7 meses (para tener un margen de tiempo) x 1,3 (factor climático probable) = 1,2 metros (unos 4 pies).

Ello implica que el sobredragado previsto en fondos duros debería en la dársena y área de giro, debería alcanzar un orden de 1,2 m, lo cual, para una superficie de 70 Ha (incluyendo taludes), implica entre 800 y 900 mil metros cúbicos. Un análisis más detallado podría contemplar un sobredragado diferencial según la tasa de sedimentación prevista por sector, pero se debe tener en cuenta también que al sobredragar se amplía la sección del cauce, con lo cual la velocidad disminuye y la tasa de sedimentación aumenta, acercándose al valor máximo correspondiente a un sector donde no hay erosión.

2.5 DISPERSIÓN DE LAS PLUMAS DE SEDIMENTOS GENERADAS COMO CONSECUENCIA DE LAS OPERACIONES DE DRAGADO Y DISPOSICIÓN DEL MATERIAL

2.5.1 Parámetros de Descarga de Sedimentos desde los Vertederos de los Recintos de Refulado

Los parámetros de descarga empleados para la simulación de las plumas, han sido evaluados en función de las prácticas habituales de dragado en Bahía Blanca y en otras obras en las que se emplearon dragas de gran porte.

En Marzo de 2011 se abrió la Licitación para la profundización del Canal Interior de Acceso a los Puertos de Bahía Blanca, profundización, adecuación y ensanche de las áreas de Giro de Puerto Ingeniero White y Puerto Galván (con un volumen total de 5,5 millones de m³) y el mantenimiento de las condiciones de navegabilidad por 5 años. El material dragado con un equipo de succión con cortador para la profundización y ampliación, será empleado en la construcción de un relleno en cercanías de los sectores portuarios.

La metodología de dragado prevista en el EIA y aprobada por el OPDS de la Provincia de Buenos Aires, contempla disponer los recintos de refulado y los vertederos de tal manera que de los mismos salga agua con un porcentaje de material inferior al 10% de la columna medida. Conforme a la metodología aplicada por el CGPBB para controlar el efluente de los recintos, ello significa que luego de una breve decantación, la parte de la columna de agua con sedimentos no debe superar el 10% del total del recipiente (lo cual ocurre rápidamente dado que los sedimentos están floculados en ambiente de agua salada). Esta es una metodología práctica que se utiliza a fin de controlar rápidamente el flujo saliente de los recintos, y se ha estimado que la misma es representativa de una concentración de sedimentos finos del orden de 10 gr/L.

En este caso, el OPDS en su Declaración de que el proyecto es Ambientalmente Apto 4121/09 del 24/09/2009, no establece un límite de concentración en la descarga sino que solicita el establecimiento de niveles de turbidez de alerta y crítico en el medio receptor.

En la modelación del impacto de las plumas de descarga de los recintos efectuada, se consideró que el caudal de hidromezcla ingresante al recinto será de unos 3,8 m³/s (valor medio en 18 horas/día, horas útiles de una draga de gran porte en un día, para 125 horas semanales de operación), resultando un caudal medio diario de 2,8 m³/s. Este caudal se obtiene para una producción de Draga de 375.000 m³/semana o 1.500.000 m³/mes de sedimento in-situ (el cual representa el 22% de la hidromezcla bombeada), resultando una masa de sedimentos ingresante al recinto de 2,2 tn/s cuya concentración es de 580 gr/lit. Por otra parte, se consideró inicialmente que dentro del recinto la eficiencia de decantación sería del orden del 98%, por lo tanto el caudal de hidromezcla saliente será del orden de 2 m³/s con una concentración máxima de 10 gr/lit.

Como antecedente local, se puede citar el dragado para relleno de áreas portuarias en Bahía Blanca realizado en el año 1991, por parte de una draga de gran porte de la empresa estatal V/O Technotroyexport de la Unión Soviética, mediante la cual se profundizó el canal de acceso y se rellenaron los recintos que hoy en día son asiento de una amplia actividad portuaria en Bahía Blanca (ver figura siguiente).

Las tareas de profundización realizadas fueron las siguientes:

- Dragado de profundización del Canal Principal de acceso a la Base Naval Puerto Belgrano y del antepuerto y dársena de la citada Base Naval.
- Dragado de profundización del Canal de Vinculación entre Puerto Ingeniero White y Puerto Galván.
- Dragado de Profundización en la Zona de Posta de Inflamables de Puerto Galván.

Estos trabajos se concretaron entre los meses de enero y junio de 1991, extrayéndose un volumen de 5.640.000 m³ de material. Con estas obras se posibilitó la navegación con buques de 45 pies de calado aprovechando las condiciones de marea imperantes en la zona. Como resultado de esa acción, se generaron 120 hectáreas de suelo firme, sobre las que las empresas Profertil SA y Cía. Mega SA, desarrollaron sus emprendimientos.

De acuerdo a lo informado por los responsables de dragado del CGPBB, en dicha oportunidad se estableció la metodología de control del material que sale de los recintos, dado que resultaba muy crítico limitar la concentración descargada, dada la cercanía de las zonas portuarias de Galván y White al área de refulado.

La metodología aplicada fue la misma que la previamente citada para la licitación convocada en marzo de 2001, por lo que se estima que la concentración de descarga también fue del orden de 10 gr/lit.



Figura 60. Recintos de refulado creados en el año 1991

2.5.2 Descarga al Oeste de Puerto Galván

Se simuló una descarga típica del recinto ubicado al Oeste de Puerto Galván, muy cercana al canal principal (como si existiera un canal angosto o una tubería que transportara el material desde el vertedero de descarga hasta el canal), obteniéndose los resultados que se presentan a continuación.

La Tabla 9 resume los instantes de representación seleccionados y los números de las figuras correspondientes a cada uno de ellos.

Tabla 9. Instantes de representación de las plumas de descarga al Oeste de Puerto Galván

Nombre	Número de Figura
Pleamar (PM)	Figura 61
Marea bajante (PM + 3hs)	Figura 62
Bajamar (BM)	Figura 63
Marea creciente (BM + 3hs)	Figura 64
Marea creciente (BM + 4hs)	Figura 65
Marea creciente (BM + 5hs)	Figura 66
Pleamar (PM)	Figura 67
Marea bajante (PM + 3hs)	Figura 68
Bajamar (BM)	Figura 69

Durante pleamar (Figura 61) se puede observar, que los sedimentos en suspensión fueron arrastrados por la marea en dirección Oeste, llegando hasta Puerto Cuatrerros e ingresando en canales secundarios. La concentración de estos sedimentos es baja, del orden de los 50 mg/l y bien dispersa a lo largo de todo el canal principal y los canales secundarios.

Tres horas después de pleamar (Figura 62) se puede observar una baja concentración de sedimentos en suspensión moviéndose en dirección Este desde el punto de descarga. Los sedimentos pasan a la altura de Puerto Galván sin ingresar en las dársenas. También se observa un arrastre de sedimentos depositados previamente en las ramas secundarias superiores. En todo momento se mantiene en suspensión una concentración máxima del orden de 50 mg/l.

Durante bajamar (Figura 63), se puede observar que los sedimentos en suspensión son arrastrados en dirección Este. La concentración de sedimentos en suspensión se mantiene por debajo de los 50 mg/l.

Tres horas después de bajamar (Figura 64), la marea creciente arrastra los sedimentos hacia el Oeste desde el punto de descarga. Se puede observar una concentración de sedimentos en suspensión del orden de 100 mg/l en el canal principal.

Una hora más tarde (Figura 65), se puede observar cómo se han dispersado los sedimentos en el canal principal. Transcurridas las 5hs (Figura 66) desde bajamar los sedimentos en suspensión comienzan a ingresar en la red de cauces secundarios al Norte.

La pleamar (Figura 67) nos muestra la dispersión de los sedimentos a lo largo del canal principal y de los canales secundarios, llegando hasta Puerto Cuatrerros. La concentración de sedimentos no supera los 50 mg/l.

La nueva marea bajante (Figura 68) resuspende y arrastra los sedimentos depositados en los bordes de los canales secundarios al Norte. Se puede observar que los sedimentos se transportan hacia el Este desde los canales secundarios en el Norte pasando por Puerto Galván y a lo largo del canal principal.

Al sucederse una nueva bajamar (Figura 69) sólo se observa la descarga y el arrastre de sedimentos desde ella hacia el Este. Esta pluma se dispersa hasta la altura de Puerto Galván con una concentración promedio de 50 mg/l, con un máximo del orden de 200 mg/l en el punto de descarga.

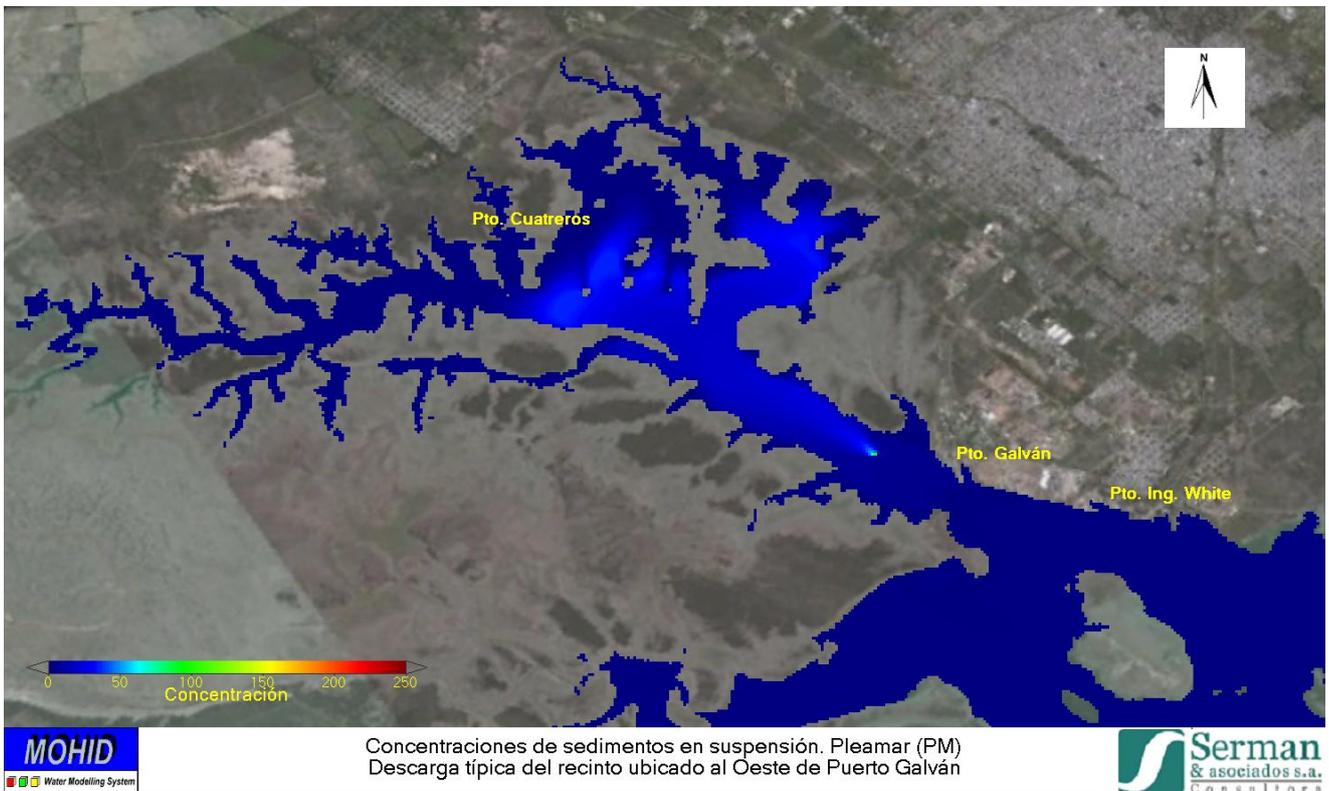


Figura 61. Pluma de sedimentos típica en Pleamar (PM)

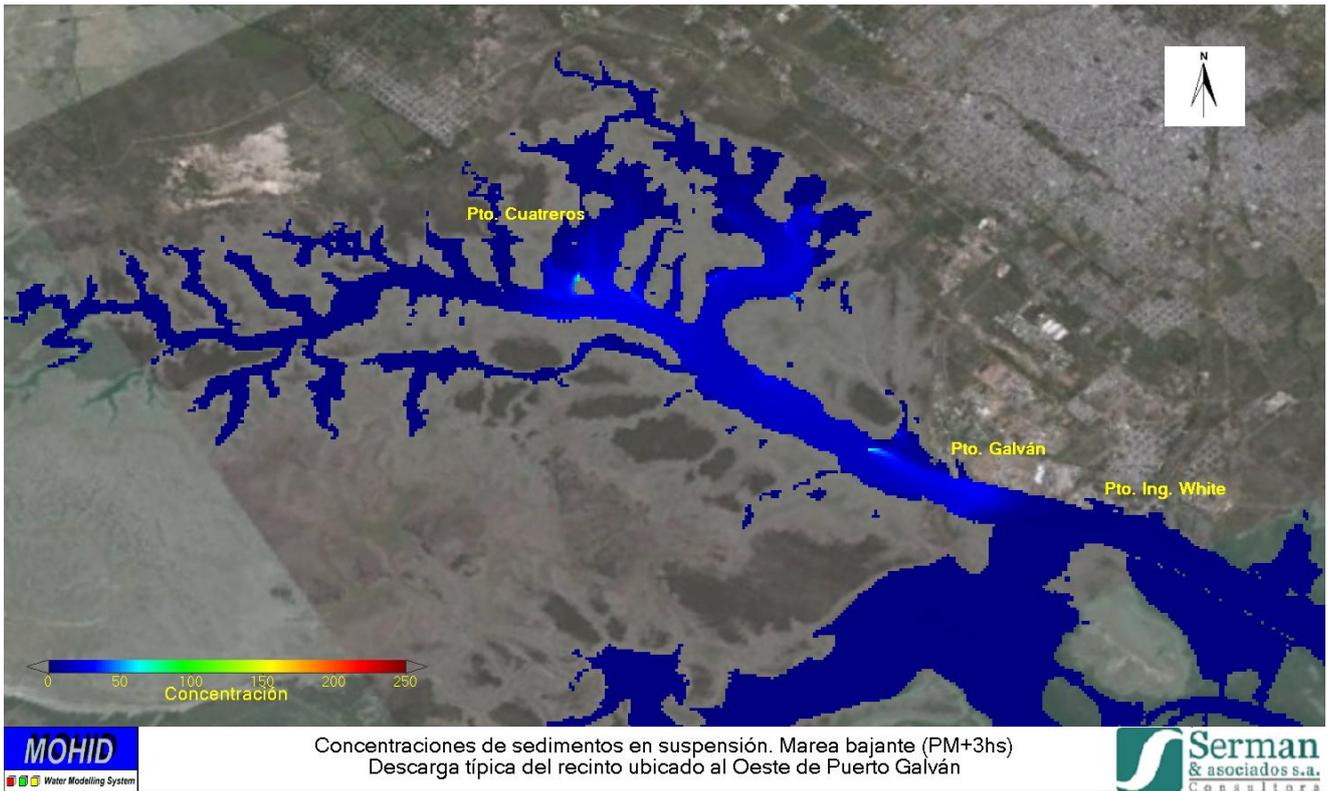


Figura 62. Pluma de sedimentos típica en Marea Bajante (PM + 3hs)

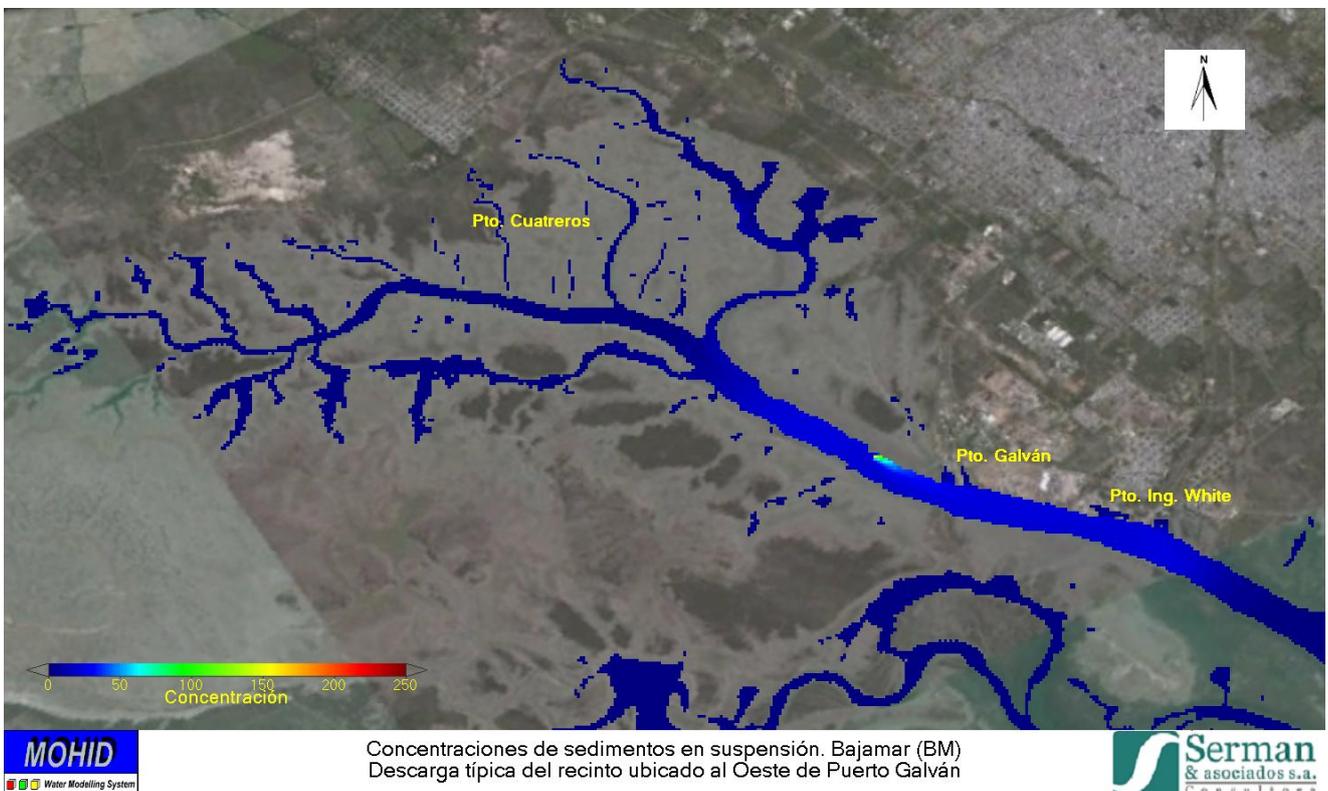


Figura 63. Pluma de sedimentos típica en Bajamar (BM)

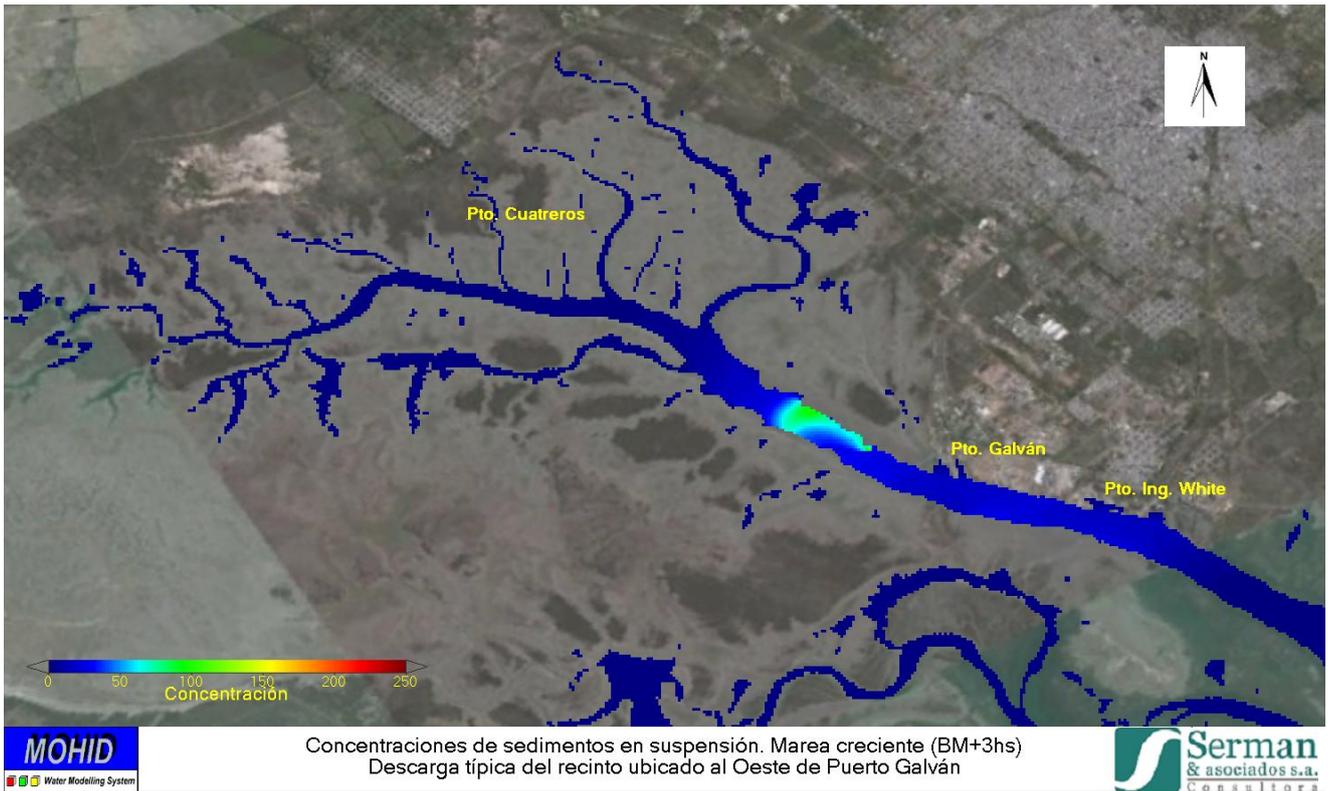


Figura 64. Pluma de sedimentos típica en Marea Creciente (BM + 3hs)

