

# ANTEPROYECTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN EMISARIO CLOACAL MARÍTIMO EN RADA TILLY PROVINCIA DE CHUBUT

## MODELIZACIÓN HIDRODINÁMICA Y SELECCIÓN DE TRAZA DEL EMISARIO

Rev. A

MARZO 2015



Ingeniería

Economía

Ambiente

Pico1639/45, Piso 5D (C1429EEC) Ciudad Autónoma de Buenos Aires - Argentina

Tel/Fax: (54-11) 4703-2420



GESTIÓN  
DE LA CALIDAD  
R.E. 9000-2301



GESTIÓN  
AMBIENTAL  
R.E. 14000-238



GESTIÓN  
OHS  
R.E. 18000-147

Sistemas de gestión  
certificados por IRAM

IRAM-ISO 9001:2008  
IRAM-ISO 14001:2004  
OHSAS 18001:2007

## ÍNDICE

1.	ALCANCE DEL INFORME.....	3
2.	TOPOGRAFÍA Y BATIMETRÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	4
3.	CONDICIONES HIDRODINÁMICAS.....	8
3.1	MAREAS ASTRONÓMICAS.....	8
3.2	INFLUENCIA ATMOSFÉRICA Y CORRIENTES.....	9
3.3	MEDICIONES DE CORRIENTES.....	14
4.	DESCRIPCIÓN DEL MODELO HIDRODINÁMICO.....	16
4.1	INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.....	16
4.2	DESCRIPCIÓN DE LOS MÓDULOS HIDRODINÁMICO Y LAGRANGEANO.....	19
5.	IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO HIDRODINÁMICO.....	21
5.1	CALIBRACIÓN DEL MODELO DE BAJA RESOLUCIÓN.....	23
5.2	CALIBRACIÓN DEL MODELO DE ALTA RESOLUCIÓN.....	26
6.	TRAYECTORIAS SEGUIDAS POR PARTÍCULAS CONSERVATIVAS EMITIDAS DESDE DISTINTAS UBICACIONES DE LOS DIFUSORES EN TRES POSIBLES TRAZAS DEL EMISARIO.....	30
6.1	ALTERNATIVAS DE TRAZA Y UBICACIÓN DE LOS DIFUSORES.....	30
6.2	RESULTADOS CON MOVIMIENTO NO ALEATORIO.....	31
6.3	RESULTADOS CON MOVIMIENTO ALEATORIO.....	36
6.4	CONCLUSIONES.....	41
7.	NORMATIVA APLICABLE EN LA MATERIA.....	43
8.	DISPERSIÓN DE LA PLUMA EN CAMPO CERCANO.....	44
8.1	DESCRIPCIÓN DEL MODELO.....	44
8.2	ANÁLISIS DE CORRIENTES EN EL ÁREA DEL EMISARIO.....	45
8.3	PARÁMETROS DE DISEÑO ADOPTADOS PARA LA MODELACIÓN.....	47
8.4	RESULTADOS.....	48
9.	DISPERSIÓN DE LA PLUMA EN CAMPO LEJANO.....	50
9.1	CONCENTRACIÓN DE BACTERIAS COLIFORMES FECALES.....	50
9.2	IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS.....	53
10.	CONCLUSIONES.....	60

## 1. ALCANCE DEL INFORME

En este informe de avance se presentan los modelos hidrodinámicos implementados con el objetivo de estudiar los posibles emplazamientos del emisario.

En primer lugar se describe la información empleada para la implementación del modelo bidimensional general del Golfo San Jorge y del modelo detallado de alta resolución de Rada Tilly, se describen los módulos hidrodinámico y de transporte lagrangiano del modelo y se detalla su implementación y calibración con los datos disponibles.

Luego se evalúan tres posibles trazas del emisario (Norte, Central y Sur dentro de rada Tilly) y en cada traza se analizan 7 posibles puntos de descarga (ubicaciones del difusor), por medio de la aplicación del módulo lagrangiano, el cual permitió verificar la trayectoria de las plumas de partículas generadas en cada posible ubicación de la descarga.

De esta manera, se seleccionó como la traza más conveniente la ubicada más al Norte de rada Tilly, y se determinaron los parámetros hidrodinámicos del flujo en cada punto de descarga (excluyendo el más cercano a la costa que fue descartado), los cuales fueron empleados a continuación para el estudio de diluciones en el campo cercano del difusor.

El estudio de diluciones permitió estimar la dilución mínima en el campo cercano hasta que la pluma toca la superficie, pierde su cantidad de movimiento inicial, y se uniformiza, pasando a ser transportada por las corrientes.

Posteriormente, mediante la aplicación del módulo lagrangiano, se estudió la evolución de la concentración de bacterias coliformes fecales, considerando que la descarga del difusor se realiza en diferentes posiciones a lo largo de la traza del emisario. De esta manera, se seleccionó el punto de descarga, a los efectos de asegurar que la concentración de bacterias coliformes fecales en la pluma no supere los límites para uso balneario en cercanías de la costa.

## 2. TOPOGRAFÍA Y BATIMETRÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO

El Golfo San Jorge, que se encuentra delimitado al norte por el cabo Dos Bahías y al sur por el cabo Tres Puntas, tiene en su boca una extensión de 244 km en sentido Norte – Sur y 148 km de longitud en sentido Este - Oeste. La información batimétrica necesaria para representar el golfo se obtuvo de la digitalización de la Carta 59 del Servicio de Hidrografía Naval (SHN).



Figura 2.1: Relevamiento topo-batimétrico realizado en el año 1994.

Para la generación del modelo digital del lecho (Digital Elevation Model "DEM"), se agregaron dos relevamientos batimétricos que abarcan Rada Tilly. Además fueron incorporados los datos topográficos de dichos relevamientos, pues las amplitudes de marea en la zona costera son muy amplias y la zona intermareal se cubre en pleamar.

Uno de los relevamientos fue realizado en el año 1994 por Cap. J. D. Moreteau y Ag. Mariano Rodríguez Varela y se extiende prácticamente a lo largo de toda la playa, como se muestra en la siguiente Figura 2.1.

Para la zona costera más próxima a Punta Marqués, se utilizó un relevamiento topo-batimétrico realizado por NAG Consultor & Asociados para Serman y asociados S.A. en noviembre de 2006.

El mismo se presenta a continuación en la Figura 2.2.