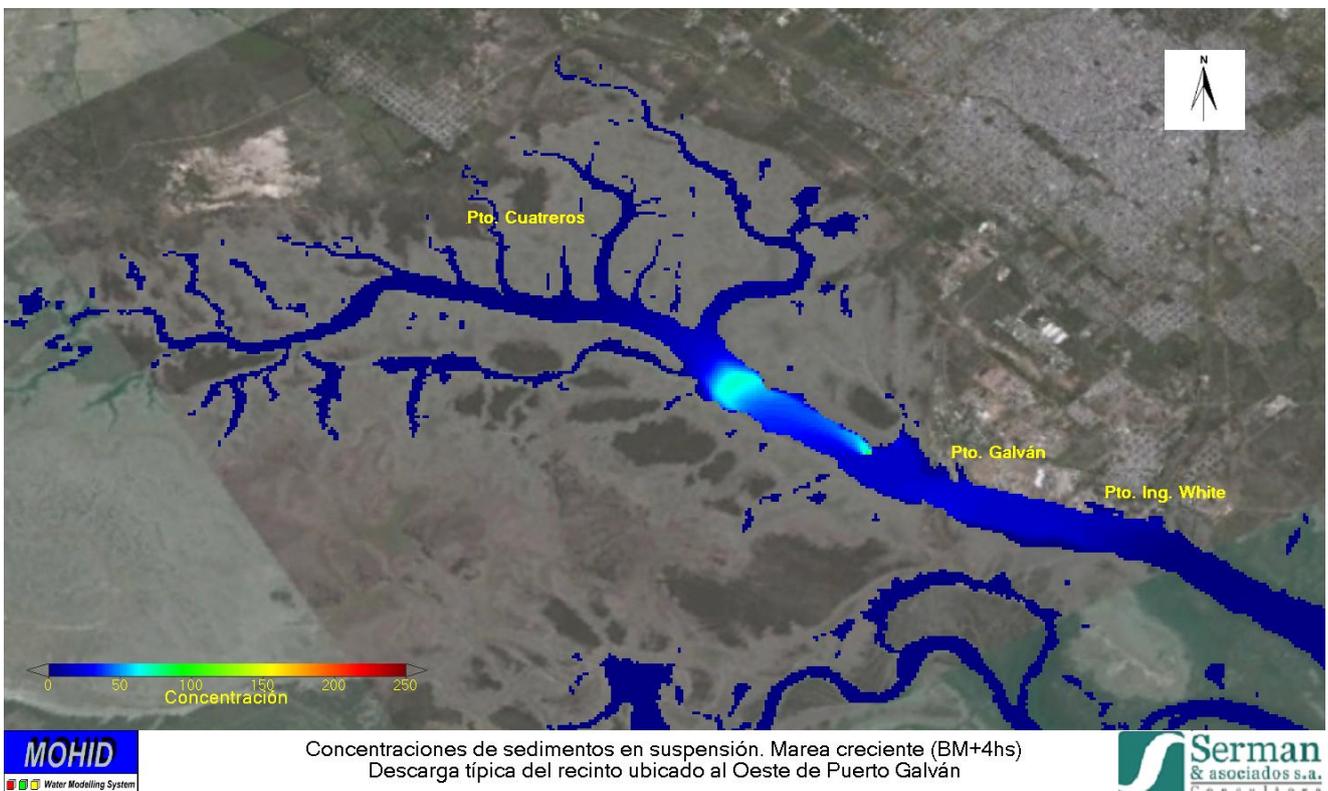


Figura 65. Pluma de sedimentos típica en Marea Creciente (BM + 4hs)

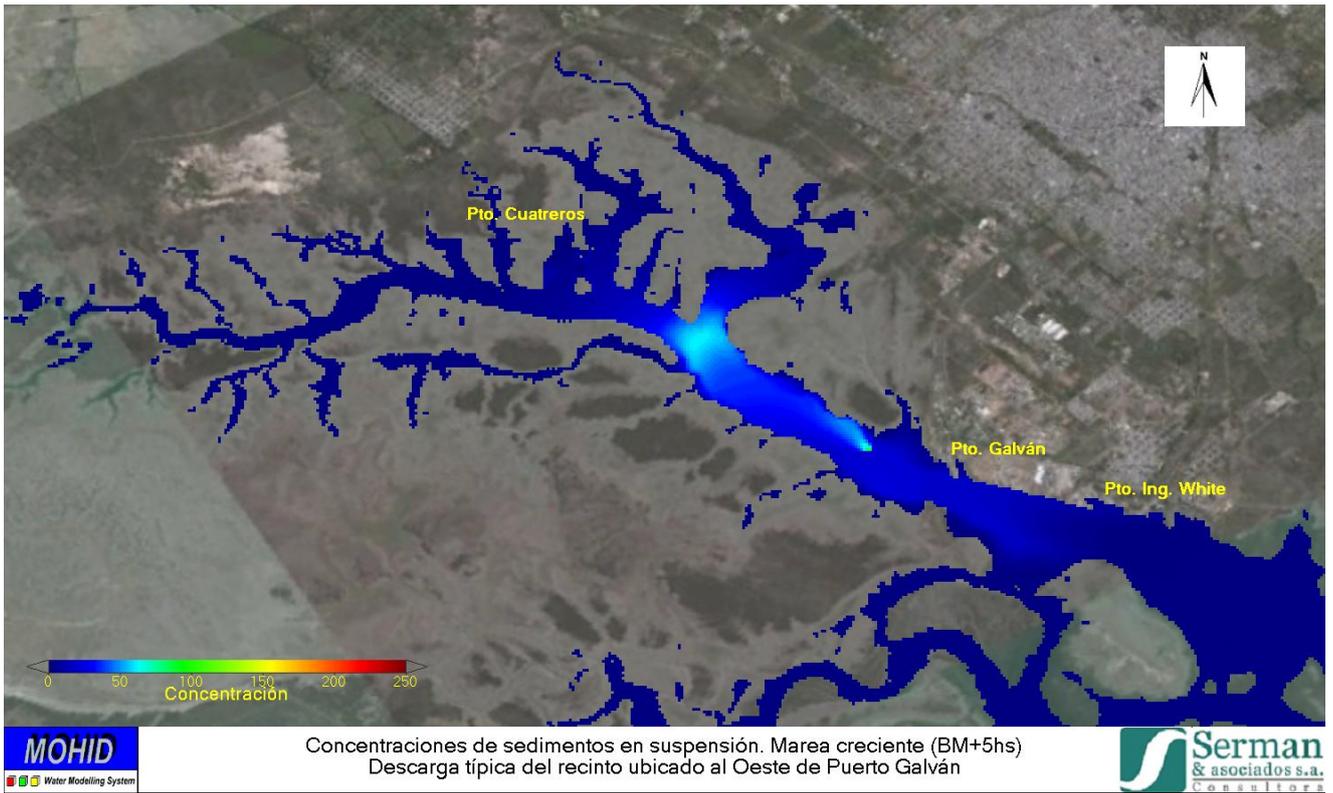


Figura 66. Pluma de sedimentos típica en Marea Creciente (BM + 5hs)

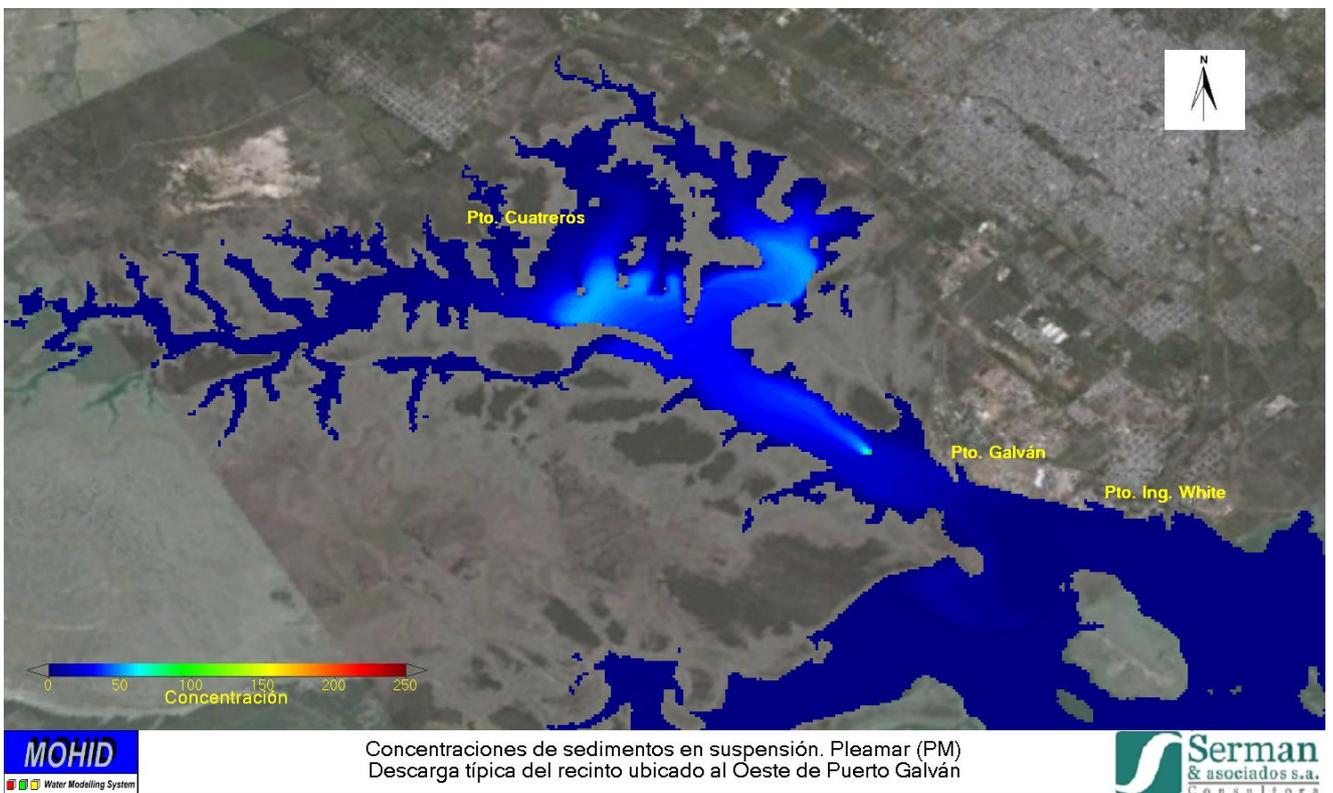


Figura 67. Pluma de sedimentos típica en Pleamar (PM)

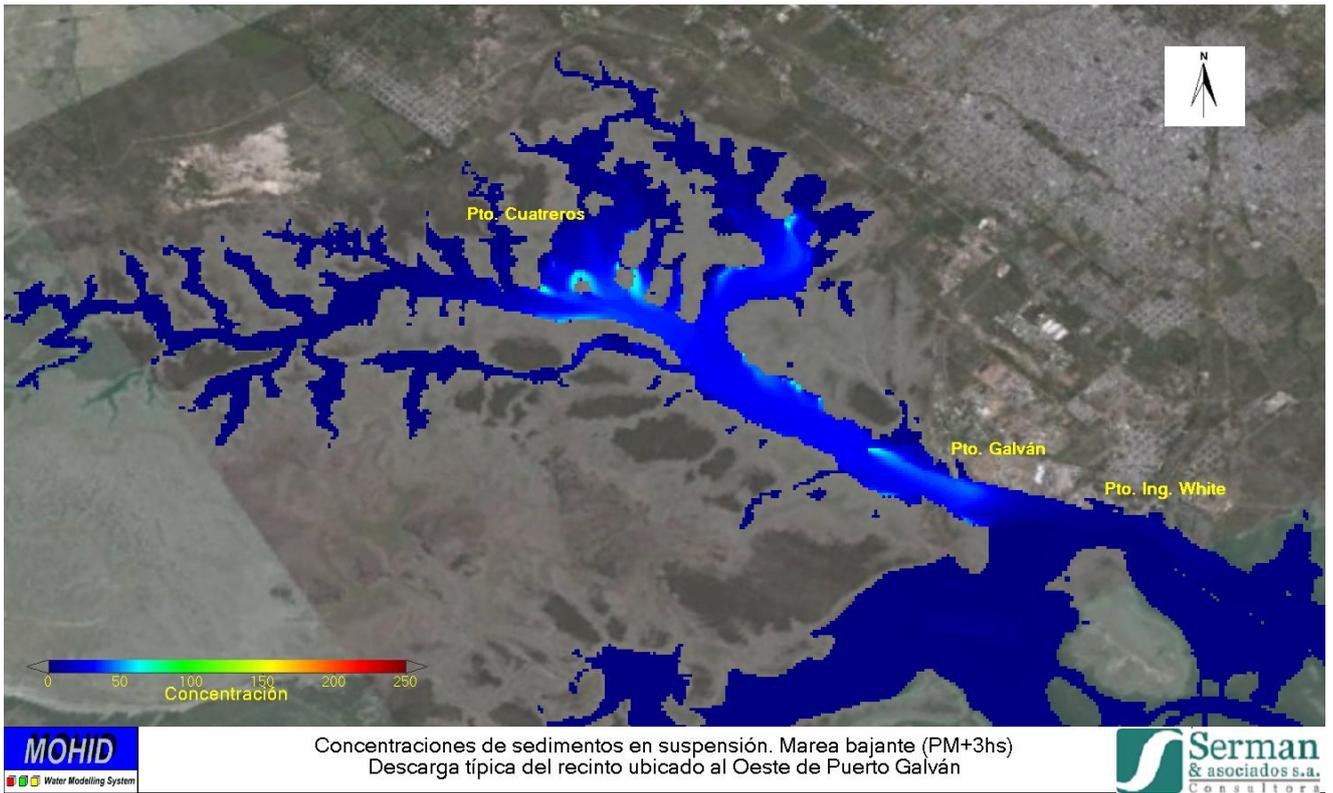


Figura 68. Pluma de sedimentos típica en Marea Bajante (PM + 3 hs)

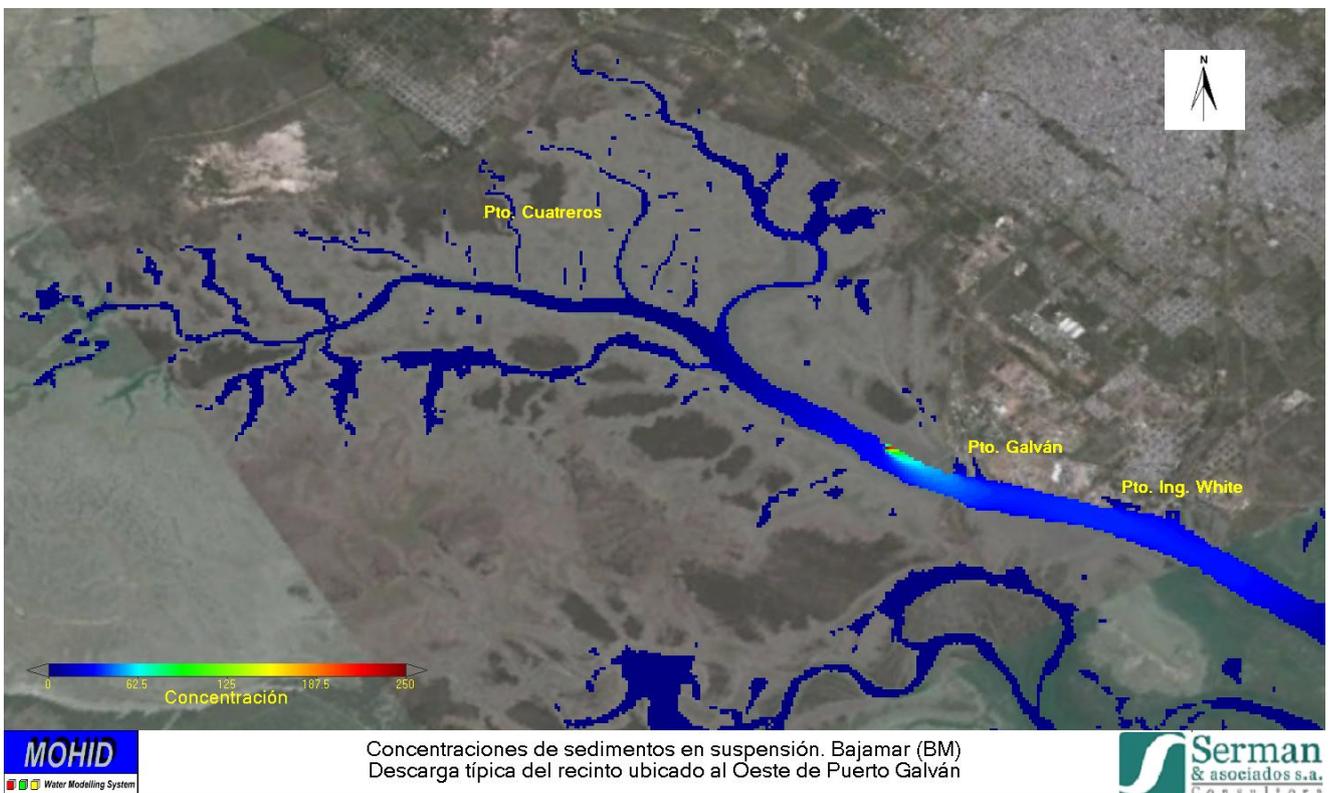


Figura 69. Pluma de sedimentos típica en Bajamar (BM)

2.5.3 Descarga al Este de Puerto Cuatrerros

Se simuló una descarga típica del recinto ubicado al Este de Puerto Cuatrerros, obteniéndose los resultados que se presentan a continuación.

La Tabla 10 resume los instantes de representación seleccionados y los números de las figuras correspondientes a cada uno de ellos.

Tabla 10. Instantes de representación de las plumas de descarga en inmediaciones de Puerto Cuatrerros

Nombre	Número de Figura
Pleamar (PM)	Figura 70
Marea bajante (PM + 3hs)	Figura 71
Bajamar (BM)	Figura 72
Marea creciente (BM + 3hs)	Figura 73
Marea creciente (BM + 5hs)	Figura 74
Pleamar (PM)	Figura 75
Marea bajante (PM + 3hs)	Figura 76

Durante la pleamar (Figura 70), los sedimentos son arrastrados sobre los canales secundarios que se encuentran al Noroeste de Pto. Cuatrerros, con una concentración promedio del orden de 150 mg/l y valores máximos del orden de 200 mg/l.

Al bajar la marea (Figura 71) los sedimentos son arrastrados en dirección Este por el canal principal. Se observa concentración de sedimentos hacia ambos lados del punto de descarga debida a la propia descarga y al regreso del material que fue arrastrado previamente en dirección Noroeste por la marea creciente en la red de canales secundarios. La concentración de sedimentos posee algunos máximos de 400 mg/l en los márgenes de los canales secundarios donde se está provocando erosión del material depositado en el período de estoa al bajar el nivel de agua, pero mantiene un valor promedio de 150 mg/l.

En bajamar (Figura 72), los sedimentos son arrastrados en dirección Este, dispersándose en todo el canal principal con una concentración promedio de 100 mg/l. La pluma de sedimentos llega hasta Pto. Galván con una concentración del orden de 50 mg/l.

Al subir la marea (Figura 73) los sedimentos se desplazan hacia el Oeste de Puerto Cuatrerros, con una concentración típica del orden de 200 mg/l, y valores máximos de concentración del orden de 300 mg/l en el punto de descarga. Dos horas más tarde (Figura 74) los sedimentos comienzan a dispersarse por los canales secundarios, en dirección Norte y Oeste, alejándose de Puerto Cuatrerros. La concentración promedio en la pluma es del orden de 150 mg/l, con valores máximos del orden 250 mg/l en la zona Noreste de Pto Cuatrerros.

Durante otra pleamar (Figura 75), observamos una pluma de sedimentos dispersa hacia el Oeste de Pto. Cuatrerros, sobre el canal principal, con valores de concentración típicos de 100 mg/l y hacia el Norte de Pto. Cuatrerros con una concentración típica de 180 mg/l, internándose en canales secundarios.

Al bajar la marea (Figura 76), de igual forma que antes, los sedimentos en suspensión son arrastrados en dirección Este. Nuevamente se observan sedimentos tanto al Este como al Oeste del punto de descarga con valores de concentración que promedian los 100 mg/l sobre el canal principal. Se observa una pluma de sedimentos con una concentración de 400 mg/l de valor máximo situada al Norte de Pto. Cuatrerros, sobre canales secundarios, proveniente de gran parte de la descarga que es dispersada hacia esa zona durante la marea creciente, se deposita durante la estoa de Pleamar cuando las velocidades se reducen, y se está erosionando en la bajante cuando las velocidades se incrementan en forma importante al descender la profundidad sobre la planicie que se está secando.

En otra bajamar (Figura 77), se observa tal como se describió previamente el arrastre de sedimentos en dirección Este, llegando a la altura de Pto. Galván. La concentración de sedimentos tiene nuevamente un valor del orden de 100 mg/l en promedio, a lo largo de todo el canal principal sobre el cual se dispersa la pluma. El valor máximo se presenta localizadamente en el punto de descarga con un valor del orden de 400 mg/l.