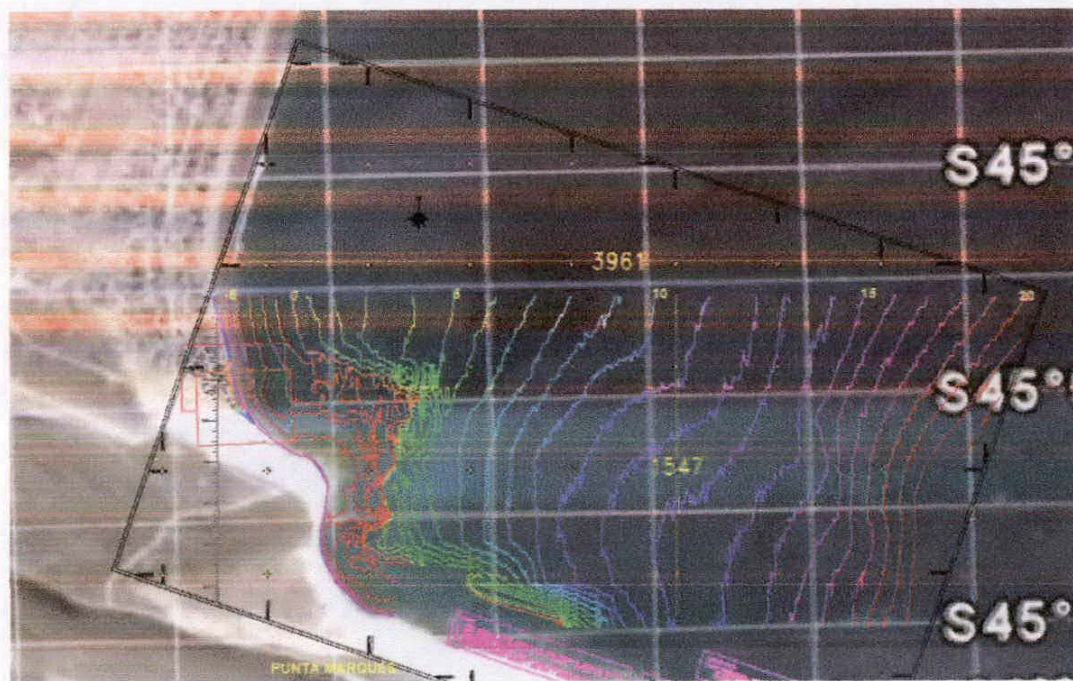


Figura 2.2: Relevamiento topo-batimétrico realizado en el año 2006.

Con toda la información se conformó un DEM que fue georeferenciado en coordenadas Gauss Kruger – Posgar Faja 2 y cuyas cotas se refirieron al cero de Puerto Comodoro Rivadavia (M.O.P.).

En la Figura 2.3 se presentan las cotas del DEM para todo el Golfo San Jorge, y en la Figura 2.4 se detalla la zona de Rada Tilly.

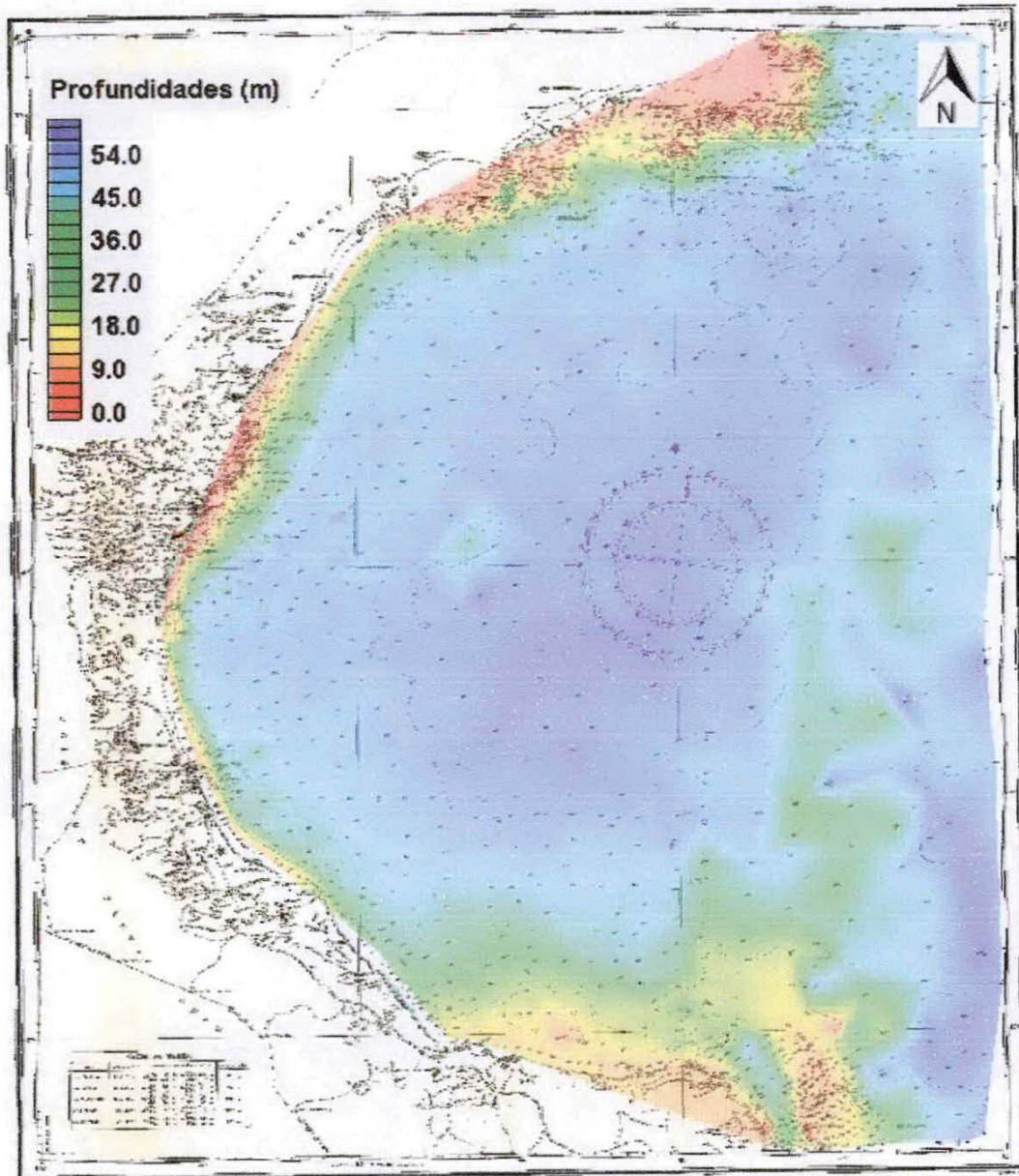


Figura 2.3: Modelo digital del terreno del Golfo San Jorge.