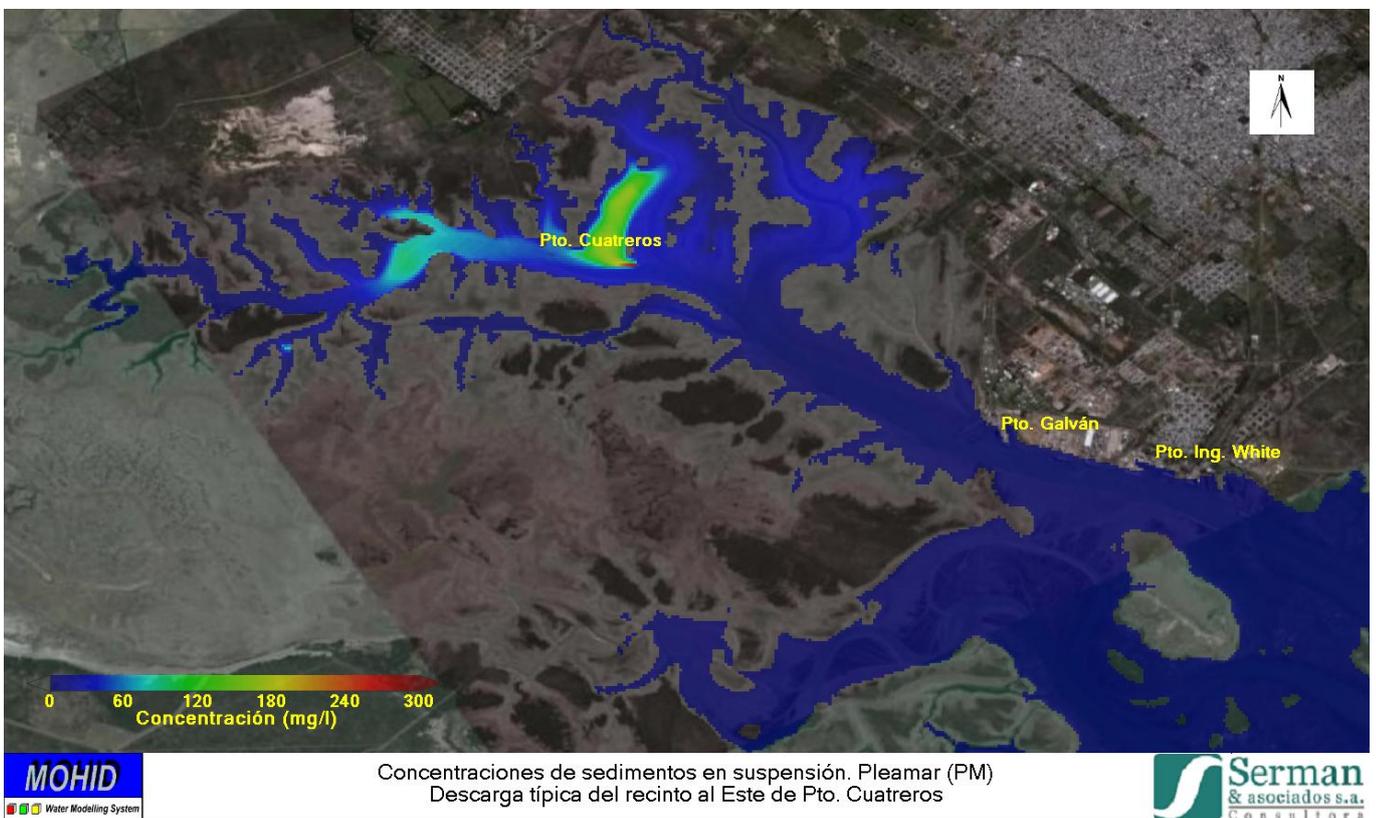


Figura 70. Pluma de sedimentos típica en Pleamar (PM)

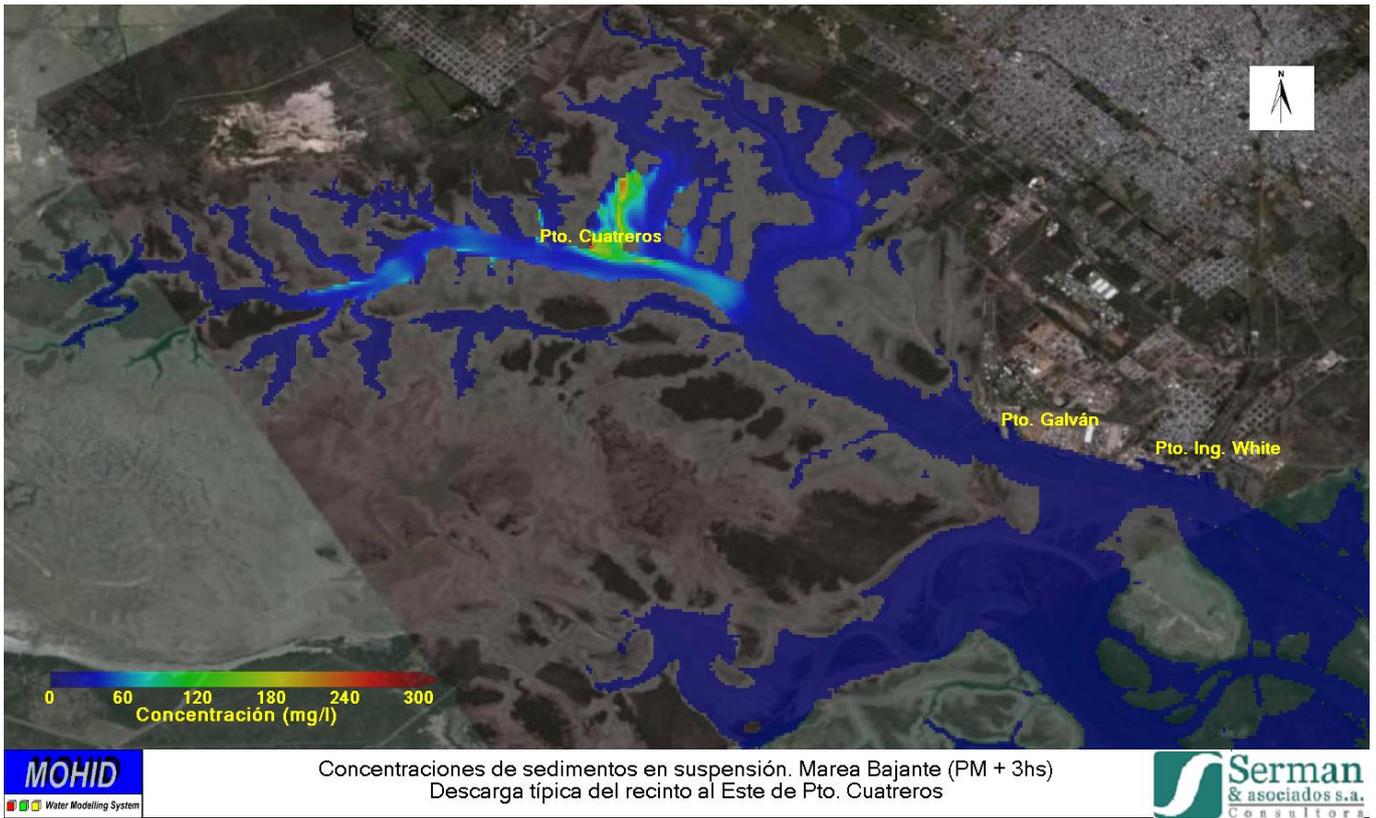


Figura 71. Pluma de sedimentos típica en Marea Bajante (PM + 3hs)

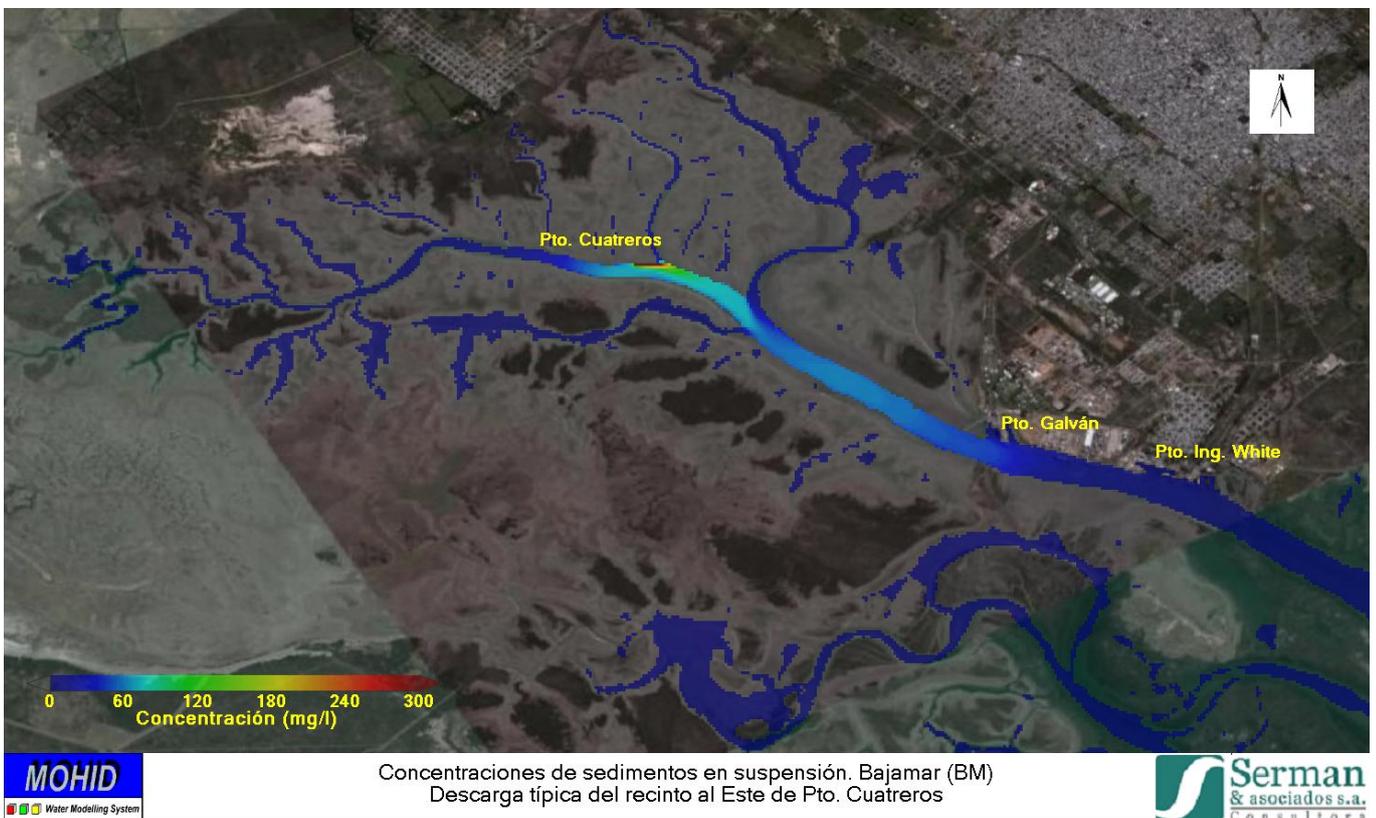


Figura 72. Pluma de sedimentos típica en Bajamar (BM)

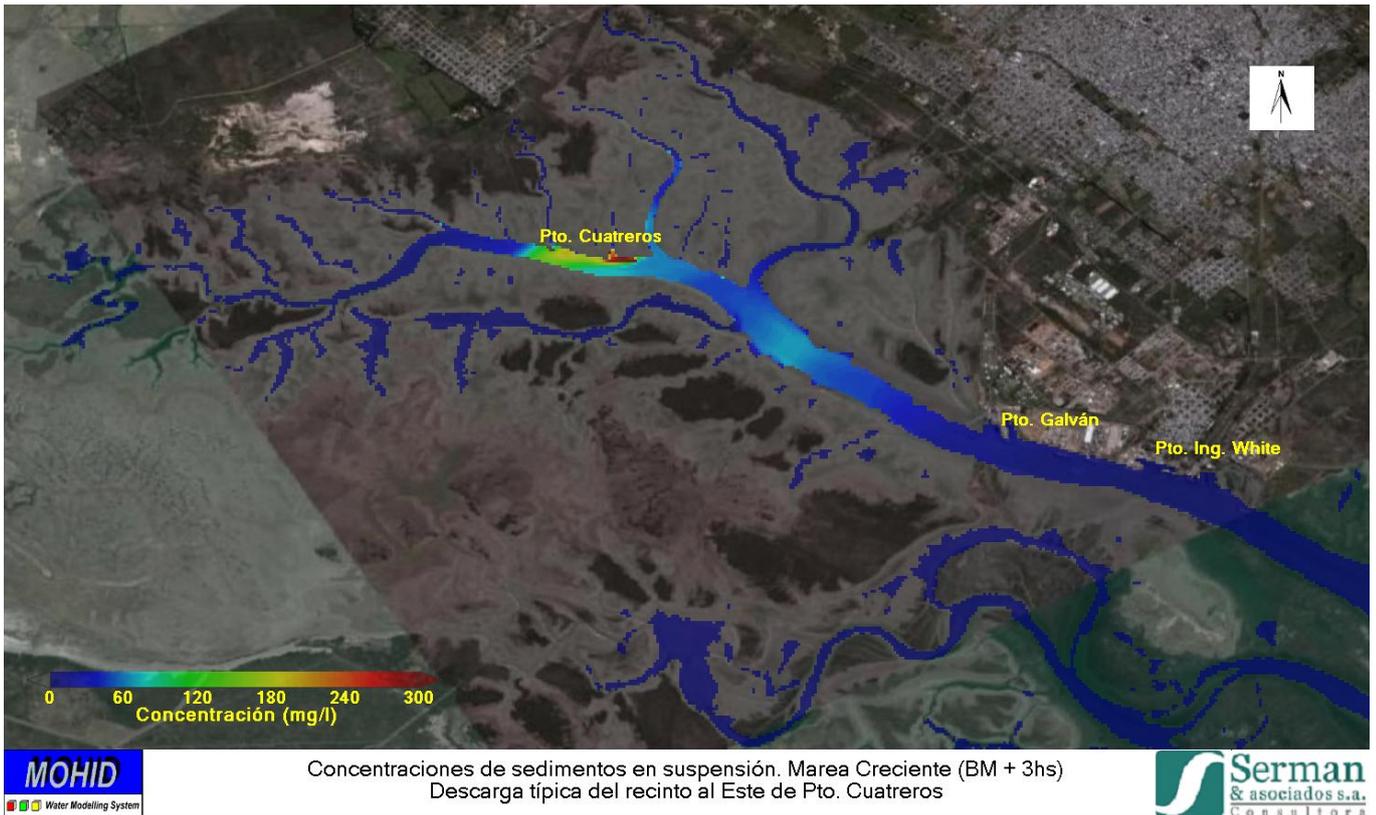


Figura 73. Pluma de sedimentos típica en Marea Creciente (BM + 3hs)

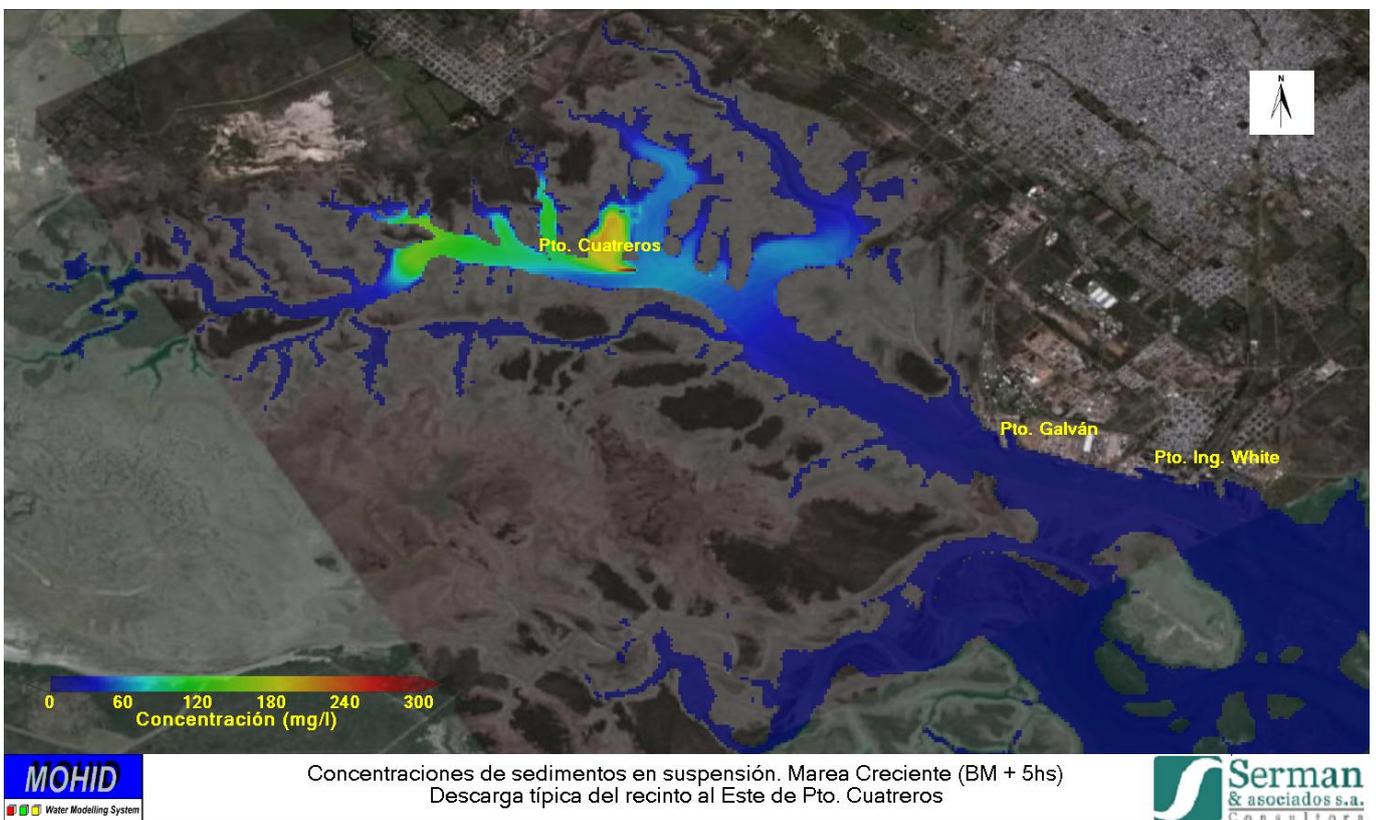


Figura 74. Pluma de sedimentos típica en Marea Creciente (BM + 5hs)

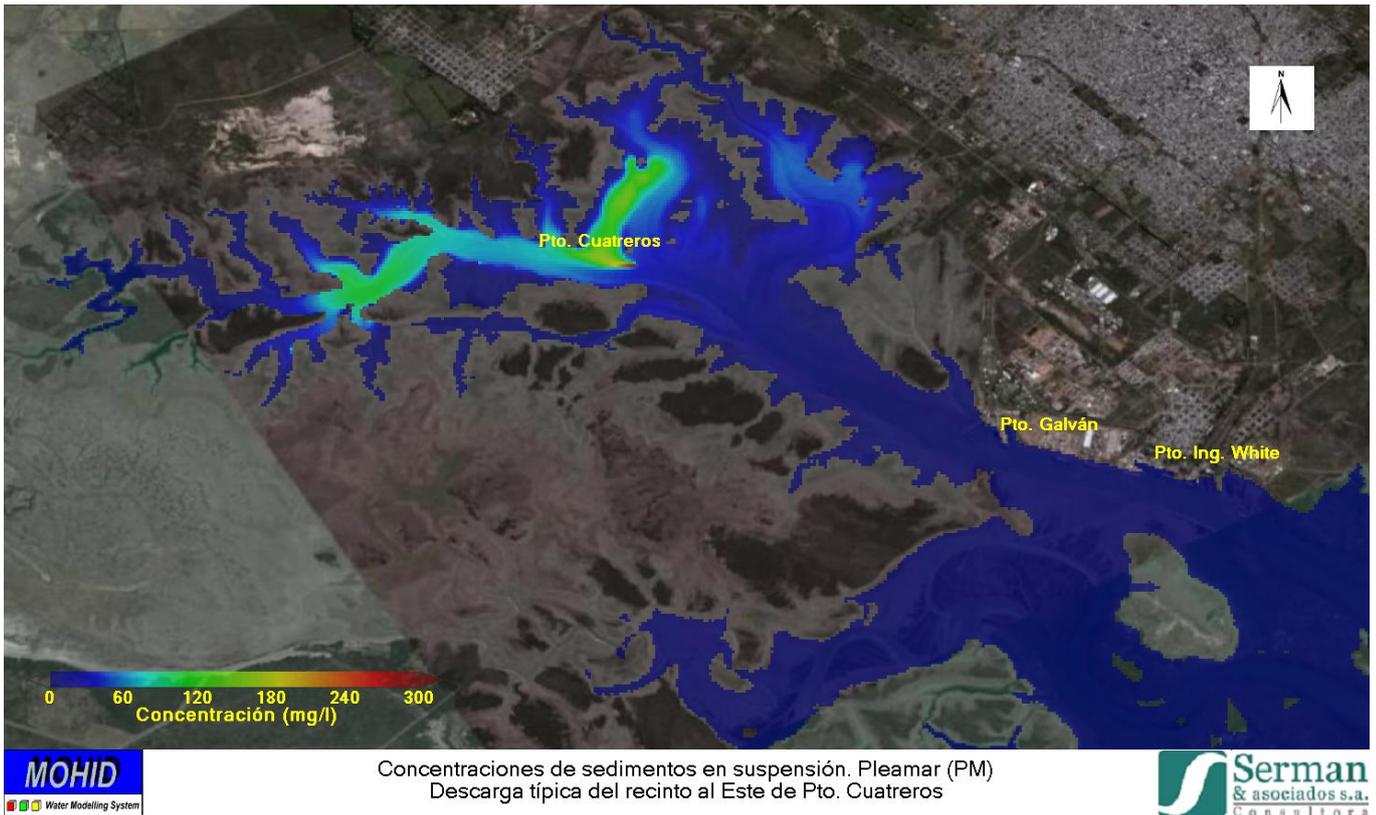


Figura 75. Pluma de sedimentos típica en en Pleamar (PM)

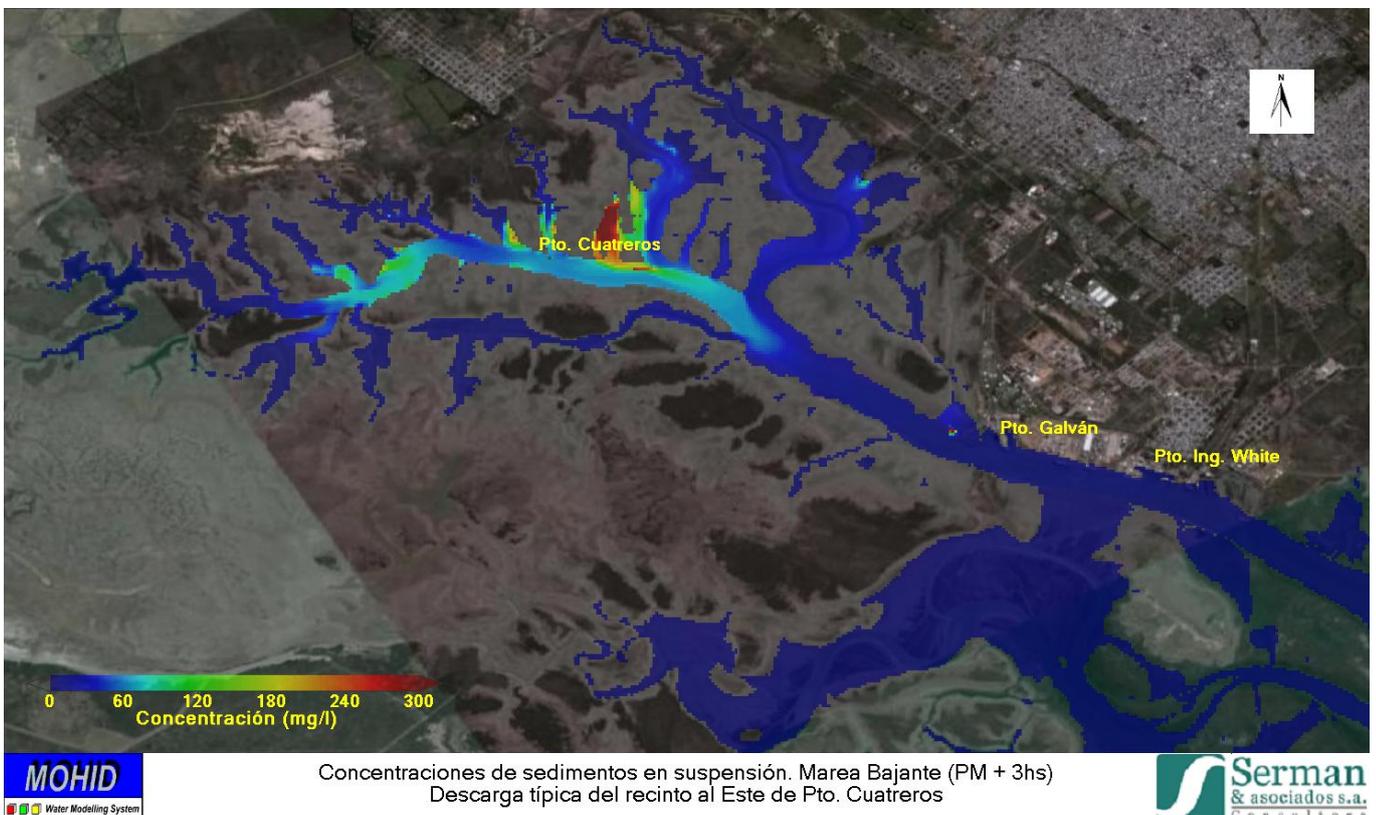


Figura 76. Pluma de sedimentos típica en Marea Bajante (PM + 3hs)