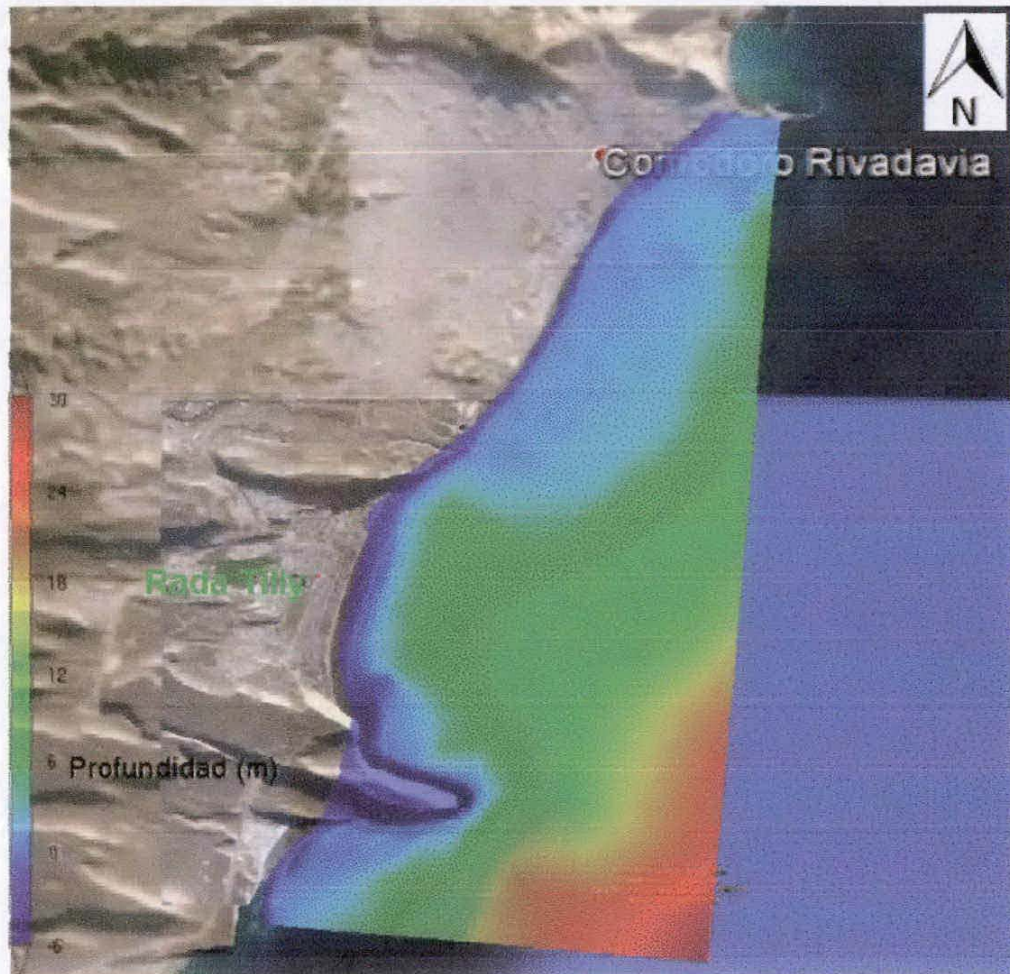


Figura 2.4: Detalle del modelo digital del terreno para la zona de Rada Tilly.

### 3. CONDICIONES HIDRODINÁMICAS

#### 3.1 MAREAS ASTRONÓMICAS

El Golfo San Jorge está sujeto a un régimen de mareas semi-diurno, con una amplitud entre 3 y 5 metros. La marea es la principal fuente de energía para el golfo, y es una onda condicionada por la batimetría, fricción e intensidad de los vientos dominantes.

Las condiciones de marea en Comodoro Rivadavia pueden apreciarse en la siguiente Tabla del Servicio de Hidrografía Naval.

Lat. S	Long. W	Nivel Medio (m)	Amplitud Media (m)	Bajamar Mínima (m)	Bajamar (sicigia) (m)	Pleamar (sicigia) (m)	Pleamar Máxima (m)
45° 52'	67° 29'	3,14	4,3	0,15	0,67	5,61	6,13

Tabla 3-1: Condiciones de marea en Comodoro Rivadavia (SHN).

Las componentes armónicas de la marea astronómica, correspondientes al borde del modelo del Golfo San Jorge, se utilizan para forzar el mismo. A modo de ejemplo, para el punto indicado en la Figura 3.1, se presenta en la Figura 3.2 la onda de marea empleada para las simulaciones, generada a partir de las componentes armónicas.



Figura 3.1: Localización del punto donde se extrajeron las componentes armónicas de la marea astronómica



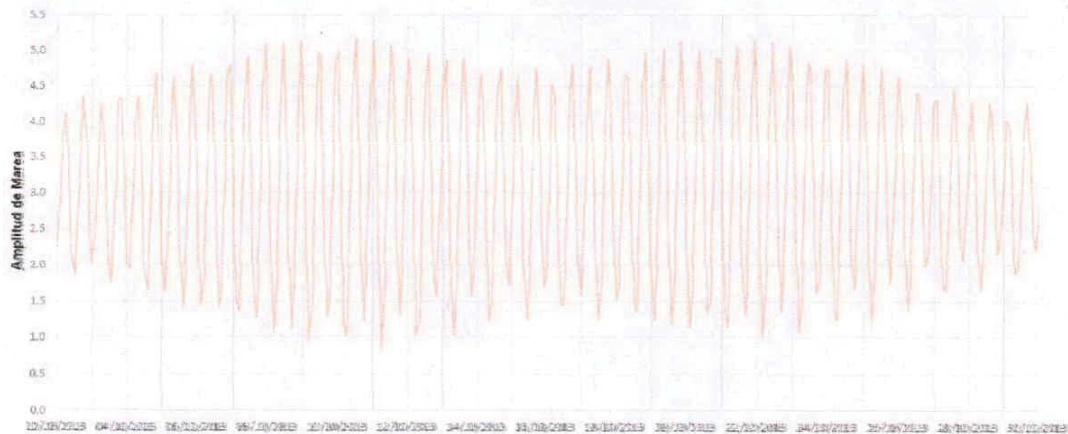


Figura 3.2: Serie temporal generada a partir de las componentes armónicas.

### 3.2 INFLUENCIA ATMOSFÉRICA Y CORRIENTES

Para analizar la influencia oceánica en el área de estudio, se consideraron datos diarios de temperatura, salinidad y velocidad de las corrientes, provistos por un modelo global de análisis físico del mar, que posee una resolución de grilla de  $1/12^\circ$  con 50 capas en la vertical. Los resultados de dicho modelo son provistos on-line por la Unión Europea.

Para el presente estudio, se extrajeron los datos mencionados anteriormente, para los dos años de información disponibles (2013, 2014) en el punto de coordenadas ( $67.5^\circ$  Sur,  $45.9167^\circ$  Oeste) y para todas las profundidades en la columna de agua. Éste punto corresponde a la celda más próxima a Rada Tilly, como puede verse en la Figura 3.3.

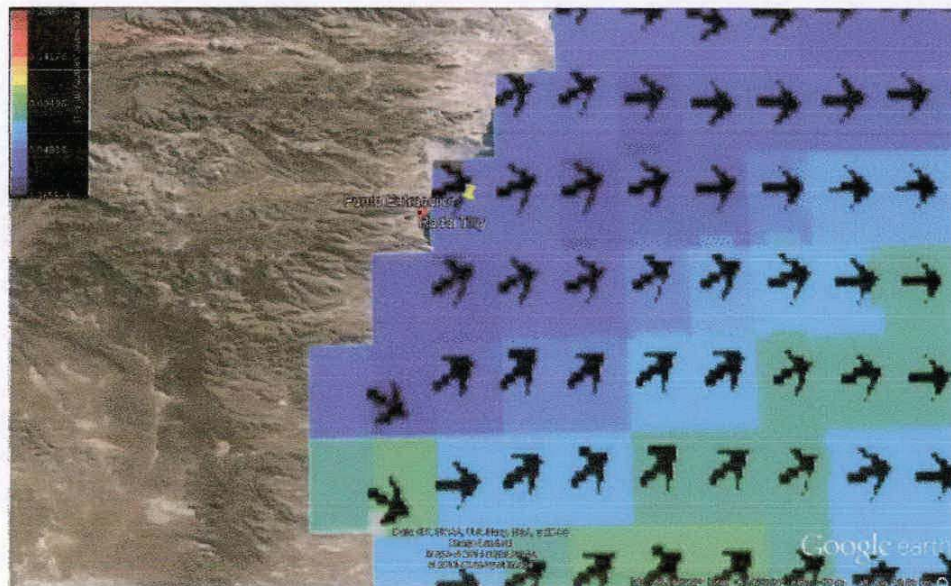


Figura 3.3: Localización del punto de extracción de datos oceánicos.

Luego de un análisis de las velocidades de las corrientes en la superficie de agua, pudo apreciarse que la dirección predominante está comprendida entre el Sur y el SO, mientras que las corrientes más intensas proviene desde el sector comprendido entre el NNE y el ENE. Luego, hay pocos eventos en dirección perpendicular a la costa, con sentido saliente (es decir hacia el mar) y un 25 % que sentido entrante, como puede observarse en la siguiente tabla:

Contador de eventos			
23%	44%	25%	9%
WNE-ENE	Sur-SO	Hacia la Costa	Hacia el mar

Tabla 3-2: Porcentaje de eventos de corrientes diarios.