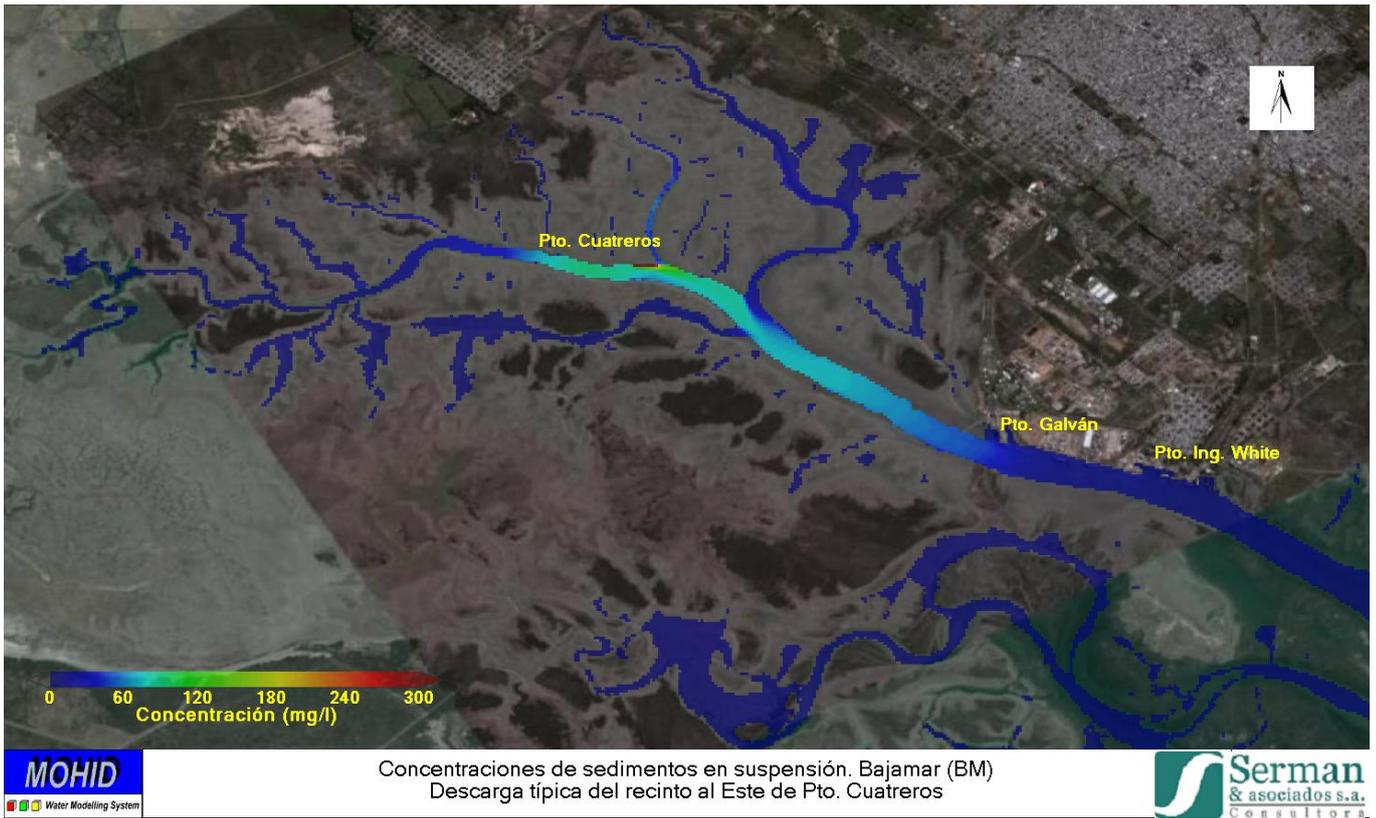


Figura 77. Pluma de sedimentos típica en Bajamar (BM)

2.6 IMPACTO DE LAS PLUMAS DE SEDIMENTOS VERTIDOS SOBRE LA SEDIMENTACIÓN EN LAS ÁREAS PORTUARIAS ACTUALES

Se realizó un análisis de la deposición de sedimentos en determinadas zonas de interés, de los puertos Galván e Ing. White, debida a las diferentes descargas. Los valores están expresados en forma de tasas mensuales de trabajo continuo en cada sitio, por lo que deben incrementarse en cada caso en forma proporcional a la duración de la descarga correspondiente.

La Tabla 11 muestra los resultados de espesor máximo mensual y el volumen medio mensual y en la Figura 78 se muestran los puntos de descarga y las zonas de deposición de sedimentos analizadas según la Tabla 11. Debido a su baja significancia y a la variabilidad esperable en función de diferentes condiciones hidrodinámicas y climáticas, los valores promedio mensual indicados se han redondeado al milímetro en cuanto a espesores máximos mensuales y al centenar de metros cúbicos en cuanto a los volúmenes depositados (valores inferiores a 50 m³/mes se indican como cero).

Tabla 11. Incrementos probables en la sedimentación debido a la deposición de sedimentos de la pluma

Sitio afectado	Espesor medio máximo mensual (mm)		Volumen medio mensual (m ³)	
	Descarga		Descarga	
	Al Oeste de Galván	Al Este de Cuatros	Al Oeste de Galván	Al Este de Cuatros
Servicios Generales y Elevador Central	4	0	200	0
Sitio 9	3	0	100	0
Muelle Cargill	2	0	0	0
Cargas generales, Alto nivel y su acceso	5	0	200	0
Galván - Sitio 5 a 9 (Dársena Este)	7	<1	200	100
Galván- Sitio 1 a 4 (Dársena Oeste)	10	<1	300	100
Área giro Galván Sur	3	0	100	0
Total			1100	200

En general, el volumen medio de sedimentos depositados decrecerá a medida que el punto de descarga se aleja de las zonas estudiadas en los Puertos. Galván e Ing. White.

Se puede observar que la dársena Oeste de Pto. Galván es la zona en la que existe mayor deposición de material mensualmente. Mientras que “Sitio 9”, “Muelle Cargill” y “Área de giro Galván Sur” son las zonas de menor volumen medio de deposición mensual adicional.

Estos valores son tan bajos en comparación con los niveles de sedimentación actuales (estimados en base a los volúmenes de dragado de mantenimiento), que serán prácticamente indistinguibles de la situación natural (sin dragado).

A continuación se describen los resultados obtenidos para cada descarga modelada.

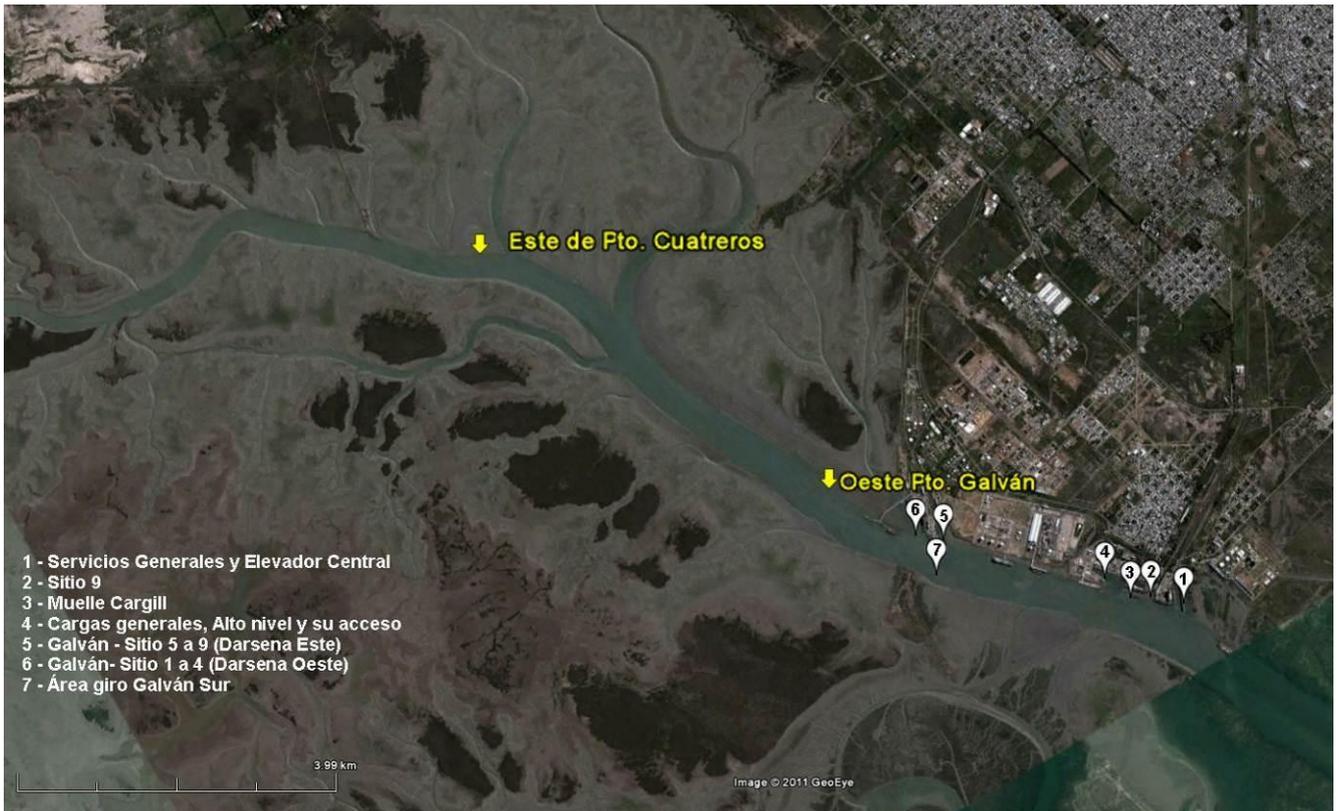


Figura 78. Puntos de descarga (amarillo) y zonas de deposición de sedimentos.

2.6.1 Descarga al Oeste de Puerto Galván

La Dársena Oeste de Pto. Galván es la que relativamente está más afectada por la deposición de material, lo cual se explica porque es la más cercana al sector de descarga.

La posición de la descarga en este caso provee suficiente cantidad de material al canal principal para que se produzcan leves depósitos en casi todos los sitios estudiados. No obstante, el volumen medio mensual de material depositado varía desde los 100 m³ en “Sitio 9” hasta 3 veces ese valor en la “Dársena Oeste” de Pto. Galván, los cuales implican niveles extremadamente bajos de impacto en relación con los volúmenes dragados anualmente en estos sitios.

En Pto. Ing. White el sitio relativamente más afectado por deposición de material es “Cargas Generales, Alto nivel y su acceso”, con un volumen medio mensual de 200 m³.

2.6.2 Descarga al Este de Puerto Cuatrerros

La descarga en las inmediaciones de Pto. Cuatrerros es la que menos afecta la zona de los Ptos. Galván e Ing. White. Este punto de descarga provee una deposición de material menor a los 50 m³ mensuales en toda la zona del puerto de Ing. White.

La pluma en bajamar (Figura 72, Figura 77) nos muestra que los sedimentos en suspensión provenientes de la descarga llegan con una concentración menor a los 50 mg/l a la zona de Pto Galván. Este resultado justifica la baja cantidad de material depositado en total, que no alcanza 1 milímetro mensual de depósito en la zona más afectada.

3. ANÁLISIS DE LOS IMPACTOS EN LA CALIDAD DEL AGUA

3.1 INTRODUCCIÓN

El dragado y la disposición del material pueden generar cambios físicos y químicos en la columna de agua. Estos cambios pueden generar un efecto adverso sobre los receptores ecológicos o humanos presentes en el medio afectado. En algunos casos, los efectos ecológicos o sobre la salud son sencillos de identificar ya que los mismos son una consecuencia directa y certera de la extracción del material o de la disposición del mismo (por ejemplo el retiro o entierro de organismos bentónicos). En otros casos, los efectos no son tan claros y seguros, ya que, por ejemplo, establecer el destino y el transporte del material dragado es complicado y el efecto toxicológico de los contaminantes en el mismo es incierto.

De este modo, para reducir esta incertidumbre es que, como se mencionó anteriormente, se ha realizado la modelación hidrosedimentológica (ver Punto 2), la cual fue calibrada con parámetros típicos de la zona afectada (Estuario de Bahía Blanca) permitiendo recrear, de esta manera, el comportamiento del estuario para luego representar la situación con la presencia de la obra.

En relación al efecto sobre el ambiente de los contaminantes retenidos en los sedimentos, resulta importante evaluar la exposición de los mismos sobre los diversos receptores presentes en la zona. Al respecto, los contaminantes pueden tener varios efectos toxicológicos sobre los receptores biológicos o humanos, dependiendo de la magnitud, duración y frecuencia de la exposición, pudiendo diferenciarse entre respuestas agudas o crónicas.

Los caminos que pueden seguir los contaminantes son los medios por los cuales los mismos se mueven en el ambiente. Por ejemplo el dragado cambiará las condiciones físicas (resuspensión de sedimentos) en la columna de agua. Estos sedimentos se verán expuestos a otras condiciones químicas en el agua. El destino y los mecanismos de transporte determinarán la distribución de los contaminantes en el agua y por tanto la exposición a los receptores.

El proceso mediante el cual se ponen en suspensión sedimentos en el ambiente depende del modo en que los mismos sean dispuestos: en tierra o en aguas abiertas, confinado o libre. En el caso de la disposición en aguas abiertas la descarga del sedimento se hace directamente en la columna de agua. Por su parte, la disposición en tierra libera los sedimentos generalmente a partir de un efluente puntual en el punto de descarga.

De este modo, una de las formas de evaluar los efectos del dragado es mediante un análisis de los riesgos asociados a la operación de extracción y disposición. Es en este marco que se lleva adelante el presente punto del EIA, el cual fue realizado tomando como base la metodología establecida por PIANC, 2006. La misma establece una serie de pasos a seguir, los cuales se detallan a continuación:

1. **Formulación del Problema:** Es el punto de partida del estudio de riesgo en donde se plantea el posible escenario, por el cual se ha decidido llevar adelante la evaluación.

2. **Determinación de la Exposición:** en esta etapa se estima la magnitud, la frecuencia y la duración de la exposición en base a los caminos identificados en el punto anterior.
3. **Determinación del Efecto:** se lleva adelante la revisión de la literatura y se identifican los valores que serán tomados como guías, los cuales indican un efecto adverso sobre los receptores. También provee una estimación de la relación entre la duración y la magnitud de la exposición, permitiendo evaluar la severidad del efecto.
4. **Caracterización del Riesgo:** En esta etapa se integra la estimación de la exposición y el efecto en una expresión cualitativa o cuantitativa de riesgo. La caracterización del riesgo cuantifica el peligro al comparar un nivel de exposición de un contaminante (concentración o dosis) con el valor predicho a partir de mediciones directas o mediante modelaciones.

En base a dicha evaluación (la cual se detalla a continuación) se puso de manifiesto que el incremento de contaminantes producto de las tareas de dragado será muy limitado, siendo muy bajo el porcentaje de la concentración de base incrementada producto de la obra de dragado. De hecho, los compuestos que presentaron alguna superación para algún nivel guía, ya presentaban esta situación en condiciones sin dragado.

3.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Como parte de los relevamientos llevados a cabo en el marco de la Línea de Base Ambiental (Capítulo 4) se ha realizado la toma y el análisis de muestras de agua y sedimentos, cuyos resultados fueron evaluados tomando en consideración también información antecedente para la zona, la cual es muy amplia.

Los compuestos que fueron evaluados pueden dividirse en 2 grandes grupos, aquellos que pueden encontrarse de manera natural en el ambiente y aquellos cuya presencia solo puede deberse a la acción del hombre. Mientras que los primeros se vuelven contaminantes solo en concentraciones superiores a las de base (aunque esta puede ya de por sí ser tóxica) la sola presencia de los segundos indica una contaminación de origen antrópico.

De igual modo, el primer grupo puede subdividirse en subgrupos de acuerdo al tipo de compuesto que fue analizado: a) metales pesados y b) hidrocarburos (Totales, BTX y PAH). Entre los compuestos que no se encuentran en la naturaleza de manera natural se analizaron compuestos organoclorados y organofosforados y PCBs.

Los valores medidos y los consultados fueron contrastados con normativa de referencia relativa a la protección de la vida acuática (tanto en agua como en sedimentos) y relativa al manejo del material dragado (en el caso de los sedimentos). Como referencia nacional para la evaluación de la calidad para la vida acuática se consideraron los estándares establecidos para aguas saladas por el Decreto 831/93. Para completar dicha evaluación se incluyeron estándares internacionales tales como las normas Canadienses (CCME, 2007) y las normas Estadounidenses (EPA, 2005 y NOAA, 2008).

En relación a las normas relativas al dragado, es importante mencionar que en la República Argentina (y en general en la región) no existen normas específicas para el manejo del material, por lo que se recurrió directamente a guías y recomendaciones internacionales. En este sentido, en el ámbito internacional, existen reglamentaciones y recomendaciones provenientes de Convenciones aplicables a todos los países del mundo y de normas específicas aplicables a cada nación.

Para el presente estudio se tuvieron en consideración las normas específicas más difundidas, es decir, las normas de Holanda (1994, 2004), Canadá (CCME, 2002) y EEUU (NOAA, 2008). También fueron consideradas en el presente estudio las Recomendaciones Españolas (1996) (Ver Anexo IV del Capítulo 4). Resulta importante mencionar que tanto los valores establecidos por el CCME y por NOAA, no se relacionan específicamente a tareas de dragado, sino que se refieren a la calidad del sedimento para la protección de la vida acuática.

De los análisis realizados en el marco del presente estudio, junto con la evaluación de la información antecedente se desprende la existencia, en los sedimentos de la zona que se verá afectada por el dragado, de contaminantes (metales pesados, hidrocarburos, organoclorados, organofosforados y PCB). No obstante los niveles de estos compuestos permiten clasificar los mismos como no contaminados o con una baja contaminación, desde el punto de vista del dragado estableciéndose como principal condicionante para el mismo los efectos mecánicos.

No obstante, la resuspensión de los sedimento generará el incremento, al menos temporalmente, de los niveles de estos compuestos en la columna de agua, para alguno de los cuales las concentraciones reportadas fueron mayores a los estándares de calidad para la vida acuática (Figura 79). Es por esta razón que como parte del proyecto se consideró como medida preventiva disponer la totalidad de los sedimentos dragados en recintos, minimizando de esta manera la resuspensión y dispersión de los mismos.

Además del efecto sobre la fauna, es posible que se genere una afectación sobre la población que usa la zona interior del estuario con fines recreativos.

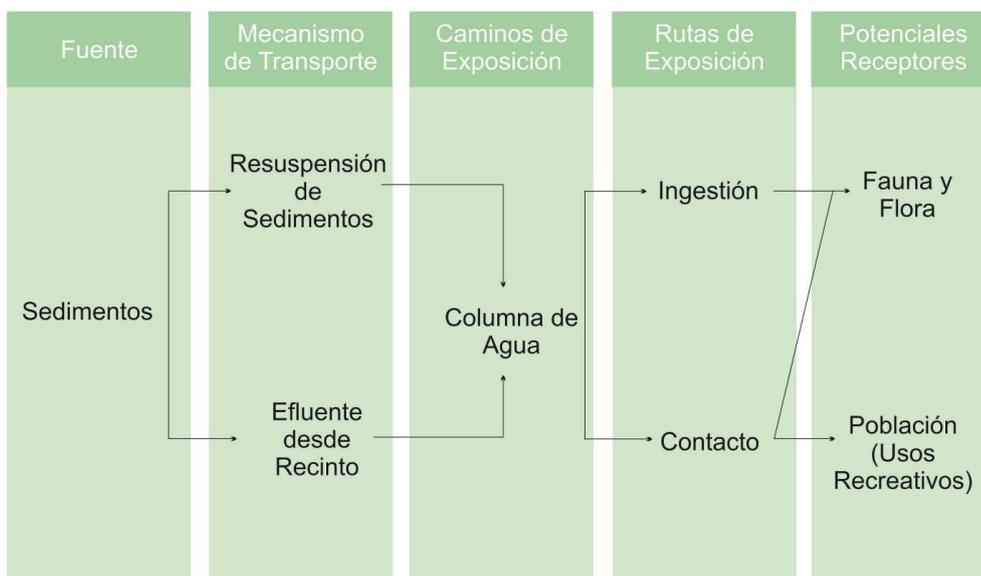


Figura 79. Modelo conceptual.

3.3 DETERMINACIÓN DE LA EXPOSICIÓN

Tal como se explicó anteriormente, la determinación de la exposición provee una estimación cuantitativa de la exposición de los receptores seleccionados a los contaminantes.

De este modo, como parte del estudio hidrosedimentológico (ver Punto 2.5) se modeló el comportamiento de la pluma de turbidez generada desde los recintos, obteniendo de esta manera las concentraciones de sólidos que se registrarán en la misma durante el tiempo que se extienda el dragado.

En base a dicha información, es posible establecer el nivel de sobreconcentración de contaminantes que podrían registrarse en la columna de agua durante el dragado, al cual por tanto, estarían expuestos los organismos acuáticos y eventualmente la población que realice un uso recreativo en la zona.

Al respecto, para estimar la dispersión de los contaminantes que se encuentran junto a los sedimentos descargados, se tomó como indicador la concentración de sedimentos en suspensión obtenida en la simulación matemática de la dispersión de las fracciones de sedimentos modeladas.

Adoptando la hipótesis de que la dispersión del contaminante es proporcional a la dispersión del sedimento (los mismos son adsorbidos por las partículas sólidas en gran medida), la concentración en suspensión del contaminante C_c será:

$$C_c = C_s * P_c * 10^{-6} \text{ (en mg/lit).}$$

Donde;

C_c = Concentración de contaminante, en mg/lit

C_s = Concentración de sedimento fino en suspensión, en mg/lit

P_c = Concentración de contaminante en el sedimento, en mg/kg

La concentración de los contaminantes en los sedimentos del lecho a ser dragado se determinó mediante los análisis químicos realizados en el marco del presente estudio, cuyos resultados se presentaron y analizaron en el Capítulo 4 (Línea de Base Ambiental).

A los fines de calcular la máxima concentración que las actividades de dragado podrían poner en suspensión dentro del rango de los contaminantes analizados, se seleccionó como concentración en peso de los contaminantes en el lecho (P_c) los valores máximos medidos del conjunto de muestras analizadas. De esta forma, se asegura que la evaluación se ha realizado considerando los valores más críticos o desfavorables medidos en la zona; los mismos han sido identificados en la Tabla 12. En relación a los contaminantes en los que en todos los casos sus concentraciones fueron menores al límite de cuantificación de la técnica empleada, se tomó como valor dicho límite.

Tabla 12. Identificación de los niveles de contaminación en el lecho más desfavorables. * Cada uno de los compuestos individuales determinados presentaron concentraciones menores al límite de cuantificación informado.