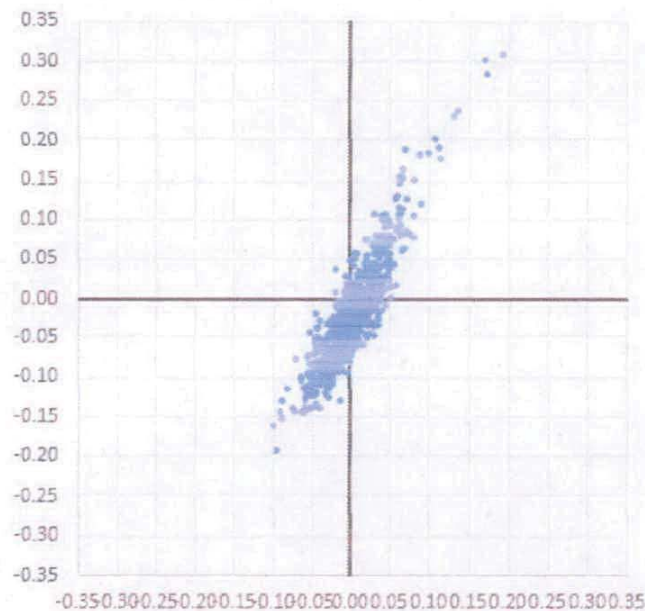


Tabla 3-3: Eventos de velocidad media (m/s) diaria para la corriente en la superficie de agua.

Al realizar un análisis del perfil vertical del velocidades pudo observarse que existen diferencias entre la velocidad promediada en la vertical, con el valor de la superficie. Esto se debe a que la corriente cambia su dirección a lo largo de las diferentes capas del modelo en sentido vertical, lo cual, como la diferencia de temperatura y salinidad es mínima (Ver Figura 3.4 y Figura 3.5), se puede atribuir a posibles efectos del viento y rugosidad del lecho.



Figura 3.4: Comparación entre las temperaturas (°K) de la capa superficial y la capa de fondo.



Figura 3.5: Comparación entre las salinidad (psu) de la capa superficial y la capa de fondo.

Para completar el análisis de la influencia atmosférica se analizaron y compararon tres series de datos de vientos para las estaciones que se grafican en la Figura 3.6. Una de ellas se obtuvo del modelo MyOcean, que cuenta con dos series de datos, 2007-2008 y 2012-2014. Otra serie corresponde a datos del año 2008, del Punto OW 2008 de la empresa Ocean Weather, ubicado al NE del área de estudio fuera del Golfo San Jorge. La última estación con datos es la ubicada en el aeropuerto de Comodoro Rivadavia, pero de la que sólo se cuenta con datos mensuales.



Figura 3.6: Localización de las tres estaciones con datos de vientos.

A continuación se grafican las estadísticas de Intensidad y dirección diarias para las tres primeras series (ver Figura 3.7 y Figura 3.8), y posteriormente una comparación mensual con la Estación de Comodoro Rivadavia (ver Figura 3.9).

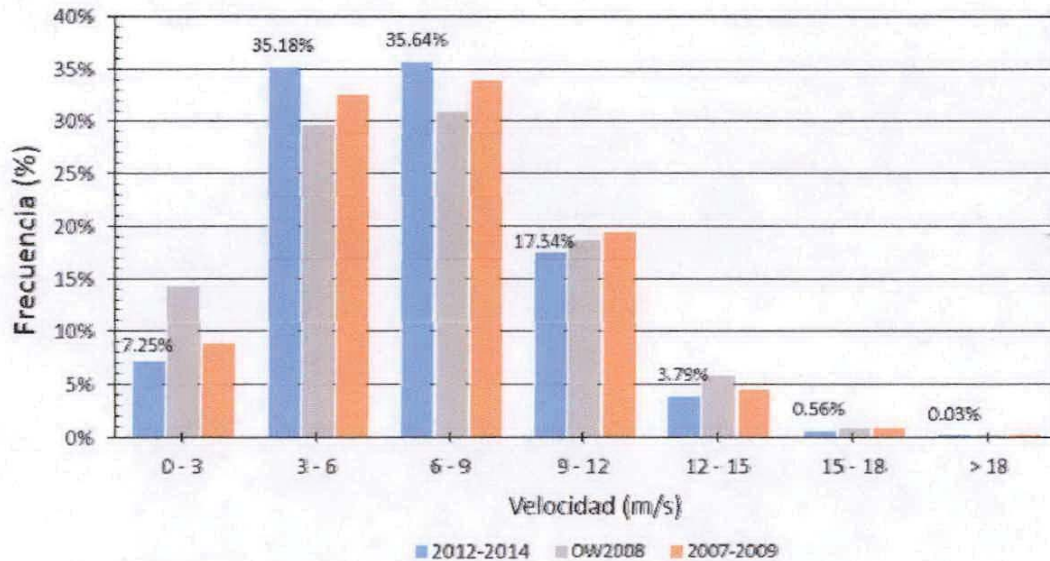


Figura 3.7: Estadística de Intensidad de viento (m/s), para las tres series con datos diarios.

**ANTEPROYECTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN EMISARIO  
CLOACAL MARÍTIMO EN RADA TILLY PCIA. DE CHUBUT**  
Modelización Hidrodinámica y Selección de  
Traza del Emisario  
Informe Final

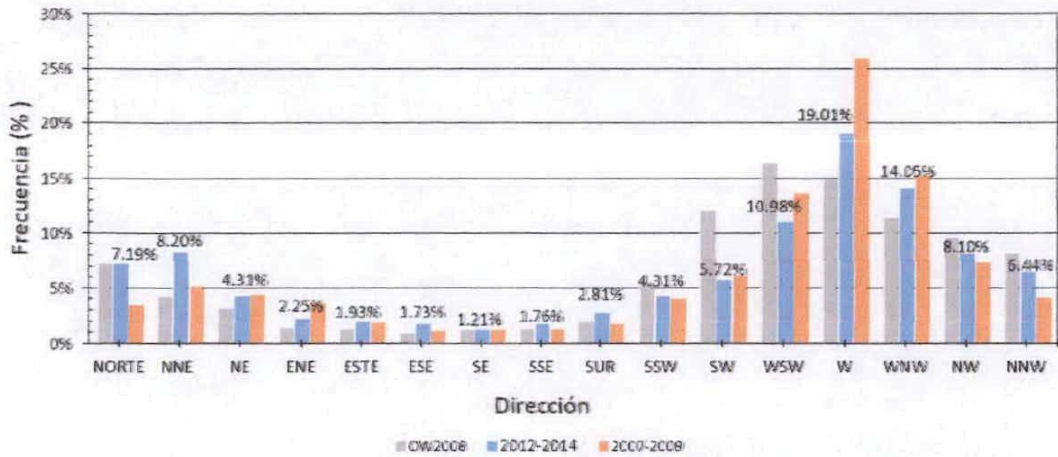


Figura 3.8: Estadística Direccional de Viento, para las tres series con datos diarios.

Puede concluirse que en el sector de Rada Tilly y prácticamente sobre todo el Golfo San Jorge, la dirección predominante de los vientos corresponde al Oeste con una frecuencia de 30% del tiempo aproximadamente. Seguida por los vientos provenientes del NO y del SO, con un 18% y un 10% respectivamente.

Las intensidades del viento más frecuentes oscilan entre 3 y 9 m/s, seguido por vientos de entre 9 y 12 m/s, siendo la velocidad promedio del viento de unos 7 m/s.

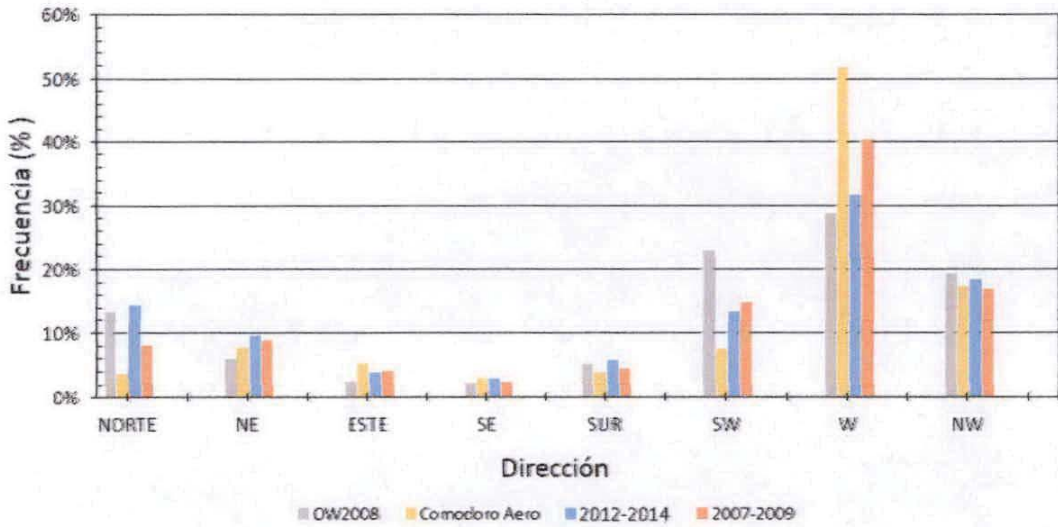


Figura 3.9: Estadística Direccional de Viento, para las cuatro series con datos mensuales.

### 3.3 MEDICIONES DE CORRIENTES

La secretaría de gobierno de Rada Tilly coordinó la realización de mediciones de corrientes, las cuales fueron efectuadas dejando una embarcación a la deriva y midiendo su posición con un GPS.

Las mediciones fueron tres, y se presentan a continuación:



Figura 3.10: Primera medición realizada el 5/12/2014, durante 14 minutos.

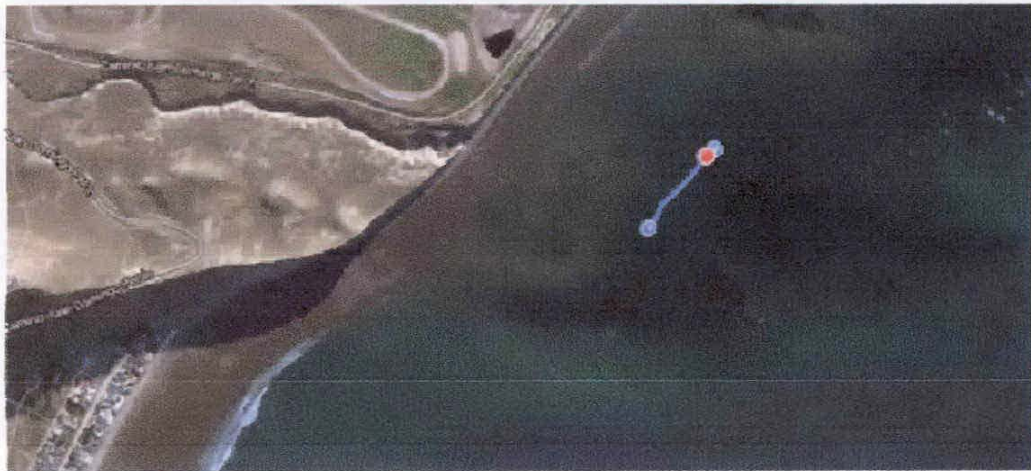


Figura 3.11: Segunda medición realizada el 30/12/2014, durante 16 minutos.

La primera medición se realizó con marea creciente cuando el viento soplaba del Oeste a 14 km/h. La segunda medición coincidió con una marea bajante y fue realizada también con un viento soplando del Oeste pero a 8 km/h. Finalmente la tercera se efectuó durante otra marea bajante con un viento del NE a 27 km/h. El promedio de tiempo de medición fue 15 minutos.

Para los tres casos la velocidad promedio de la corriente oscila entre 0,04 y 0,06 m/s.



Figura 3.12: Tercera medición realizada el 9/01/2015, durante 16 minutos.

Puede observarse que la dirección de la corriente superficial de agua, está muy influenciada por la intensidad y dirección de viento al momento de la medición. Por ejemplo, para el primer caso, cuando la marea es creciente la corriente se acerca hacia la costa desde mar adentro, pero la trayectoria de la embarcación indica un movimiento en sentido contrario, de Oeste a Este.

#### 4. DESCRIPCIÓN DEL MODELO HIDRODINÁMICO

##### 4.1 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 interfase 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 el National Center for Super Computation Application (NCSA<sup>1</sup>). 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.<sup>2</sup>

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.

La Figura 4.1 se ilustra la interacción entre distintos módulos del sistema, mostrando las relaciones y las interfaces con los diferentes medios.

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

<sup>1</sup> [http://www.hdfgroup.org/projects/ncsa\\_systems/](http://www.hdfgroup.org/projects/ncsa_systems/) Consultado en Abril de 2011

<sup>2</sup> Estudio inicial del modelo MOHID. Barreto, Igancio; 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

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.

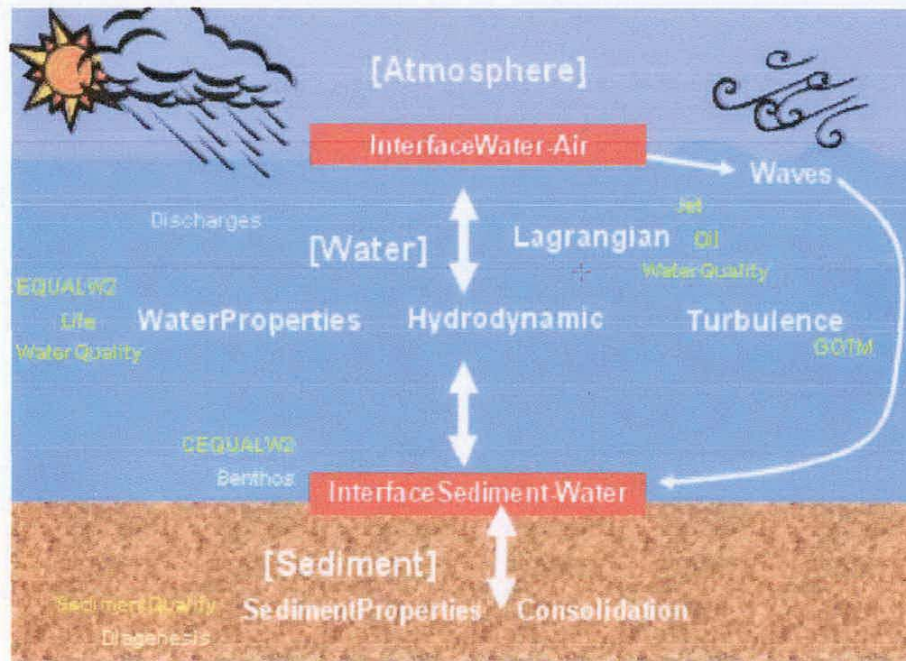


Figura 4.1: Principales Módulos de MOHID Water.

El modelo ha sido implementado por Serman & asociados S.A. 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.