Parámetros a investigar	Unidad	SE01	SE02	SE03	SE04	SE05	SE06	SE07	SE08	SE09	SE10	Concentración a Considerar
Arsénico	mg/kg	< 5,0	< 5,0	7,8	5,6	8,2	7,3	7	8,6	7,2	5,1	8,6
Cadmio	mg/kg	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,5
Cobre	mg/kg	5,8	9,3	12,8	6,9	12,6	12,9	8,9	12,5	< 5,0	6,1	12,9
Cromo total	mg/kg	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	5
Mercurio	mg/kg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1
Níquel	mg/kg	< 5,0	< 5,0	8,5	< 5,0	< 5,0	8,4	< 5,0	8	< 5,0	< 5,0	8,5
Plomo	mg/kg	< 20,0	< 20,0	< 20,0	< 20,0	< 20,0	< 20,0	< 20,0	< 20,0	< 20,0	< 20,0	20
Zinc	mg/kg	16,9	29,7	38	12,5	39,4	40	21,3	66,5	10,9	29,5	66,5
Hidrocarburos totales	mg/kg	< 50,0	< 50,0	< 50,0	< 50,0	< 50,0	< 50,0	< 50,0	< 50,0	< 50,0	125	125
Hidrocarburos Aromáticos Polinucleares *	mg/kg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1
BTEX *	mg/kg	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,05
Plaguicidas organoclorados *	mg/kg	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01
Plaguicidas organofosforados *	mg/kg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1
Total 7 PCB *	mg/kg	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01

Tal como se expuso anteriormente, los parámetros previamente informados se encuentran en niveles inferiores a los valores límite para los cuales es factible su dragado y disposición sin ulteriores análisis, conforme a las Guías y Recomendaciones internacionales disponibles, utilizadas en el presente EIA (dicho análisis se presenta en detalle en el Capítulo 4 – Línea de Base Ambiental).

No obstante ello, como parte del EIA se lleva adelante un análisis de la potencial afectación sobre los receptores identificados:

- 1) **Población:** en líneas generales la población puede verse expuesta a los contaminantes presentes en el agua por diversos caminos, como el consumo y la exposición dérmica, entre otros. Al respecto, dados los elevados niveles de salinidad registrados en el estuario (aún en su sector interior) el mismo no es utilizado como fuente de abastecimiento para el consumo humano. Sin embargo, la población si realiza actividades recreativas en la zona, relacionadas fundamentalmente con actividades náuticas. No obstante dado que se asume que durante el dragado las mismas no se realizarán en las inmediaciones de la zona de trabajo por donde se extenderá la pluma, es que no se ha considerado a la población como un posible receptor.
- 2) **Vida Acuática:** los organismos que habitan el área afectada por el dragado se verán influidos de manera directa por el consumo y/o la exposición a los contaminantes. Al respecto resulta importante diferenciar entre una exposición crónica (considerando el nivel medio de sedimentos puestos en suspensión en toda la extensión de la pluma que se presentará en la mayor parte del tiempo) de una aguda (considerando el máximo nivel alcanzado en la pluma en un momento puntual y en una zona más restringida cercana a la fuente). De este modo, como parte del presente estudio se identificaron estos dos tipos de exposiciones posibles:

Exposición Crónica: Se considera como este tipo de exposición a las concentraciones de contaminantes medias en la pluma. Se realiza esta comparación a los fines de evaluar la potencial incidencia de la permanencia de concentraciones medias en toda la zona de influencia de la pluma de sedimentos. Esta condición implicaría una concentración que no superaría los **200 mg/l** de sedimento resuspendido.

Exposición Aguda: Por otro lado, se puede analizar la exposición aguda, caracterizada por un menor período de permanencia en un área reducida, pero con una concentración superior a la media, del orden de los **400 mg/l**.

De este modo, aplicando las relaciones de proporcionalidad entre la concentración de sedimentos en el lecho y la concentración de sedimentos en suspensión asumidas, se calcularon las sobreconcentraciones de los distintos elementos contaminantes en suspensión, las cuales fueron sumadas a las concentraciones de base en la zona (Ver detalle de los resultados en Anexo I) (Figura 80).

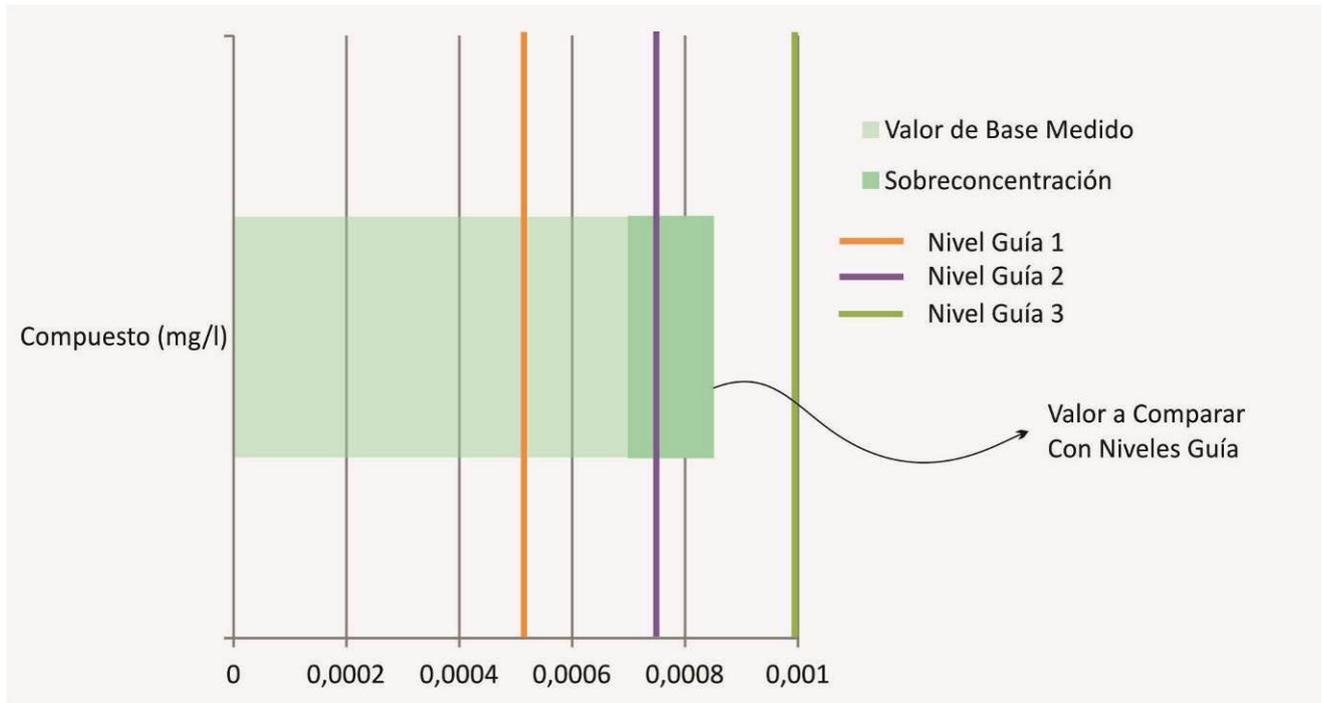


Figura 80. Ejemplo de cálculo de valor de exposición. Suma del valor de base y valor de sobreconcentración.
Caso 1: el nivel de base superaba el nivel guía 1. Caso 2: nivel de base no superaba valor guía 2 pero el incremento del compuesto producto del dragado implica una superación. Caso 3: no se supera el nivel guía ni al sumar las concentraciones por el dragado.

Resulta importante mencionar que mediante esta metodología se está considerando que todos los elementados adsorbidos en las partículas puestas en suspensión pasarán a la fase acuosa, lo que equivale hablar de un coeficiente de partición 1:1.

Esta suposición es extremadamente conservativa y geoquímicamente imposible (Stumm, 1992, Langmuir, 1997), ya que dependiendo de las características del medio y del contaminante (Martin y Meybeck, 1979), las tasas de adsorción pueden superar varias veces la concentración de la sustancia en el agua (Douglas et. al., 1999, Walling y Feng, 2003; Sullivan y Drever, 2001, Schemel, et al 2000, Sanudo-Wilhelmey et al 1996). En este sentido, la adsorción de los metales pesados está fuertemente condicionada por el pH y la salinidad del agua (Johnson, 1986, Gueguen y Dominik, 2003), también por el tamaño de las partículas (Benoit y Rozan, 1999, Gueguen y Dominik, 2003), tendiendo la mayoría de los metales pesados a estar menos disponibles a pH neutro y bajas salinidades (Millward et al, 1997). De esta manera, las concentraciones que efectivamente pasarán a la fase acuosa serán menores.

Por esta razón, para los casos en los que se contó con información antecedente en la zona (IADO, 2000; Marcovecchio y Ferrer, 2005) se tuvieron en cuenta los datos de los estudios de fraccionamiento geoquímico. Para aquellos parámetros para lo que estos datos no estaban disponibles para el área de estudio, se asumió la situación más conservativa, es decir, que todo el compuesto pasara a la columna de agua.

3.4 DETERMINACIÓN DEL EFECTO

El proceso mediante el cual se llega a la determinación de un efecto forma parte del análisis de riesgo final en el cual se compara el factor de toxicidad con la concentración ambiental obtenida mediante la determinación de la exposición.

De este modo, mediante la determinación del nivel de efecto se identifican niveles de exposición para los contaminantes que pueden ser asociados con efectos tóxicos. Existe en la literatura una gran cantidad de estudios toxicológicos y ecotoxicológicos sobre diversos organismos, los cuales han sido tomados en consideración por diversas organizaciones para la determinación de niveles guías de calidad del agua. Así, aquellos factores de toxicidad considerados como relevantes para el análisis de riesgo son identificados y seleccionados para la comparación de los mismos con los niveles de exposición calculados.

En relación a los niveles de contaminación agua y crónica se consideraron una serie de normas que definen límites admisibles de los diferentes contaminantes evaluados para la protección de la vida acuática, entre ellas se consideraron las siguientes:

- **Reglamentación de la Ley Nº 24051. Decreto Nº 831/1993.** Residuos peligrosos: Generación, manipulación, transporte y tratamiento. Anexo II: Tabla 1: Niveles guía de calidad de agua protección de la vida acuática. Agua salada superficial. Publicación B.O. 3 de mayo de 1993.
- **Estándares Canadienses (CCME).** Estándares establecidos por el CCME de Canadá en el año 2007 para la protección de la vida acuática. Los límites canadienses están basados en información científica toxicológica disponible para el parámetro de interés. **Los valores guías se encuentran destinados a proteger todas las formas de vida acuáticas y todos los aspectos del ciclo de vida, incluyendo los estadios más sensibles para las especies más sensibles en una exposición a largo plazo.**
- **Criterios de Calidad de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA).** Son los criterios de calidad de agua recomendados por la EPA (2005), quien los ha **resumido en una tabla los valores de calidad para la protección de la vida acuática** y para el consumo humano de agua superficial para aproximadamente 150 contaminantes. Los mismos se encuentran en el Clean Water Act y proveen una guía para adoptar estándares de calidad. En relación a los estándares para la protección para la vida acuática se establecen tanto para una exposición crónica como para una aguda.
- **Valores de Referencia de la Administración Nacional Oceanográfica y Atmosférica de EE.UU (NOAA).** Este organismo tiene una tablas de referencia conocidas con el nombre de SQiRTs (del inglés Screening Quick Reference Table) en la cuales se presentan las concentraciones evaluadas de compuestos inorgánicos y orgánicos en varios ambientes (en ciertos casos estos valores son coincidentes con los de la EPA para una exposición crónica o aguda en cuerpos de agua salada). Así, **NOAA identifica los potenciales impactos sobre los ambientes y recursos costeros que pueden verse afectados por contaminación.**

3.5 CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO

La caracterización del riesgo es una integración de la estimación de la exposición (ver Punto 3.3) y de la estimación del efecto (ver Punto 3.4), mediante la comparación de la concentración ambiental obtenida con los valores de referencia.

Tal como se mencionó anteriormente, en el Anexo I al presente Capítulo se incluye el detalle de los cálculos realizados para la estimación de la exposición. Dichos datos fueron comparados con los valores guías anteriormente citadas, los cuales se detallan en el Capítulo 4 (Línea de Base Ambiental).

3.5.1 Receptor: Vida Acuática

En relación al efecto sobre las comunidades biológicas que habitan el estuario, las conclusiones del análisis de riesgo realizado son las siguientes:

a) Metales Pesados

Producto del dragado es posible que se genere un incremento de la concentración de metales pesados en la columna de agua. Según los resultados del modelo y en base al cálculo de la concentración de contaminantes, dicho incremento variará entre el 0,4 y el 34% dependiendo del parámetro en cuestión. El incremento más importante se dará sobre el Plomo (34%) y el Níquel (32%), los cuales, no obstante, no alcanzarán los niveles considerados perjudiciales para la vida acuática en exposiciones crónicas.

La concentración considerada de base para el resto de los metales se incrementará en menos de un 15%. De hecho, con excepción del Zinc, el incremento de estos compuestos será menor al 5%.

De estos metales, el Arsénico (Figura 81), el Cadmio (Figura 82), el Cobre (Figura 83), el Mercurio (Figura 84) y el Zinc (Figura 85), exhiben una superación de al menos alguno de los niveles tomados como referencia. Es de suma importancia mencionar que dicha situación se registraba originalmente sin considerar el incremento generado por el dragado, el cual, como se mencionó anteriormente, es limitado.

En relación a estos compuestos, salvo el Arsénico y el Cobre, todos ellos presentaron concentraciones menores al límite de cuantificación de la técnica empleada, el cuál fue más elevado que el valor requerido al laboratorio originalmente, producto de los altos niveles de salinidad que presentaron las muestras tomadas, lo cual limitó la sensibilidad de la técnica analítica utilizada.

En estos casos, para el análisis se consideró como representativo de la concentración de base el límite de cuantificación. No obstante, también se tomó como referencia la máxima concentración media reportada en la bibliografía para la zona. En base a la misma fue posible observar que la concentración de base reportada en los antecedentes es menor que el valor considerado en este estudio (límite de cuantificación). Apreciando estos valores, el incremento de la concentración sigue siendo limitado, y en algunos casos se dejan de superar ciertos límites de calidad.

Es importante remarcar el caso del Cobre, el cual presentó valores de base en agua significativamente superiores a los reportados por la bibliografía. Al considerar los valores antecedentes, no se registra superación de los niveles guía.

En relación a las exposiciones agudas, solo se presentaron concentraciones que pueden resultar perjudiciales para la vida acuática en exposiciones agudas el Cobre (Figura 86) y el Mercurio (Figura 87). De igual modo que para las exposiciones crónicas, el incremento producto del dragado es bajo (2 y 0,8 %, respectivamente). Al considerar el máximo valor medio reportado en la bibliografía, el incremento producto del dragado no alcanza niveles que puedan resultar en una afectación aguda.

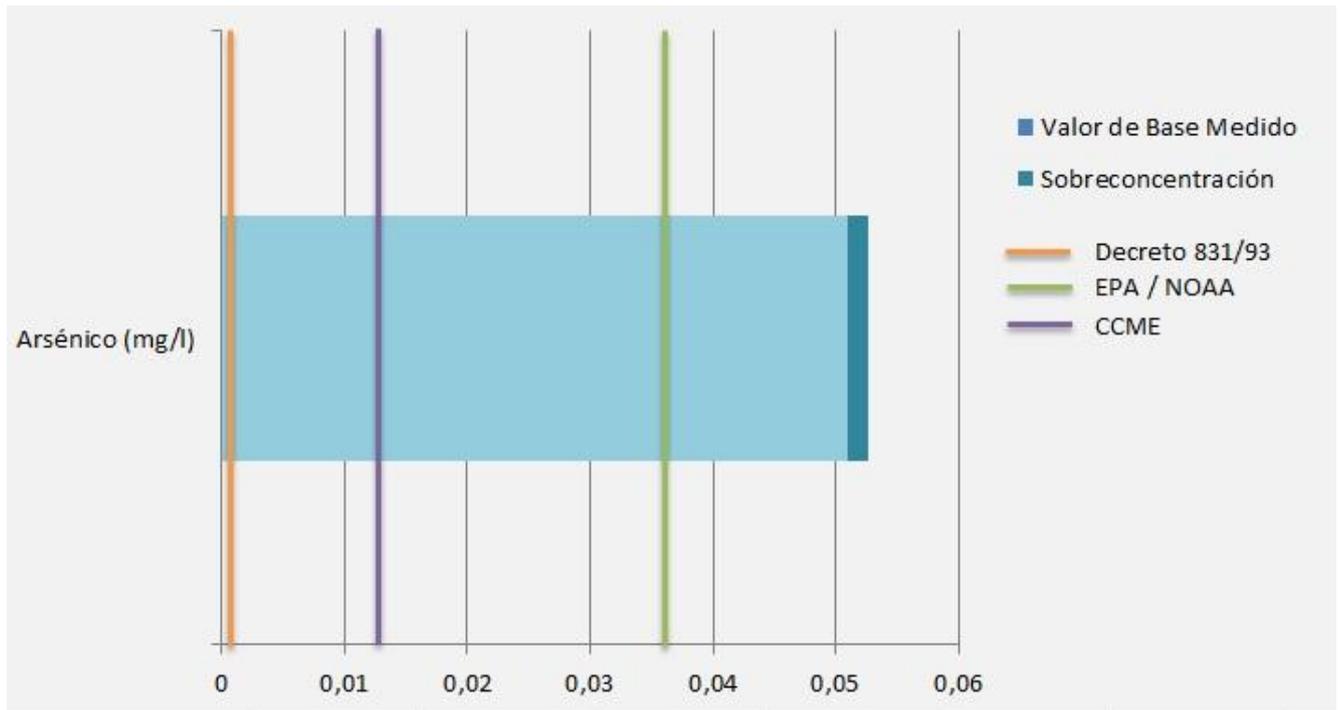


Figura 81. Concentración de arsénico en agua durante el dragado.

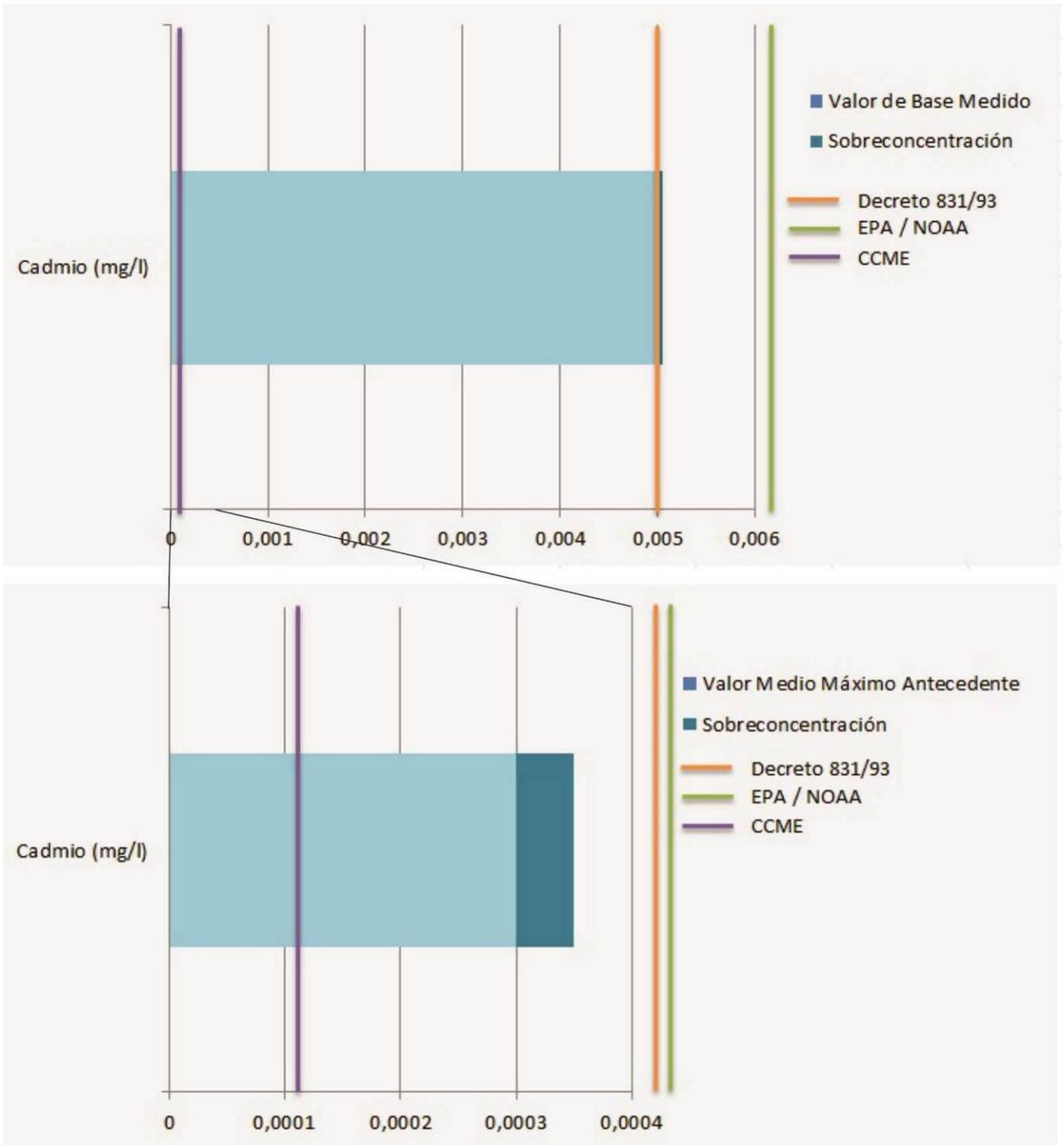


Figura 82. Concentración de cadmio en agua durante el dragado. Arriba: considerando las mediciones realizadas durante el muestreo de Abril del 2011 (Límite de Cuantificación = 0,05 mg/l). Abajo: considerando la concentración media máxima reportada en la bibliografía. Los valores guías fuera del área de gráfico, indican que los mismos superan los niveles representados.