Este modelo macro permite validar la evolución de la onda de marea y alimentar modelos locales de subtramos costeros. En el presente caso ello no fue necesario dado que se simula el flujo dentro de un golfo y es suficiente brindar las condiciones de contorno en su boca para lograr una solución adecuada en la zona interior costera de Rada Tilly.

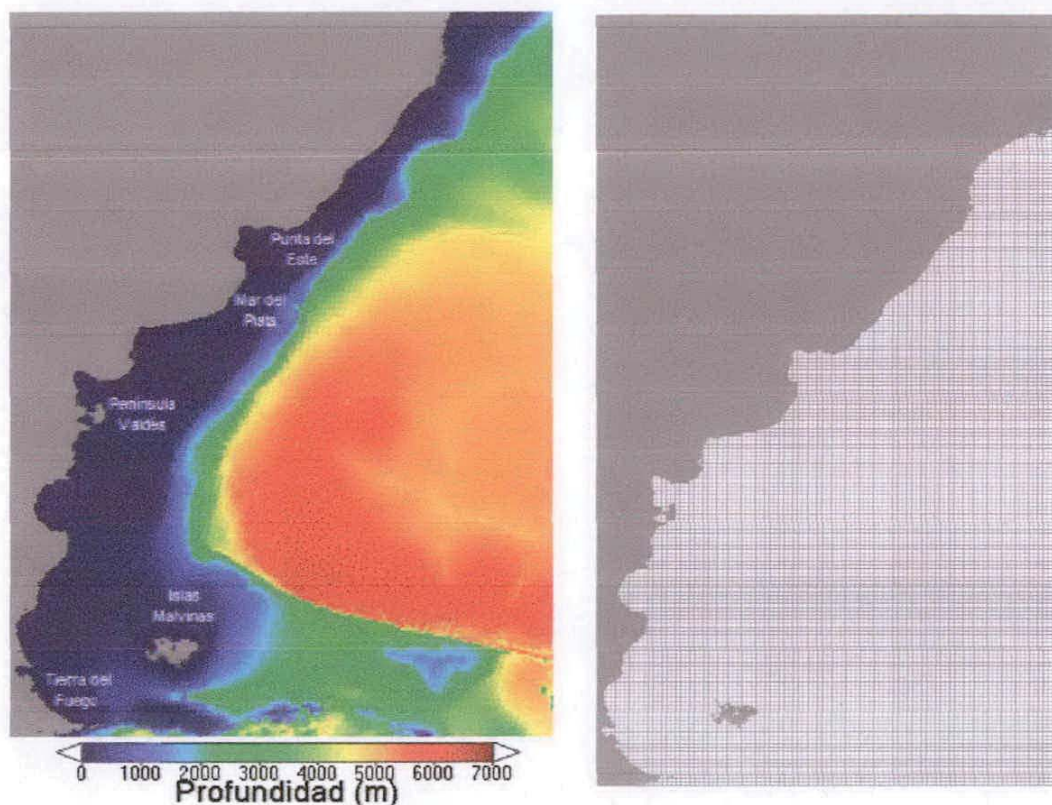


Figura 4.2: Profundidades y Grilla del Modelo MOHID del mar Argentino.

#### 4.2 DESCRIPCIÓN DE LOS MÓDULOS HIDRODINÁMICO Y LAGRANGEANO

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 semiimplícito 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 simulación de los coliformes emitidos en el medio, se realizará implementando el módulo lagrangiano del MOHID, que permite seguir el movimiento tanto de vertidos o eyecciones, sean sólidos, líquidos u oleosos bajo diferentes forzamientos, a la vez que incorpora procesos internos de la sustancia vertida.

Las trazas de las partículas incorporadas al medio pueden calcularse considerando movimientos no aleatorios y aleatorios. El primero, describe el movimiento de la partícula sin dispersarse es decir, se mueve a lo largo de la trayectoria que describe el campo de velocidades en función del tiempo.

El segundo, se mueve en el mismo campo hidrodinámico pero su trayectoria realiza una variación tanto vertical como horizontalmente. Ésta modificación aleatoria, se expresa en forma de porcentaje de la velocidad promedio, y la fórmula de cálculo es la siguiente:

$$U(\text{StandardDeviation}) = \text{VarVelHx} * \text{vel} + \text{VarVelH}$$

El movimiento aleatorio se calcula utilizando la longitud de la mezcla y la variancia de la velocidad turbulenta. El trazador mantiene la velocidad aleatoria o turbulenta, durante el tiempo necesario que le toma atravesar la longitud de la mezcla.

## 5. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO HIDRODINÁMICO

El modelo hidrodinámico ha sido diseñado, calibrado y validado con el fin de reproducir los fenómenos descritos en el Golfo San Jorge, según lo descrito en el párrafo sobre las condiciones hidrodinámicas del mismo.

Con toda la información descrita anteriormente se procedió a implementar el modelo hidrodinámico MOHID (<http://www.mohid.com/>) para crear un modelo bidimensional del Golfo San Jorge que abarca el sitio de estudio.

La simulación fue llevada a cabo utilizando dos grillas anidadas. Una grilla de Baja Resolución con celdas de 200 m de lado, cuya extensión total es aproximadamente 37.500 km<sup>2</sup>. Dentro de anterior se encuentra la malla de Alta Resolución con celdas de 40 m de lado cubriendo una extensión de 117 km<sup>2</sup> como se observa en la Figura 5.1.

La topo-batimetría de base empleada para elaborar la modelación se ha descrito en el párrafo "Topografía y batimetría de la zona de estudio".

El borde oceánico de la grilla de Baja Resolución se determinó con el objetivo de coincidir aproximadamente con una Isolínea de profundidad 50 m y con la línea de isoamplitud de 1,30 m para la componente lunar semidiurna M2 de la marea.

El programa MOHID posee una herramienta que permite conocer las componentes armónicas de la marea en cualquier punto del océano, permitiendo así generar series de tiempo de niveles mareológicos que se emplean como condiciones de contorno. Para el presente caso de estudio, se consideraron tres puntos sobre el borde oceánico de la grilla de Baja Resolución, uno en el extremo Norte, otro en el Sur y el último en el centro. El MOHID interpola los datos entre éstos puntos, asignándole un valor específico a cada celda perteneciente al borde abierto. Dichos valores fueron los forzantes del modelo que abarca el Golfo San Jorge, y los resultados modelados se cotejaron con los datos pronosticados por el SHN en el Puerto de Comodoro Rivadavia, calibrando de esta forma dicho modelo.

El modelo de Alta Resolución es forzado también con la amplitud de marea sobre el borde oceánico, con los resultados que resultan del modelo de Baja Resolución en los puntos donde ambos modelos se intersectan.

Teniendo en cuenta que no se dispone de datos meteoceanicos registrados en la columna de agua in inmediaciones de Rada Tilly como para calibrar una modelación hidrodinámica tridimensional, y considerando que la trayectoria del chorro de descarga de los difusores se encuentra razonablemente bien descrita por las corrientes medias en vertical (dado que rápidamente la pluma subirá hasta la superficie y abarcará toda la columna de agua), se ha efectuado la simulación empleando el modelo matemático en forma bidimensional.

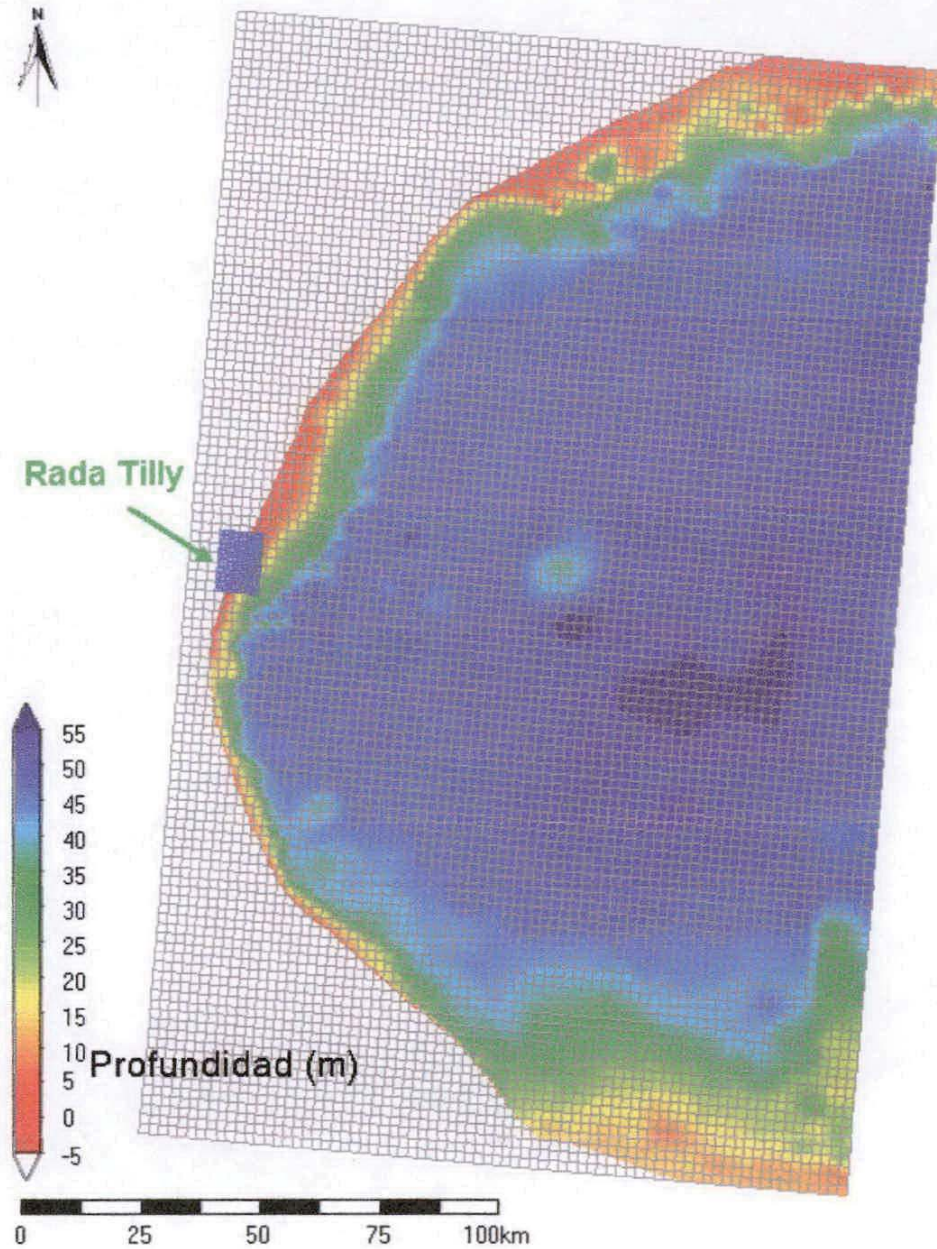


Figura 5.1: Grillas de cálculo anidadas utilizadas en la simulación

## 5.1 CALIBRACIÓN DEL MODELO DE BAJA RESOLUCIÓN

La calibración de la grilla de baja resolución se realizó validando los niveles de agua en Puerto Comodoro Rivadavia, obteniendo como resultado un alto coeficiente de correlación.

La Figura 5.2 representa las series de tiempo de la marea astronómica y los resultados del modelo de baja resolución. Los niveles de agua astronómicos en Comodoro Rivadavia resultan muy similares a 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 estas componentes de marea han sido forzadas a lo largo de todo el borde del modelo y a la distancia recorrida por la onda hasta llegar a la estación de validación.

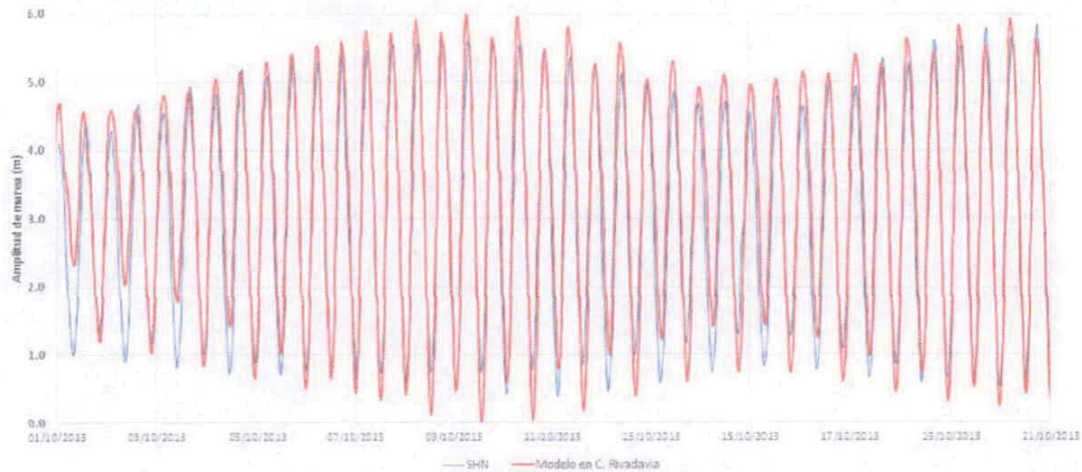


Figura 5.2: Niveles de agua obtenidos a través del análisis armónico en Puerto Comodoro Rivadavia y resultados de la modelación matemática

Las condiciones típicas de marea en pleamar y bajamar en el modelo de baja resolución se ilustran en la Figura 5.3 y la Figura 5.4, y las condiciones de corrientes típicas se muestran en la Figura 5.5 y la Figura 5.6.