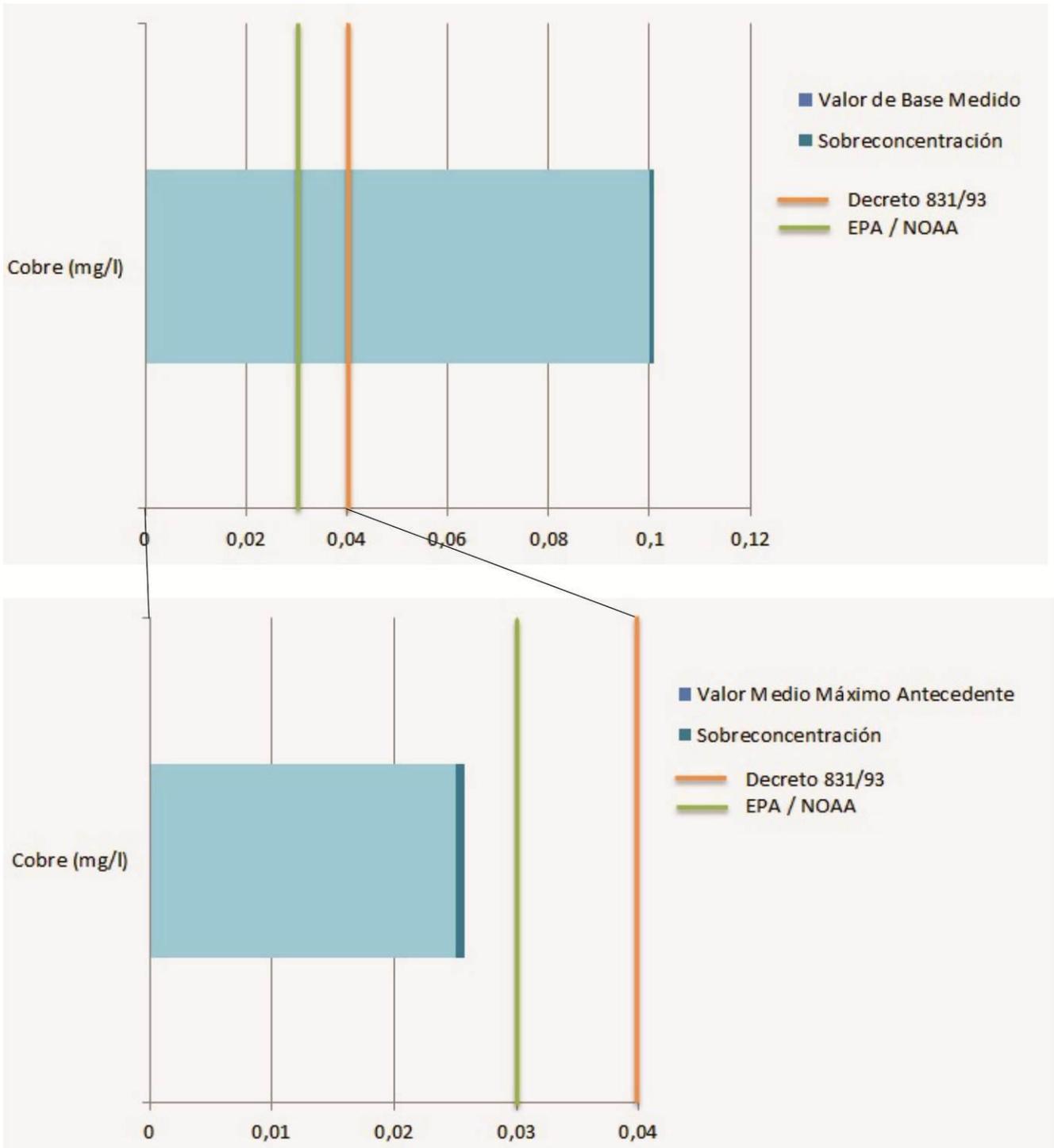


Figura 83. Concentración de cobre en agua durante el dragado. Arriba: considerando las mediciones realizadas durante el muestreo de Abril del 2011. Abajo: considerando la concentración media máxima reportada en la bibliografía.

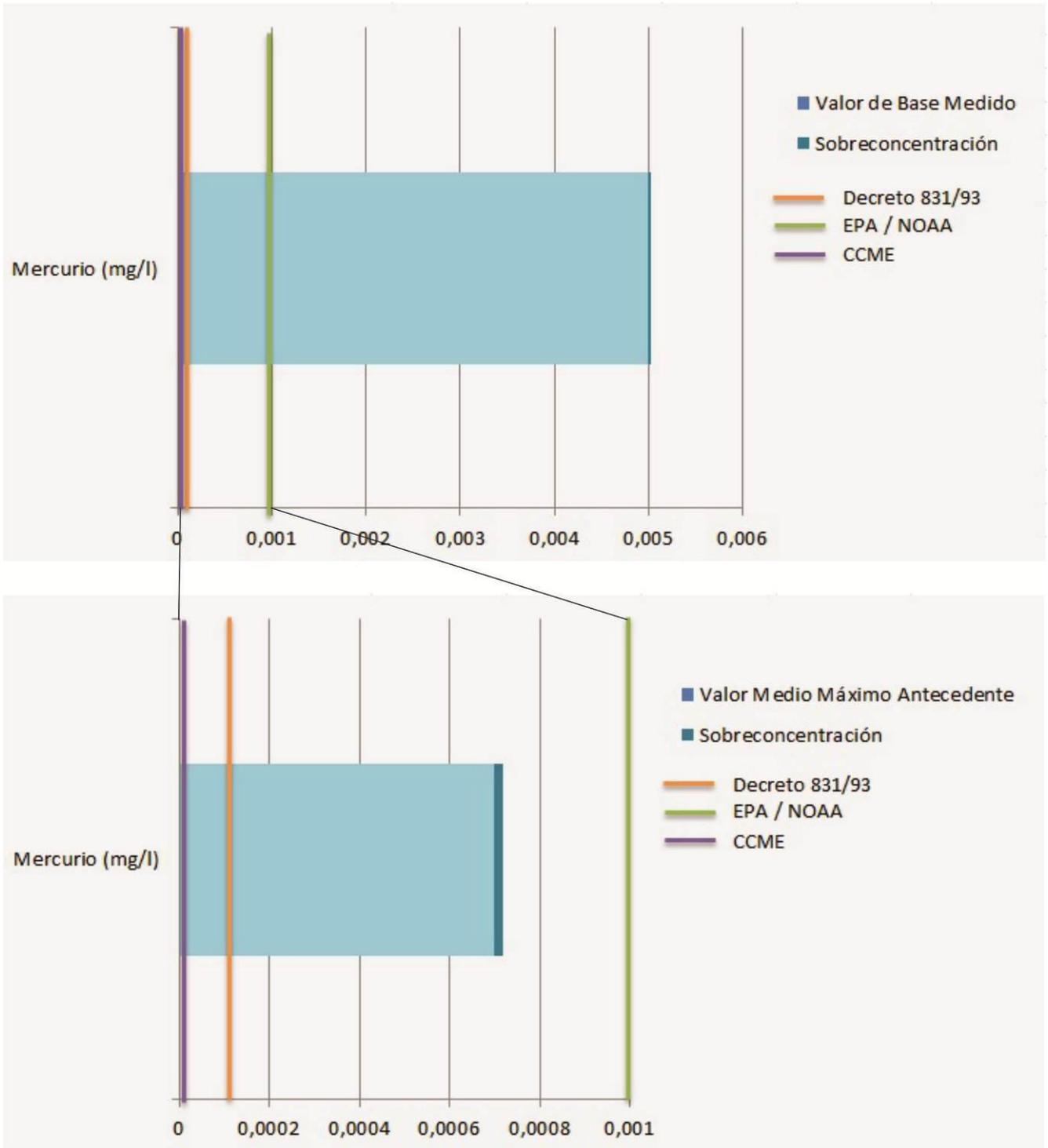


Figura 84. Concentración de mercurio en agua durante el dragado. Arriba: considerando las mediciones realizadas durante el muestreo de Abril del 2011 (Límite de Cuantificación = 0,005 mg/l). Abajo: considerando la concentración media máxima reportada en la bibliografía.

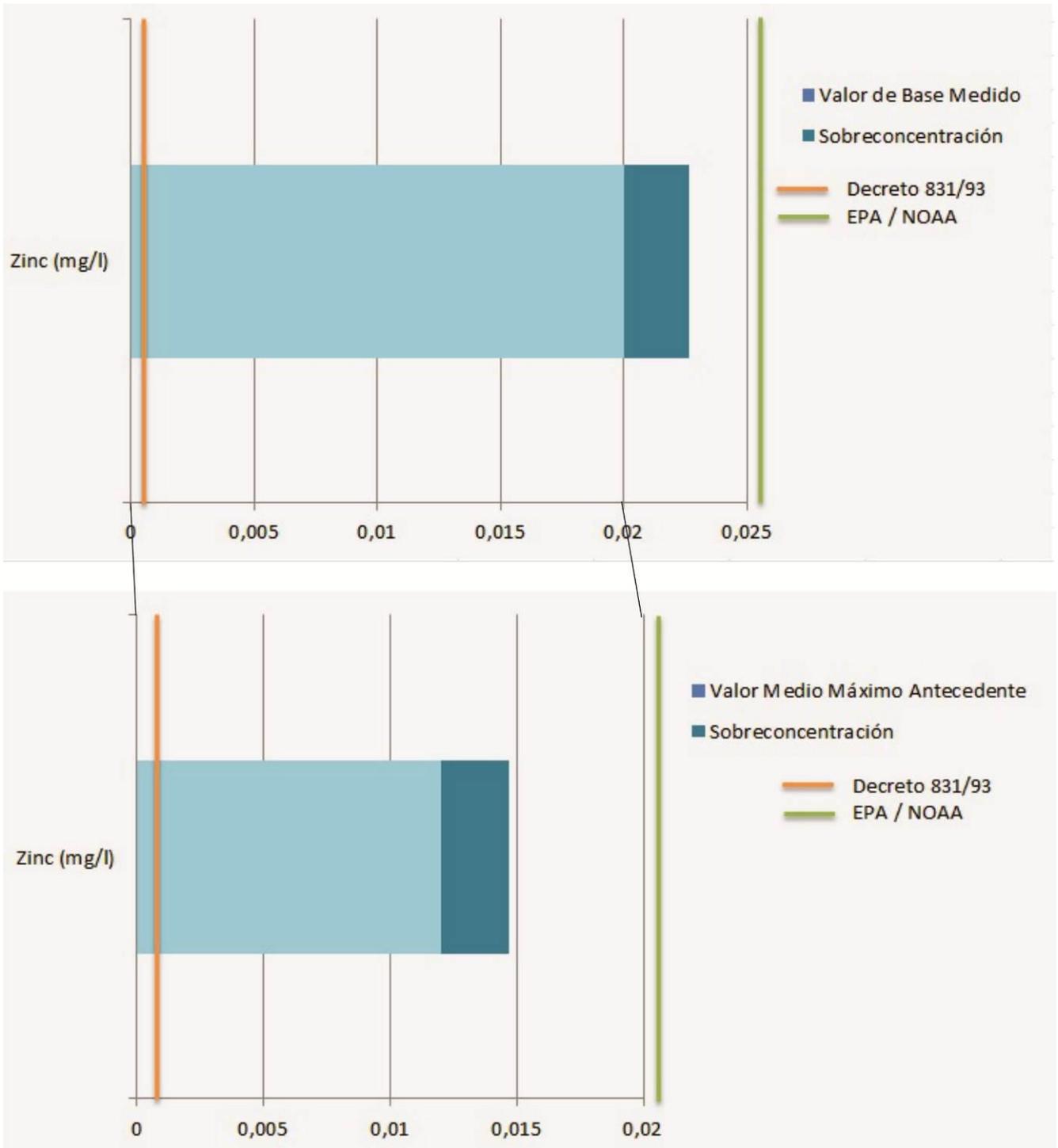


Figura 85. Concentración de zinc en agua durante el dragado. Arriba: considerando las mediciones realizadas durante el muestreo de Abril del 2011 (Límite de Cuantificación = 0,02 mg/l). Abajo: considerando la concentración media máxima reportada en la bibliografía. Los valores guías fuera del área de gráfico, indican que los mismos superan los niveles representados.

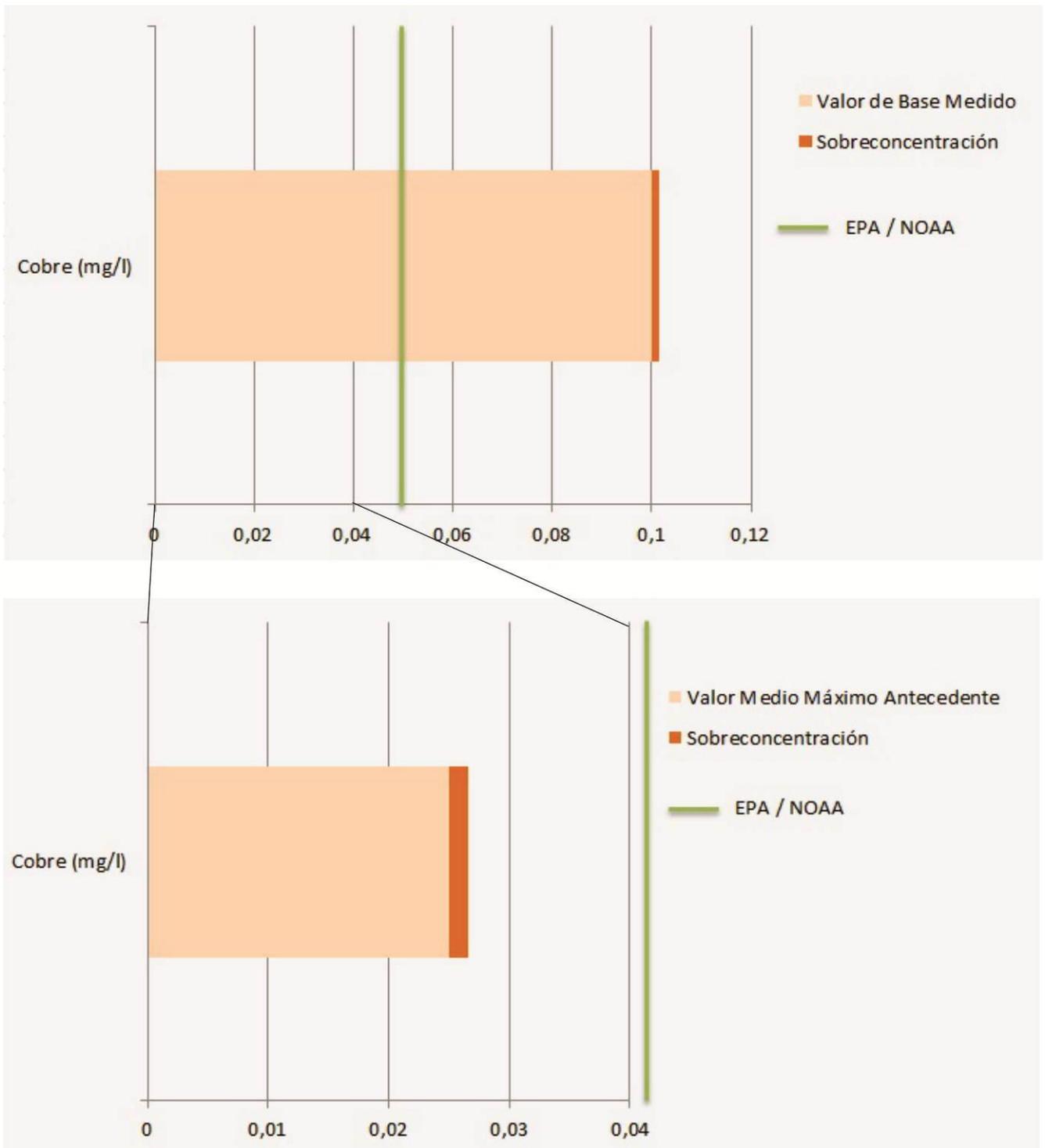


Figura 86. Concentración máxima (exposición aguda) de cobre en agua durante el dragado. Arriba: considerando las mediciones realizadas durante el muestreo de Abril del 2011. Abajo: considerando la concentración media máxima reportada en la bibliografía. Los valores guías fuera del área de gráfico, indican que los mismos superan los niveles representados.

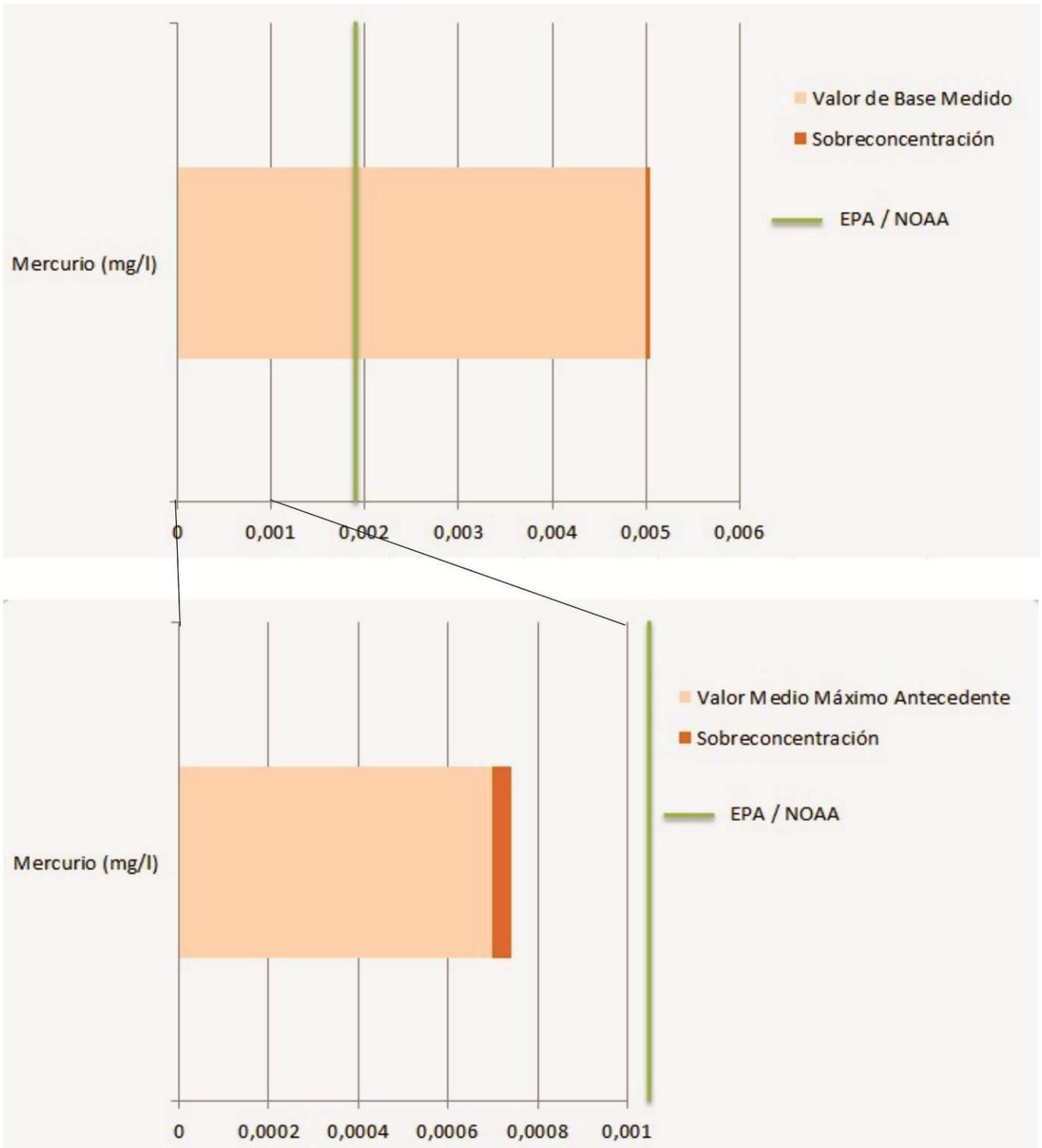


Figura 87. Concentración máxima (exposición aguda) de mercurio en agua durante el dragado. Arriba: considerando las mediciones realizadas durante el muestreo de Abril del 2011 (Límite de Cuantificación = 0,005 mg/l). Abajo: considerando la concentración media máxima reportada en la bibliografía. Los valores guías fuera del área de gráfico, indican que los mismos superan los niveles representados.

b) Hidrocarburos

En relación a los hidrocarburos totales de petróleo, solo en una muestra de sedimentos se cuantificaron los mismos. Esta concentración fue la que se consideró para el análisis y a partir de la que fue posible observar un incremento de la concentración medida en agua del 5 % y del 10 %, para exposiciones crónicas y agudas, respectivamente. No obstante este aumento se consideró sobre el límite de cuantificación de la técnica para las muestras de agua, ya que en ninguna de ellas se reportó una concentración mayor a 0,5 mg/l. No obstante, en los valores históricos monitoreados se han alcanzado concentraciones de hasta 7,05 mg/l.

En relación a los PAH, si bien en la bibliografía se han medido concentraciones de hasta 0,7 mg/kg, como parte del presente estudio no se detectaron valores superiores a 0,1 mg/kg. Al considerar la proporción de los mismos que podrían pasar al agua se observó un incremento importante en relación al valor de base medido. No obstante, la concentración alcanzada es igualmente inferior que los estándares establecidos tanto para concentraciones crónicas como para agudas. Resulta importante mencionar que los valores obtenidos en agua al considerar una concentración de 0,7 mg/kg, son igualmente menores a los estándares de calidad de agua para estos compuestos.

Además de estos compuestos, como parte de las campañas realizadas se llevó adelante la determinación en sedimento y en agua de Benceno, Tolueno, Etil-benceno y Xileno (grupo de compuestos usualmente conocido como BTEX). Tanto en agua como en sedimentos los valores fueron menores al límite de cuantificación. El incremento en agua de estos compuestos producto del dragado según la modelación es del 0,1% para exposiciones crónicas y del 0,2% para exposiciones agudas.

Resulta importante mencionar que para el caso de exposiciones crónicas el nivel establecido por el Decreto Nacional 831/93 para el Benceno y el Etil-bencenos es inferior al límite de cuantificación (no así el límite establecido por el NOAA y el CCME), por lo que por más pequeño que sea el incremento, la concentración considerada superará el límite establecido por dicha normativa.

c) Pesticidas (Organóclorados y Organofosforados) y PCBs

En relación a los organóclorados, todos los compuestos analizados presentaron, tanto en agua como en sedimentos, concentraciones menores al límite de cuantificación de la técnica empleada. Mientras que dicho límite es menor al valor guía establecido para exposiciones agudas, supera en casi todo los casos al estándar para exposiciones crónicas, por lo cual el análisis de esta situación se encuentra limitado.

Al respecto, al analizar el efecto del incremento de contaminantes producto del dragado, es posible observar que considerando los picos de concentración no se alcanzarían las concentraciones consideradas agudas. Al evaluar las concentraciones medias, el incremento (considerando como valor base el límite de cuantificación) será del 20%, aumentando un valor que ya superaba los niveles guías crónicos.

Al considerar los valores antecedentes de estos compuestos en sedimento, se puede observar que los mismos en general presentan concentraciones significativamente menores al límite de cuantificación, por lo que se estima que el incremento sería aún menor.

En relación a los organofosforados, los mismos no fueron cuantificados en las muestras, por lo que se tomó como valor el límite reportado (límite de cuantificación), tanto en agua como en sedimentos. Si bien se registrará un aumento importante, dicho valor es aún menor que los niveles guías existentes.

En relación a los PCB's, los mismos no fueron detectados ni en las muestras de sedimentos ni en las muestras de agua, por lo que, de estar presentes, los mismos estarían en concentraciones menores al límite de cuantificación de la técnica empleada (0,01 mg/kg y 0,01 µg/l). Considerando estos valores para el análisis, producto del dragado se generaría un aumento que no sería lo suficientemente importante para superar los estándares establecidos para la protección de la vida acuática, aun considerando los valores para exposiciones crónicas.

4. ANÁLISIS DEL POTENCIAL IMPACTO ACÚSTICO

4.1 INTRODUCCIÓN

El Proyecto de Dragado comprende dos etapas principales: dragado de apertura y de mantenimiento; las cuales involucran una serie de acciones factibles de emitir ruidos que podrían resultar molestos para las comunidades bióticas y/o para la población, produciendo en consecuencia una afectación o un impacto en los términos de lo que establece la regulación vigente en la materia.

Dentro de las acciones asociadas al Proyecto, se han identificado desde el punto de vista de la generación de ruidos, dos de ellas:

- a) Operación de Obradores
- b) Operación de Dragas

Cabe destacar que el área considerada para el Análisis del Potencial Impacto Acústico se encuentra incluida dentro del Área de Influencia Directa del Proyecto, asociada a los impactos ambientales directos que se podrían producir como consecuencia de acciones específicas en el momento en que las mismas se están desarrollando.

En lo que respecta al impacto sobre la población, este análisis se basa en la verificación del cumplimiento de la legislación local aplicable en cuanto a la regulación de la emisión sonora. En este sentido, la Provincia de Buenos Aires adopta la Norma del Instituto Argentino de Racionalización de Materiales IRAM 4062/84 y su actualización IRAM 4062/01, a través de las Resoluciones SPA N° 159/96 y N° 94/02, como método de medición y análisis de ruidos molestos.

En tanto, el Municipio de Bahía Blanca también adopta la norma IRAM a través del dictamen de la Ordenanza N° 7.604/93, la cual ha sido modificada por la Ordenanza N° 9.972.

Esta misma Ordenanza además establece niveles máximos permitidos para diferentes tipos de actividades:

- Vehículos menores o iguales a 3,5 Tn: 89 dB (A)
- Vehículos de más de 3,5 Tn: 94 dB (A)

La norma IRAM 4062 “Ruidos molestos al vecindario, métodos de medición y clasificación” define que un ruido puede provocar molestias a la población siempre que su nivel exceda en un cierto margen al ruido de fondo preexistente en el área, o bien, cuando el mismo alcance un valor máximo establecido.

Para la implementación de esta metodología de análisis se debe calcular el nivel de ruido de fondo de una determinada zona (L_C) y luego definir el nivel de inmisión que esa zona recibirá producto de la nueva fuente de ruido que se está evaluando (L_{Aeq}).

Si la diferencia entre el nivel de inmisión sonora y el nivel de ruido de fondo supera los 8 dBA, entonces el ruido se caracteriza como molesto. En caso de no superar los 8 dBA, se caracteriza como no molesto.

El impacto acústico podrá generar diferentes tipos de afectaciones sobre las distintas comunidades bióticas presentes en el área, y la intensidad de su efecto dependerá fundamentalmente de la distancia a la fuente y a la capacidad de los organismos para alejarse de la misma.

En cuanto a la afectación de la fauna terrestre, se ha tomado como grupo representativo a las aves, dada su importante presencia en el área y su sensibilidad respecto al ruido. En este sentido, cabe destacar que la audición es un sentido muy importante para las aves ya que les permite encontrar pareja, identificar los territorios de otras aves, detectar sonidos de alerta, atrapar presas y evitar predadores (EPA, 1980).

Existen muchos estudios que afirman el efecto negativo que tiene el ruido sobre el comportamiento e incluso sobre la salud de las aves (EPA, 1971; 1980). En cuanto a los efectos comportamentales se destacan las reacciones de escape, la disminución en la tasa de encuentros de pareja y la atracción hacia áreas de ruido (EPA, 1980). Entre las reacciones de escape se han reportado comportamientos de euforia, vuelos sin rumbo y abandonos de nidadas (EPA, 1980). En cuanto a la salud, además de pérdidas en la capacidad auditiva, se han reportado cambios en el ritmo cardíaco y en el tiempo de eclosión de huevos (EPA, 1980).

Se requiere una exposición de al menos 40 días con niveles por sobre los 95 dB(A) medidos en el oído del ave para producir efectos permanentes en el aparato auditivo de éstas (EPA, 1971). Por otro lado, niveles sobre los 85 dB(A) podrían producir trastornos en el comportamiento de las aves, como por ejemplo migraciones hacia sectores con menos ruido (EPA, 1971).

La Operación de Dragas también generará ruido por debajo de la superficie del agua, afectando a las comunidades bióticas acuáticas. En este caso, se ha tomado como grupo representativo a los peces.

Elevados niveles de presión sonora pueden tener impacto en peces a nivel individual o poblacional, ya sea por daño fisiológico directo o por influencia en el comportamiento. Los primeros serían más críticos en estadios tempranos del ciclo de vida, tales como huevos, larvas y alevines, mientras que los últimos actuarían sobre los adultos.

Presiones de sonido mayores a 189 dB ocasionarían lesiones fisiológicas graves en los peces (INIDEP, 2005). A nivel comportamental se observan afectaciones significativas a partir de los 180 dB (Serman & asociados, 2006). No obstante, en un estudio llevado a cabo por McCauley et al (2000), muchos peces mostraron respuestas de alarma típicas (aumento de la velocidad de natación, traslado hacia mayores profundidades, disposición en estructuras ajustadas) a un rango de inmisión sonora de 156-161 dB.

Elevados niveles de presión sonora tienden a causar un desplazamiento de los cardúmenes, lo que provoca que las capturas comerciales durante y después de la exposición no sean rentables en esa zona (INIDEP, 2005). No obstante, se ha demostrado que con el tiempo los peces se aclimatan a niveles elevados de presión sonora (Serman & asociados, 2006).

El sistema lateral lineal de los peces también puede ser vulnerable a la presión, especialmente en larvas donde los llamados neuromastos libres en muchos casos representan la línea lateral antes de estar completamente formada. Los daños en los neuromastos libres pueden reducir la capacidad para evitar los depredadores (Barón, 2005).

Los peces más sensibles son aquellos que tienen conexión entre la vejiga natatoria y el oído interno con un umbral de sensibilidad de 60 dB re 1 μ Pa (Serman & asociados, 2006). Los de sensibilidad media son los que no tienen dicha conexión con un umbral de sensibilidad de 90 dB re 1 μ Pa (Serman & asociados, 2006). Y los peces que no tienen vejiga natatoria son prácticamente insensibles al ruido, con una sensibilidad de 110 dB re 1 μ Pa (Serman & asociados, 2006).

4.2 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO ACÚSTICO SOBRE LA POBLACIÓN

La evaluación del potencial impacto acústico del Proyecto de Dragado sobre la población se realiza en base a la metodología de análisis definida por la norma IRAM 4062. Esta norma define que un ruido puede provocar molestias a la población siempre que su nivel exceda en un cierto margen al ruido de fondo preexistente.

Para la implementación de esta metodología se debe calcular el nivel de ruido de fondo de la zona donde se encuentran los receptores más cercanos a la fuente de emisión (L_c), o bien realizar mediciones *in situ* del mismo, y luego definir el nivel de inmisión que esa zona recibirá producto de la nueva fuente de emisión que se está evaluando (L_{Aeq}).

Si la diferencia entre el nivel de inmisión y el nivel de ruido de fondo supera los 8 dBA, entonces el ruido que se está generando se clasifica como molesto. En caso de no superar los 8 dBA, se clasifica como no molesto.

$$L_{Aeq} - L_c > 8 \text{ (ruido molesto)}$$

$$L_{Aeq} - L_c < 8 \text{ (ruido no molesto)}$$

De este modo, para la evaluación del potencial impacto acústico se llevan a cabo los siguientes pasos.

1. Determinación del ruido de fondo de los receptores más cercanos.
2. Cálculo de los niveles de inmisión en los receptores más cercanos en función de los niveles de emisión de las nuevas fuentes de ruido identificadas.
3. Comparación del ruido de fondo con los niveles de inmisión calculados, y determinación del nivel de superación o cumplimiento de la norma.

Para la **determinación del ruido de fondo** la norma establece dos metodologías, calcular el mismo en función de un nivel base y la aplicación de términos de corrección por zona, ubicación en la finca y período; o bien realizar mediciones *in situ* del ruido presente en donde se localizan los receptores más cercanos.

Para el presente análisis se ha calculado el ruido de fondo mediante el cálculo indicado en la norma. El mismo consiste en la determinación del ruido de fondo (L_c) a partir de un nivel básico (L_b) y una serie de términos de corrección por zona (K_z), ubicación en la finca (K_u) y período horario (K_h).

$$L_c = L_b + K_z + K_u + K_h$$

La norma IRAM utiliza un nivel básico de 40 dB(A), al cual se le suman los términos de corrección mencionados. El término de corrección por zona discrimina en función de los usos del espacio preexistentes en donde se localizan los receptores más cercanos (Tabla 13). El término de corrección por ubicación en la finca discrimina en función de la posición de los receptores (Tabla 14). Y el término de corrección por período horario discrimina en función del período horario en el que se generará el nuevo ruido (Tabla 15).

Tabla 13. Término de corrección por zona según la Norma IRAM 4062:2001.

Zona	Tipo	Término de Corrección K_z
Hospitalaria, rural, (residencial).	1	- 5 dB(A)
Suburbana con poco tránsito.	2	0 dB(A)
Urbana (residencial).	3	5 dB(A)
Residencial urbana con alguna industria liviana o rutas principales.	4	10 dB(A)
Centro comercial o industrial intermedio entre los tipos 4 y 6.	5	15 dB(A)
Predominantemente industrial con pocas viviendas.	6	20 dB(A)

Tabla 14. Término de corrección por ubicación en la finca según la Norma IRAM 4062:2001.

Ubicación en la Finca	Término de Corrección K_u
Interiores: locales linderos con la vía pública.	0 dB(A)
Locales no linderos con la vía pública.	- 5 dB(A)
Exteriores: áreas descubiertas no linderas con la vía pública. Por ejemplo: jardines, terrazas, patios, etc.	5 dB(A)

Tabla 15. Término de corrección por período horario según la Norma IRAM 4062:2001.

Período Horario	Término de Corrección K_h
Días hábiles: de 8 a 20 hs.	5 dB(A)
Días hábiles: de 6 a 8 hs. Y de 20 a 22 hs. Días feriados: de 6 a 22 hs.	0 dB(A)
Noches: de 22 a 6 hs.	- 5 dB(A)

La norma especifica que si el ruido ocurre en más de uno de los periodos considerados, tales periodos se considerarán separadamente. En tanto, si se identifican más de un tipo de zona en las inmediaciones a la nueva fuente de emisión, el impacto en tales zonas se evaluará también separadamente.

En cuanto al **cálculo de los niveles de inmisión**, el mismo se calcula a partir de los datos de emisión de ruido producido por la/s nueva/s fuente/s de emisión. La propagación sonora hasta los receptores más cercanos producto de la divergencia geométrica para fuentes de tipo puntual que emiten en forma radial se calcula la siguiente expresión (Cyril Harris, 1998).

$$L_p = L_w - 20 \log_{10} r - 11 - C$$

Donde L_p es el nivel de presión sonora en el punto receptor luego de producida la propagación por divergencia geométrica, L_w es el nivel de potencia sonora generada por la fuente puntual, r es la distancia desde la fuente puntual en metros y C es un término de corrección que depende de la temperatura y la presión atmosférica característicos del lugar en que se produce la propagación.

Finalmente, para determinar si la nueva fuente de emisión generará ruidos molestos sobre los receptores más cercanos se realiza la **comparación del ruido de fondo con los niveles de inmisión calculados**. En base a esta comparación se determina el cumplimiento de la normativa o bien el nivel de superación del nivel máximo admitido por la misma.

4.2.1 Determinación del Ruido de Fondo

Para el cálculo del ruido de fondo preexistente en el Área de Influencia Directa del Proyecto de Dragado es necesario diferenciar los tipos de zona presentes, la ubicación de los receptores en la finca y los períodos horarios de trabajo.

En principio se han identificado los diferentes tipos de zonas definidas por la Norma IRAM 4062 en función de la descripción de Usos del Espacio (Figura 88) realizada en la descripción del Medio Antrópico que se presenta en la Línea de Base Ambiental del presente Estudio.

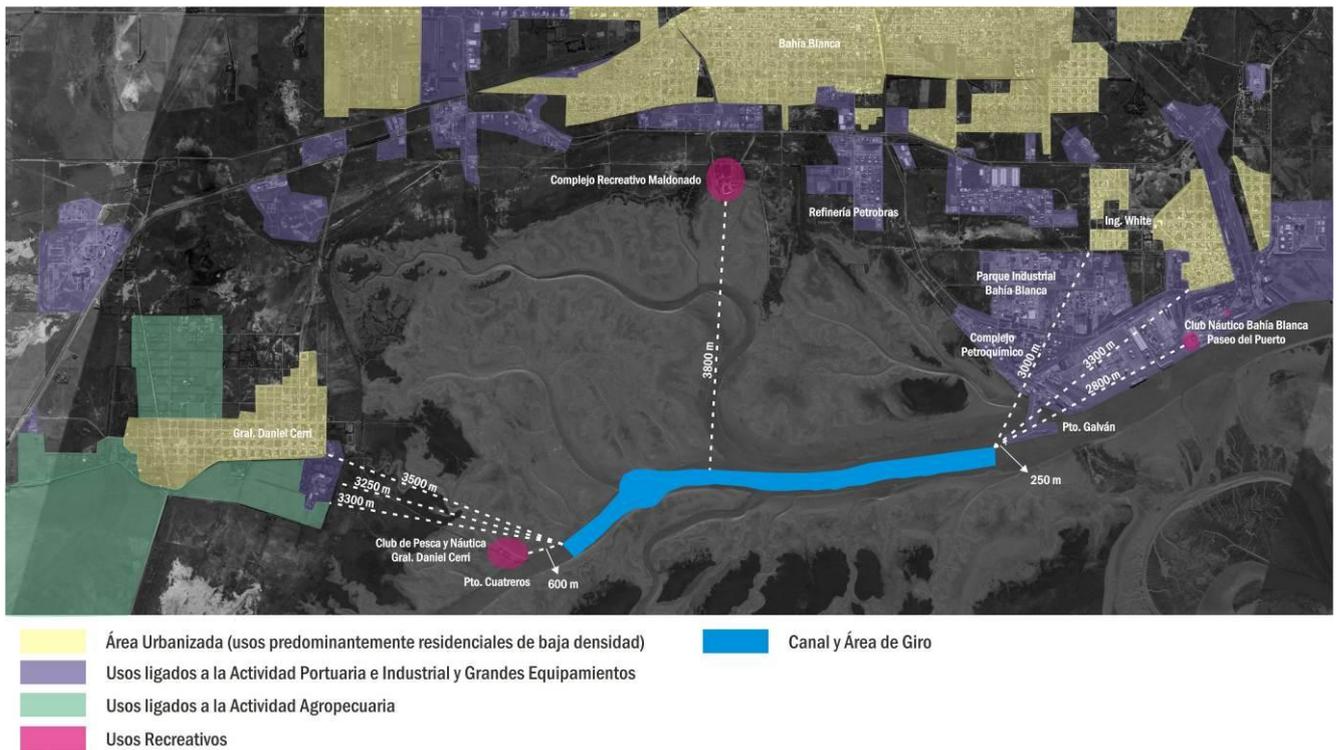


Figura 88. Esquema de usos del espacio en el Área de Influencia Directa del Proyecto. Distancias de los receptores más cercanos al Área de Operación de Dragas.

El Municipio de Bahía Blanca cuenta con normativas asociadas al ordenamiento territorial que regulan los usos del suelo clasificándolos en diferentes categorías (Ordenanza N° 5691/90 - Código de Planeamiento Urbano). En este sentido, la Ordenanza N° 7.604/93 establece las equivalencias entre los Distritos definidos en el Código de Planeamiento Urbano de Bahía Blanca y los Tipos de Zonas identificados en la Norma IRAM 4062 (Tabla 16).

Tabla 16. Equivalencias entre los Distritos del Código de Planeamiento Urbano de Bahía Blanca y los Tipos de Zonas identificados en la Norma IRAM 4062.

Distrito (Código de Planeamiento Urbano)	Zona
Rural	Tipo 1: Hospitalaria, rural, (residencial).
Suburbano Residencial (SUR1)	Tipo 2: Suburbana con poco tránsito.
Suburbano Residencial (SUR2)	
Extra Urbano de Reserva (EUr)	
Suburbano Recreativo (SURe)	
Residencial Parque (Rp1)	Tipo 3: Urbana (residencial).
Residencial Densidad Media Alta (R1)	Tipo 4: Residencial urbana con alguna industria liviana o rutas principales.
Residencial Densidad Media (R2)	
Residencial Parque (Rp2)	
Extra Urbana Usos Específicos (EUe)	
Área Central Microcentro Direccional (C1)	Tipo 5: Centro comercial o industrial intermedio entre los tipos 4 y 6.
Área Central Macrocentro Direccional (C2)	
Macrocentro Direccional (C3)	
Residencial Mixto (RM)	
Anillo (A)	
Industrial 1 (I1)	Tipo 6: Predominantemente industrial con pocas viviendas.
Industrial 2 (I2)	
Industrial 3 (I3)	

Los Usos ligados a la Actividad Portuaria e Industrial y Grandes Equipamientos corresponden a Distritos Industriales del Código de Planeamiento Urbano, considerándose una Zona Tipo 6 para la Norma IRAM. Dentro de esta Zona Tipo 6, los receptores más cercanos se localizan en Puerto Galván, a una distancia mínima de 250 metros del área de Operación de Dragas.

Los Usos ligados a la Actividad Agropecuaria corresponden al Distrito Rural del Código de Planeamiento Urbano, considerándose una Zona Tipo 1 para la Norma IRAM. Dentro de esta Zona Tipo 1, los receptores más cercanos se encuentran ubicados en sectores linderos al sur de Gral. Daniel Cerri, a una distancia mínima de 3300 metros del área de Operación de Dragas.

En tanto, los Usos Recreativos identificados en el área se asemejan al Distrito Suburbano Recreativo que corresponde a una Zona Tipo 2 para la Norma IRAM. Dentro de esta Zona Tipo 2, los receptores más cercanos se identificaron en Puerto Cuatrerros, específicamente en el Club de Pesca y Náutica Gral. Daniel Cerri. Los mismos se encuentran a una distancia mínima del área de Operación de Dragas de 600 metros.

Finalmente, del Área Urbanizada identificada en la Figura 88, se destacan como receptores más cercanos la localidad de Gral. Daniel Cerri (a una distancia mínima de 3500 metros del Área de Operación de Dragas) y la localidad de Ing. White (a una distancia mínima de 3000 metros del Área de Operación de Dragas). La primera se asemeja al Distrito Residencial Mixto del Código de Planeamiento Urbano, que corresponde a una Zona Tipo 5 para la Norma IRAM. La segunda, se alinea con el Distrito Residencial Densidad Media, que corresponde a una Zona Tipo 4 para la Norma IRAM.

Por lo tanto, se han identificado Zonas de Tipo 1, 2, 4, 5 y 6 dentro del Área de Influencia Directa del Proyecto.

Respecto a la ubicación en la finca de los potenciales receptores, se considera para todos los casos de análisis la peor situación: su localización en locales no linderos con la vía pública.

Finalmente, se consideran los distintos períodos horarios de trabajo. En este sentido, se prevé que la operación de las dragas será de manera ininterrumpida durante los 10 meses que se estima dure el dragado de apertura, y durante el tiempo que lleven los dragados de mantenimiento. Por lo tanto, se consideran todos los períodos horarios definidos.

Como ya se ha mencionado, el cálculo del ruido de fondo (L_c) consiste en la suma de los correspondientes valores de los términos de corrección por zona (K_z), ubicación en la finca (K_u) y período horario (K_h), a un nivel básico (L_b) definido en 40 dB(A). En la Tabla 17 se presenta a modo de ejemplo, el cálculo del ruido de fondo para una zona tipo 4 durante días hábiles de 8 a 20 horas.

Tabla 17. Ruido de Fondo Calculado (L_c) para una zona y un período horario determinados. Ejemplo de cálculo.

Término de Corrección	Especificación para el Caso de Estudio	
L_b	Nivel de base.	40 dB(A)
K_z	Zona Tipo 4: Residencial urbana con alguna industria liviana o rutas principales.	10 dB(A)
K_u	Locales no linderos con la vía pública.	-5 dB(A)
K_h	Días hábiles: de 8 a 20 hs.	5 dB(A)
L_c total		50 dB(A)

En resumen, para la evaluación del potencial impacto acústico se define el ruido de fondo para cada una de las zonas identificadas en el área (Zonas Tipo 1, 2, 4, 5 y 6); para todos los períodos horarios determinados (días hábiles de 8 a 20 hs; días hábiles de 6 a 8 hs y de 20 a 22 hs y días feriados de 6 a 22 hs; y noches de días hábiles y feriados de 22 a 6 hs); y considerando al receptor ubicado siempre en locales no linderos con la vía pública.

Tabla 18. Ruido de Fondo Calculado (Lc) para el Área de Influencia Directa del Proyecto, discriminado por zona y período horario.

Ruido de Fondo Calculado			
	Días Hábiles: de 8 a 20 hs	Días Hábiles: de 6 a 8 hs y de 20 a 22 hs Feriados: de 6 a 22 hs	Noches: 22 a 6 hs
Zona Tipo 1	35 dB(A)	30 dB(A)	25 dB(A)
Zona Tipo 2	40 dB(A)	35 dB(A)	30 dB(A)
Zona Tipo 4	50 dB(A)	45 dB(A)	40 dB(A)
Zona Tipo 5	55 dB(A)	50 dB(A)	45 dB(A)
Zona Tipo 6	60 dB(A)	55 dB(A)	50 dB(A)

4.2.2 Identificación de Fuentes de Emisión y Cálculo de los Niveles de Inmisión

4.2.2.1 Operación de Obradores

Debido a que no se cuenta con datos más específicos acerca de la ubicación, equipamiento o superficie que se le asignará al obrador, se ha estimado en base a bibliografía consultada que los potenciales ruidos que se generarán en el mismo tendrán una potencia sonora de 100 dB(A).

La definición del nivel de emisión de ruido en el obrador se ha establecido en base a información antecedente del ruido generado en obradores durante la etapa de construcción de obras de similares características. En general, el ruido asociado a los obradores se encuentra en el rango de entre 90 a 100 dB(A), no obstante, para el análisis se ha considerado el mayor valor de este rango debido a la incertidumbre respecto de los reales niveles sonoros que se producirán.

A partir de la fórmula de la propagación de ruido por divergencia geométrica para una fuente puntual que emite en forma radial, se calculó los niveles de inmisión a distintas distancias a la fuente para un obrador tipo y para dos obradores tipo (Tabla 19).

Respecto de los datos atmosféricos para el cálculo de C, término de corrección que depende de la temperatura y la presión atmosférica característicos del lugar en que se produce la propagación, se consideran una temperatura media anual de 15,5°C y una presión atmosférica media anual de 1005 hPa. A partir de estos datos surge un factor de atenuación de 0,1 dB(A).

Tabla 19. Niveles de Inmisión generados por un obrador tipo y dos obradores tipo en función de la distancia a la fuente de emisión.

Niveles de Inmisión para la Operación de Obradores		
Distancia a la Fuente de Emisión	Obrador Tipo Nivel de Emisión: 100 dB(A)	Dos Obradores Tipo Nivel de Emisión: 103 dB(A)
100 m	49 dB(A)	52 dB(A)
200 m	43 dB(A)	46 dB(A)
500 m	35 dB(A)	38 dB(A)
1000 m	29 dB(A)	32 dB(A)

4.2.2.2 Operación de Dragas

Debido a que se desconoce con exactitud que dragas serán utilizadas, se consideraron valores estimados de emisión para dos tipos de dragas distintas, y para la operación de estos dos tipos de dragas en simultáneo. Los valores de emisión de las dragas se obtuvieron a partir de bibliografía consultada (Bray, 2008).

- Draga de succión con cortador (*Cotter Suction Dredger*): 100–115 dB(A)
- Draga de succión por arrastre (*Trailing Suction Hopper Dredger*) 100–110 dB(A)

Para el análisis se han considerado los mayores valores de los rangos debido a la incertidumbre respecto de los reales niveles sonoros que se producirán.

Por lo tanto, a partir de la fórmula de la propagación de ruido por divergencia geométrica para una fuente puntual que emite en forma radial, se calcularon los niveles de inmisión a distintas distancias a la fuente para una draga A (draga de succión con cortador), para una draga B (draga de succión por arrastre), y para la operación de ambos tipos de dragas en simultáneo (Tabla 20).

Otra vez, el término de corrección en función de la temperatura y la presión atmosférica característicos del lugar en que se produce la propagación es de 0,1 dB(A).

Es importante aclarar que los niveles sonoros no pueden sumarse aritméticamente de forma directa, ya que son valores logarítmicos. Por lo tanto, el nivel sonoro de una composición de varios niveles sonoros se calcula a partir de la siguiente fórmula donde L1 y L2 son los niveles sonoros que se desea componer

$$L1 + L2 = 10 \log (10^{L1/10} + 10^{L2/10})$$

Tabla 20. Niveles de Inmisión generados por los distintos tipos de dragas en función de la distancia a la fuente de emisión. Draga A: draga de succión con cortador. Draga B: draga de succión por arrastre.

Niveles de Inmisión para la Operación de Dragas			
Distancia a la Fuente de Emisión	Draga A Nivel de Emisión: 115 dB(A)	Draga B Nivel de Emisión: 110 dB(A)	Draga A + Draga B Nivel de Emisión: 116 dB(A)
100 m	64 dB(A)	59 dB(A)	65 dB(A)
200 m	58 dB(A)	53 dB(A)	59 dB(A)
500 m	50 dB(A)	45 dB(A)	51 dB(A)
1000 m	44 dB(A)	39 dB(A)	45 dB(A)

4.2.3 Comparación del Ruido de Fondo y los Niveles de Inmisión

4.2.3.1 Operación de Obradores

Considerando que no se conoce al momento la ubicación del obrador que será instalado, el análisis se ha realizado evaluando cuál sería el máximo nivel de inmisión admitido que se podría absorber en cada uno de los tipos de zonas identificados en el Área de Influencia Directa del Proyecto y para cada uno de los períodos horarios considerados (Tabla 21).

Tabla 21. Niveles de Inmisión permitidos según la norma IRAM 4062 para la Operación de Obradores para cada zona y período horarios considerados.

Niveles de Inmisión Permitidos para un Nivel de Emisión de 103 dB(A)			
	Días Hábiles: de 8 a 20 hs	Días Hábiles: de 6 a 8 hs y de 20 a 22 hs Feriados: de 6 a 22 hs	Noches: 22 a 6 hs
Zona Tipo 1	42 dB(A)	37 dB(A)	32 dB(A)
Zona Tipo 2	47 dB(A)	42 dB(A)	37 dB(A)
Zona Tipo 4	57 dB(A)	52 dB(A)	47 dB(A)
Zona Tipo 5	62 dB(A)	57 dB(A)	52 dB(A)
Zona Tipo 6	67 dB(A)	62 dB(A)	57 dB(A)

De esta forma, si realizamos el análisis de forma inversa podremos saber a qué distancia debería estar ubicado el obrador de cada una de las zonas identificadas, si se considera que el mismo tendrá un nivel de emisión sonora de 103 dB(A) y estará funcionando durante todo el día los siete días de la semana.

Tabla 22. Distancia mínima permitida según la norma IRAM 4062 para la Operación de Obradores discriminado por zona.

Distancia Mínima permitida para un Nivel de Emisión de 103 dB(A)	
Zona Tipo 1	1000 m
Zona Tipo 2	560 m
Zona Tipo 4	180 m
Zona Tipo 5	100 m
Zona Tipo 6	60 m

De acuerdo a este análisis, para la no generación de ruidos molestos que puedan afectar a la población, el obrador del Proyecto de Dragado deberá localizarse de manera tal que el mismo se encuentre a no menos de 1000 metros de predios rurales, 560 metros de emprendimientos con usos recreativos, 180 metros de la localidad de Ing. White, 100 metros de la localidad de Gral. Daniel Cerri, y 60 metros de emprendimientos industriales.

4.2.3.2 Operación de Dragas

A los fines de realizar los cálculos de propagación se consideraron las distancias mínimas que existen entre la ubicación del Área de Operación de Dragas y los receptores más cercanos para cada una de las zonas identificadas en el Área de Influencia Directa del Proyecto.

Una vez establecidas las distancias mínimas, se procede a realizar la propagación sonora desde la fuente hasta el punto receptor con la finalidad de establecer los niveles de inmisión sonora esperados en cada uno de estos sitios. Estos valores se comparan entonces con los valores de inmisión permitidos que se establecen en función del ruido de fondo determinado para cada una de las zonas. Los resultados obtenidos se presentan para cada zona.

El nivel de emisión considerado es de 116 dB(A) que corresponde a la operación de los dos tipos de dragas considerados de manera simultánea. Cabe aclarar que se consideró este valor para todo el límite del Área de Operación de Dragas.

Tabla 23. Comparación entre el Ruido de Fondo de una Zona Tipo 1 y los Niveles de Inmisión de la Operación de Dragas. Análisis del cumplimiento de la norma IRAM 4062 de Ruidos Molestos.

Zona Tipo 1	Días Hábiles: 8 a 20 hs	Días Hábiles: 6 a 8 hs y 20 a 22 hs Feriados: 6 a 22 hs	Noches: 22 a 6 hs
Ruido de Fondo	35 dB(A)	30 dB(A)	25 dB(A)
Distancia Mínima Receptores más Cercanos	3300 m	3300 m	3300 m
Nivel de Inmisión en Receptores más Cercanos	35 dB(A)	35 dB(A)	35 dB(A)
Nivel Máximo considerado No Molesto en Receptores Cercanos	42 dB(A)	37 dB(A)	32 dB(A)
Nivel de Superación	--	--	3 dB(A)
Distancia a la que deja de ser Considerado Molesto	--	--	4450 m

De acuerdo a este análisis, los pobladores de los predios destinados a actividades agropecuarias localizados al sur de Gral. Daniel Cerri podrían verse afectados por la generación de ruido durante la Operación de Dragas en el período nocturno. Esta superación del nivel de inmisión máximo permitido por la norma IRAM, alcanza los 3 dB y se anula a los 1150 metros.

Tabla 24. Comparación entre el Ruido de Fondo de una Zona Tipo 2 y los Niveles de Inmisión de la Operación de Dragas. Análisis del cumplimiento de la norma IRAM 4062 de Ruidos Molestos.

Zona Tipo 2	Días Hábiles: 8 a 20 hs	Días Hábiles: 6 a 8 hs y 20 a 22 hs Feriados: 6 a 22 hs	Noches: 22 a 6 hs
Ruido de Fondo	40 dB(A)	35 dB(A)	30 dB(A)
Distancia Mínima Receptores más Cercanos	600 m	600 m	600 m
Nivel de Inmisión en Receptores más Cercanos	49 dB(A)	49 dB(A)	49 dB(A)
Nivel Máximo considerado No Molesto en Receptores Cercanos	47 dB(A)	42 dB(A)	37 dB(A)
Nivel de Superación	2 dB(A)	7 dB(A)	12 dB(A)
Distancia a la que deja de ser Considerado Molesto	800 m	1400 m	2500 m

De acuerdo a este análisis, los pobladores que utilicen las instalaciones del Club de Pesca y Náutica Gral. Daniel Cerri localizado en Puerto Cuatros podrían verse afectados por la generación de ruido durante la Operación de Dragas en todos los períodos horarios considerados. Esta superación del nivel de inmisión máximo permitido por la norma IRAM, alcanza los 12 dB en el período nocturno y se anula a los 1900 metros.

Tabla 25. Comparación entre el Ruido de Fondo de una Zona Tipo 4 y los Niveles de Inmisión de la Operación de Dragas. Análisis del cumplimiento de la norma IRAM 4062 de Ruidos Molestos.

Zona Tipo 4	Días Hábiles: 8 a 20 hs	Días Hábiles: 6 a 8 hs y 20 a 22 hs Feriados: 6 a 22 hs	Noches: 22 a 6 hs
Ruido de Fondo	50 dB(A)	45 dB(A)	40 dB(A)
Distancia Mínima Receptores más Cercanos	3000 m	3000 m	3000 m
Nivel de Inmisión en Receptores más Cercanos	35 dB(A)	35 dB(A)	35 dB(A)
Nivel Máximo considerado No Molesto en Receptores Cercanos	57 dB(A)	52 dB(A)	47 dB(A)

De acuerdo a este análisis, los habitantes de Ing. White no serían afectados por la generación de ruido durante la Operación de Dragas.

Tabla 26. Comparación entre el Ruido de Fondo de una Zona Tipo 5 y los Niveles de Inmisión de la Operación de Dragas. Análisis del cumplimiento de la norma IRAM 4062 de Ruidos Molestos.

Zona Tipo 5	Días Hábiles: 8 a 20 hs	Días Hábiles: 6 a 8 hs y 20 a 22 hs Feriados: 6 a 22 hs	Noches: 22 a 6 hs
Ruido de Fondo	55 dB(A)	50 dB(A)	45 dB(A)
Distancia Mínima Receptores más Cercanos	3500 m	3500 m	3500 m
Nivel de Inmisión en Receptores más Cercanos	34 dB(A)	34 dB(A)	34 dB(A)
Nivel Máximo considerado No Molesto en Receptores Cercanos	62 dB(A)	57 dB(A)	52 dB(A)

De acuerdo a este análisis, tampoco los habitantes de Gral. Daniel Cerri serían afectados por la generación de ruido durante la Operación de Dragas.

Tabla 27. Comparación entre el Ruido de Fondo de una Zona Tipo 6 y los Niveles de Inmisión de la Operación de Dragas. Análisis del cumplimiento de la norma IRAM 4062 de Ruidos Molestos.

Zona Tipo 6	Días Hábiles: 8 a 20 hs	Días Hábiles: 6 a 8 hs y 20 a 22 hs Feriados: 6 a 22 hs	Noches: 22 a 6 hs
Ruido de Fondo	60 dB(A)	55 dB(A)	50 dB(A)
Distancia Mínima Receptores más Cercanos	250 m	250 m	250 m
Nivel de Inmisión en Receptores más Cercanos	57 dB(A)	57 dB(A)	57 dB(A)
Nivel Máximo considerado No Molesto en Receptores Cercanos	67 dB(A)	62 dB(A)	57 dB(A)

Finalmente, los operarios de la zona industrial del Puerto Galván, localizado a escasos 250 metros del Área de Operación de Dragas, no serían afectados por la generación de ruido como consecuencia de la operación de las mismas.

4.3 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL IMPACTO ACÚSTICO

4.3.1 Afectaciones sobre la Población

La Operación de Dragas podrá generar un impacto sobre la población como consecuencia de la emisión de ruido, de acuerdo al análisis realizado según la metodología definida en la norma IRAM 4062.

En este sentido, se identificó la generación de ruidos molestos para la zona rural localizada al sur de Gral. Daniel Cerri, distanciada por 3300 metros del Área de Operación de Dragas. La superación del nivel de ruido máximo permitido por la norma IRAM sucede únicamente durante el período nocturno y se extiende hasta los 1150 metros. No obstante, cabe destacar que se trata de una zona con amplios espacios sin usos asociados y escasos establecimientos agropecuarios, registrándose limitadas viviendas asociadas a estos establecimientos.

También se identificaron ruidos molestos para las instalaciones del Club de Pesca y Náutica Gral. Daniel Cerri localizado en Puerto Cuatros. Esta superación del nivel de ruido máximo permitido por la norma IRAM se sucede de manera continua. No obstante, la mayor presencia de pobladores en el Club se da durante los fines de semana.

Por otro lado, es importante destacar que la Operación de Dragas no generaría ruidos molestos sobre ninguna de las poblaciones más cercanas al Área de Operación, ni sobre el resto de las zonas recreativas identificadas en el Área de Influencia Directa del Proyecto.

Es importante aclarar que los valores de emisión de las dragas fueron estimados a partir de bibliografía, y que se consideró el funcionamiento en conjunto de dos tipos de dragas, evaluando de este modo la peor situación prevista.

En tanto, los valores de ruido de fondo en la zona posiblemente sean superiores a los considerados en el presente análisis, ya que el método de cálculo definido por la norma IRAM resulta muy conservativo.

Por lo tanto, se recomienda la realización de mediciones *in situ* antes del inicio de las tareas de dragado y durante la ejecución de las mismas, de manera de tal de poder llevar real registro de la afectación de la población como consecuencia de la generación de ruido.

En cuanto a la Operación de Obradores, el hecho de no conocer la real ubicación de los mismos permitió realizar el análisis de manera tal de definir recomendaciones que prevengan la generación de ruidos molestos a la población.

En este sentido, el o los obradores del Proyecto de Dragado deberán localizarse a no menos de 1000 metros de predios rurales, 560 metros de emprendimientos con usos recreativos, 180 metros de la localidad de Ing. White, 100 metros de la localidad de Gral. Daniel Cerri, y 60 metros de emprendimientos industriales. De esta manera, se previene la generación de ruidos molestos para la población.

También en este caso es importante aclarar, que los valores de emisión de los obradores fueron estimados a partir de bibliografía, y por lo tanto cabe la misma recomendación que la realizada para la Operación de Dragas.

4.3.2 Afectaciones sobre la Fauna

La afectación de las distintas comunidades bióticas presentes en el área como consecuencia de la generación de ruido dependerá fundamentalmente de la sensibilidad particular de los distintos organismos y de la distancia a la fuente y la capacidad de estos organismos para alejarse de la misma.

Teniendo en cuenta que no se registran afectaciones significativas sobre la salud ni sobre el comportamiento de las aves con un nivel de inmisión por debajo de los 85 dB(A), el ruido generado por la Operación de Obradores (con un nivel de emisión estimado en 103 dB(A)) dejaría de ser un problema a los 5 metros de distancia de la fuente, donde el nivel de inmisión se reduciría a 78 dB(A). En tanto, el ruido generado por la Operación de Dragas (con un nivel de emisión estimado en 116 dB(A)), dejaría de serlo a los 15 metros, donde el nivel de inmisión se reduciría a 81 dB(A).

Considerando que las colonias reproductivas más cercanas se encuentran ubicadas en el Islote del Puerto (colonias reproductivas de la gaviota cangrejera declaradas de interés provincial), a 3,3 km de distancia del Área de Operación de Dragas, se puede concluir que el impacto del ruido sobre las poblaciones de aves presentes en el Área de Influencia Directa del Proyecto no resultaría de una importancia significativa.

Por lo tanto, los individuos no sufrirían efectos físicos importantes producto de la exposición a los niveles de presión sonora generados por el Proyecto de Dragado. Dada su movilidad, podrán alejarse de la fuente de emisión evitando potenciales daños. La energía gastada durante estos acontecimientos resultaría mínima y no tendría efecto fisiológico sobre los mismos. Los cambios de comportamiento serán apenas perceptibles, probablemente asociados a desplazamiento temporales y vuelos de escape del Área de Operación.

En cuanto a los peces, se considera que los niveles de inmisión generados por la Operación de Dragas se asemejarán a los niveles generados por el movimiento de las embarcaciones (80 dB(A)). Por lo tanto, teniendo en cuenta que se trata de una zona con un importante tránsito de embarcaciones, el impacto del ruido sobre las poblaciones de peces presentes en el Área de Influencia Directa del Proyecto se considera de poca importancia, limitándose a afectaciones de individuos puntuales.

Por otro lado, es importante aclarar que los cetáceos son organismos especialmente vulnerables a los disturbios acústicos debido a su agudeza auditiva, de la que a su vez dependen para relacionarse con el medio. No obstante, dado que en el área los mismos permanecen mayormente en la zona externa del estuario, no se esperan afectaciones significativas sobre este grupo.

5. BIBLIOGRAFÍA

BARÓN P.J. (2005). Lineamientos generales para la definición del “Estudio de las potenciales afectaciones de las distintas actividades económico-productivas realizadas en la zona costero patagónica, en especial del Golfo San Jorge, sobre las especies bentónicas, en relación a la evaluación de aquellas definidas como indicadoras”. En: Serman & asociados S.A. Estudio de las potenciales afectaciones de las distintas actividades económico-productivas realizadas en la zona costero patagónica, en especial del Golfo San Jorge, sobre las especies bentónicas, en relación a la evaluación de aquellas definidas como indicadoras. REPSOL-YPF.

Benoit, G. et Rozan, T.F. (1999). The influence of size distribution on the particle concentration effect and trace metal partitioning in rivers. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63(1): 113-127.

BRAY R.N. (Ed.) (2008). Environmental Aspects of Dredging. Taylor & Francis Group.

Brunel, C. (2005). Dynamique des éléments traces métalliques (Pb, Zn et Cd) sur un petit bassin versant contaminé par des déchets miniers - Cas du bassin versant amont du Lez (Ariege, Pyrénées).

CYRIL HARRIS, M. (1998). Manual de medidas Acústicas y Control del Ruido, 3ra edición, Editorial. Mc Graw Hill.

Elder, J. W. (1959) The Dispersion of Marked Fluid in Turbulent Shear Flow. *Journal of Fluid Mechanics*, v. 5, p. 560-644

EPA (1971). *Effects of Noise on Wildlife and Other Animals.*

EPA (1980). Effects of Noise on Wildlife and Other Animals. Review of Research since 1971.

Fisher, H.B. (1968) The dispersion predictions in natural streams. Proceeding of American Society of Civil Engineers. *Journal of Sanitary Engineering Division*. v. 94, n. SA5, p.927-943

Gueguen, C. et Dominik, J. (2003). Partitioning of trace metals between particulate, colloidal and truly dissolved fractions in a polluted river: the Upper Vistula River (Poland). *Applied Geochemistry*, 18(3): 457-470.

Harleman, D.H.F. (1971). Estuarine Modelling: An Assessment. TRACON, Inc., for the Water Quality Office – EPA

IADO. 2000. Estudio de la calidad del agua de la ría de Bahía Blanca (2da Etapa). Informe Final.

INIDEP (2005). Estudio de las potenciales afectaciones de las distintas actividades económico-productivas realizadas en la zona costera patagónica, en especial en el Golfo San Jorge, sobre las especies bentónicas, en relación a la evolución de aquellas definidas como indicadoras. Proyecto Langostino.

Johnson, C.A. (1986). The regulation of trace element concentrations in river and estuarine waters contaminated with acid mine drainage: The adsorption of Cu and Zn on amorphous Fe oxyhydroxides. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 50(11): 2433-2438.

King, Ian P. (1990). "Program Documentation - RMA2 - A Two Dimensional Finite Element Model for Flow in Estuaries and Streams." Resource Management Associates, Lafayette, CA

Langmuir, D. (1997). Aqueous environmental geochemistry. Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 603 pp.

- Marcovecchio J.E. y L.D. Ferrer, 2005.** Distribution and geochemical partitioning of heavy metals in sediments of the Bahía Blanca estuary, Argentina. *Journal of Coastal Research* 21 (4), 826-834.
- Martin, J.M. et Meybeck, M. (1979).** Elemental mass-balance of material carried by major world rivers. *Marine Chemistry*, 7(3): 173-206.
- MCCAULEY, R.D.; J. FEWTRELL, A.J. DUNCAN, C. JENNER, M-N. JENNER, J.D. PENROSE, R.I.T. PRINCE, A. ADHITYA, J. MURDOCH & K. MCCABE (2000).** Marine Seismic Surveys - A Study of Environmental Implications. *Appea Journal*.
- Millward, G.E., Kitts, H.J., Ebdon, L., Allen, J.I. et Morris, A.W. (1997).** Arsenic in the Thames Plume, UK. *Marine Environmental Research*, 44(1): 51-67.
- Norton, W.R., I.P. King and Orlob G.T. (1973)** "A Finite Element Model for Lower Granite Reservoir", prepared for the Walla Walla District, U.S. Army Corps of Engineers, Walla Walla, WA.
- Peng, S.-H., Wang, W.-X. et Chen, J. (2003).** Partitioning of Trace Metals in Suspended Sediments from Huanghe and Changjiang Rivers in Eastern China. *Water, Air, & Soil Pollution*, 148(1-4): 243-258.
- Prieto, G. (1998).** Geochemistry of heavy metals derived from gold-bearing sulphide minerals in the Marmato District (Colombia). *Journal of Geochemical Exploration*, 64(1-3): 215-222.
- Rutherford, J.C. (1994):** River Mixing. J.Wiley & Sons, New York
- Sanudo-Wilhelmy, S.A., Rivera-Duarte, I. et Russell Flegal, A. (1996).** Distribution of colloidal trace metals in the San Francisco Bay estuary. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 60(24): 4933-4944.
- Schemel, L.E., Kimball, B.A. et Bencala, K.E. (2000).** Colloid formation and metal transport through two mixing zones affected by acid mine drainage near Silverton, Colorado. *Applied Geochemistry*, 15(7): 1003-1018.
- SERMAN & ASOCIADOS S.A. (2006).** Estudio de las potenciales afectaciones de las distintas actividades económico-productivas realizadas en la zona costero patagónica, en especial del Golfo San Jorge, sobre las especies bentónicas, en relación a la evaluación de aquellas definidas como indicadoras. REPSOL-YPF.
- Shafer, M., Overdier, J., Phillips, H., Webb, D., Sullivan, J. et Armstrong, D. (1999).** Trace Metal Levels and Partitioning in Wisconsin Rivers. *Water, Air, & Soil Pollution*, 110(3 - 4): 273-311.
- Stumm, W. (1992).** Chemistry of the solid-water interface; processes at the mineral-water and particle-water interface in natural systems. John Wiley and Sons, New York, NY, United States, 428 pp.
- Sullivan, A.B. et Drever, J.I. (2001).** Geochemistry of suspended particles in a mine-affected mountain stream. *Applied Geochemistry*, 16(15): 1663-1676.
- Thèse de doctorat, Paul Sabatier, Toulouse, 276 pp. Douglas, G.B., Hart, B.T., Beckett, R., Gray, C.M. et Oliver, R.L. (1999).** Geochemistry of Suspended Particulate Matter (SPM) in the Murray-Darling River System: A Conceptual Isotopic/Geochemical Model for the Fractionation of Major, Trace and Rare Earth Elements. *Aquatic Geochemistry*, 5(2): 167-194
- Walling, D.E. et Fang, D. (2003).** Recent trends in the suspended sediment loads of the world's rivers. *Global and Planetary Change*, 39(1-2): 111-126.

PIANC, (2006). Environmental Risk Assessment of Dredging and Disposal Operations. Report of WG 10-2006. 40 pp.

Mance G, Musselwhite C, Brown VM (1984) Proposed environmental quality standards for List II substances in water. Arsenic. Medmenham, Water Research Centre (Technical Report TR 212). en OMS (2003)