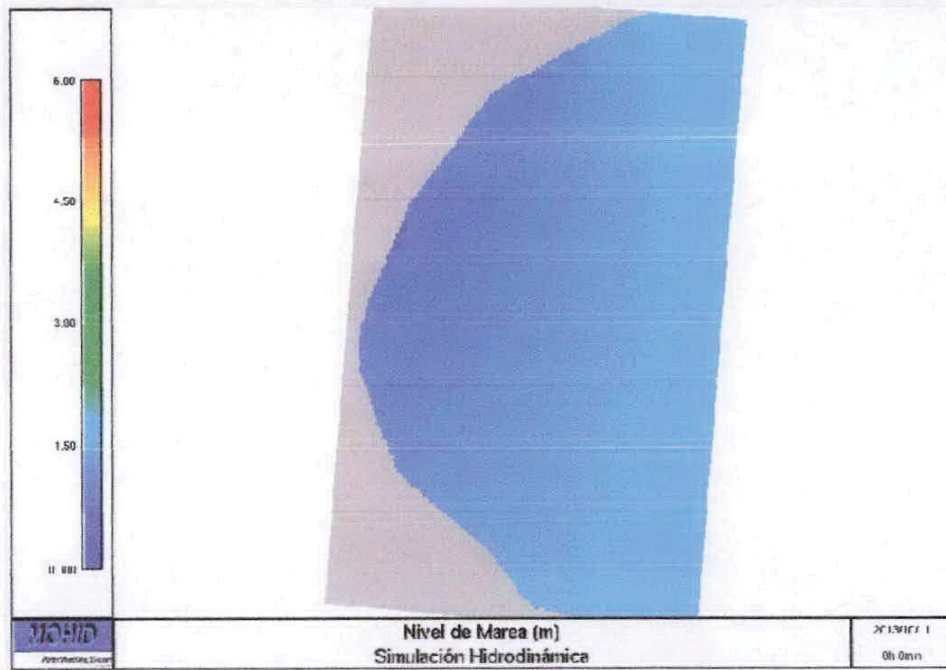


Figura 5.3: Niveles típicos de Bajamar en el modelo de Baja Resolución

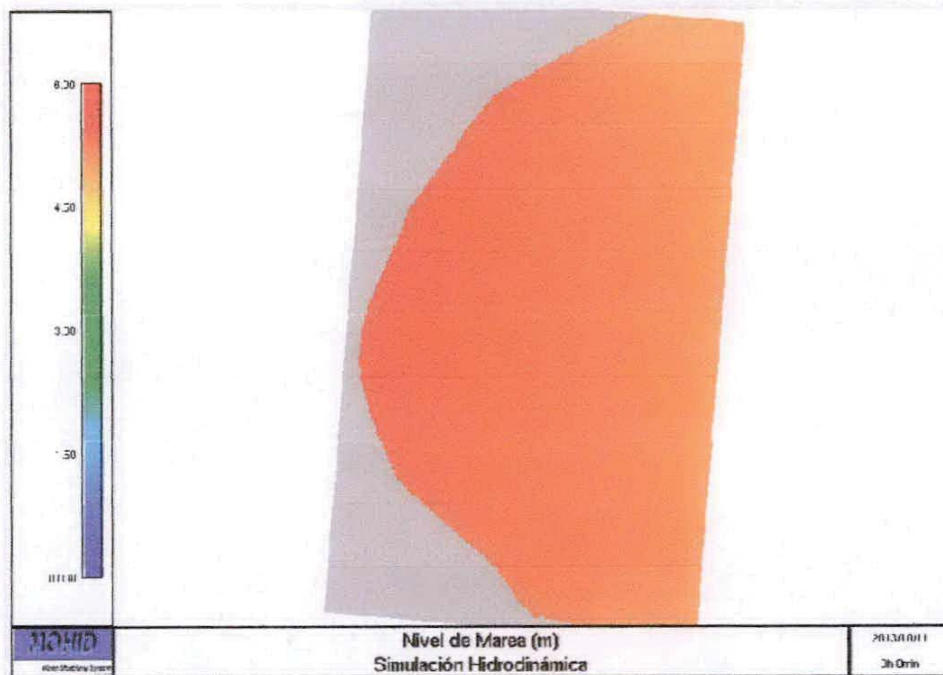


Figura 5.4: Niveles típicos de Pleamar en el modelo de Baja Resolución



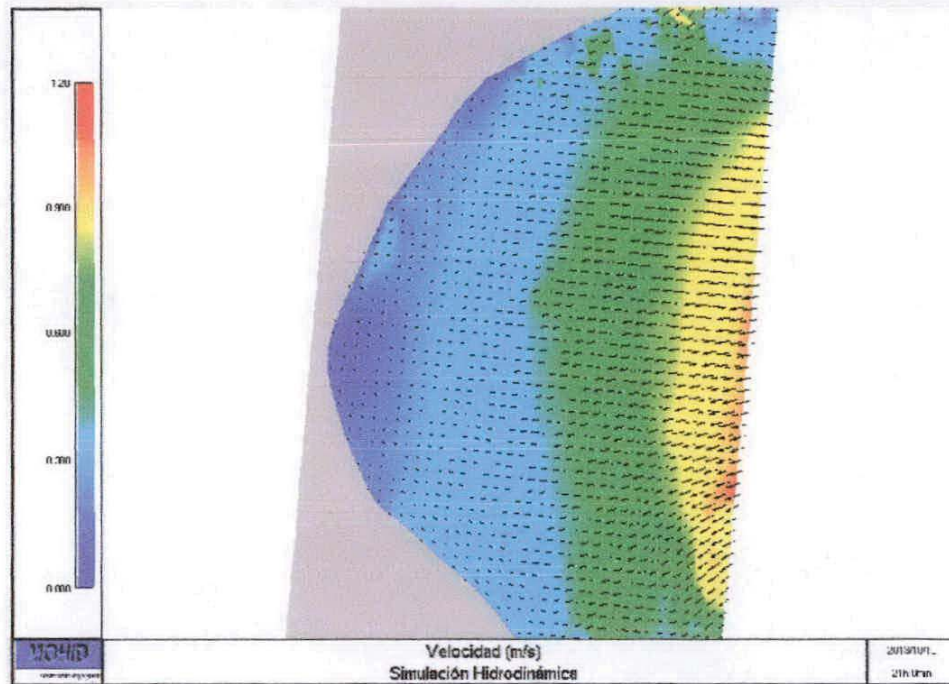


Figura 5.5: Velocidades típicas en condiciones de Flujo en el modelo de Baja Resolución

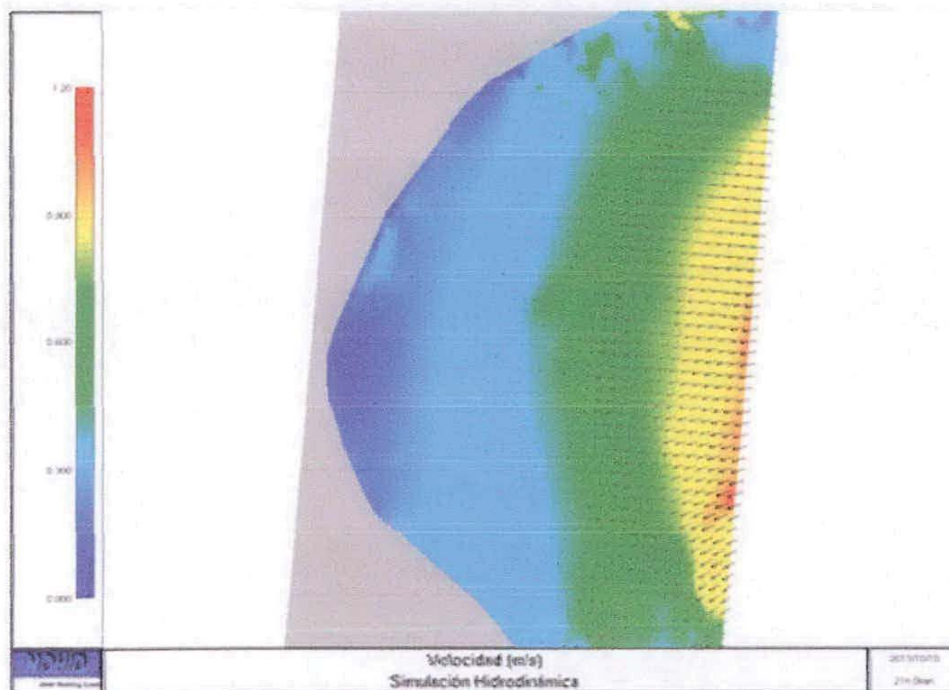


Figura 5.6 Velocidades típicas en condiciones de Reflujo en el modelo de Baja Resolución

## 5.2 CALIBRACIÓN DEL MODELO DE ALTA RESOLUCIÓN

La calibración del modelo de alta resolución se realizó comparando los niveles de marea obtenidos mediante la modelación en Rada Tilly con los niveles pronosticados con la herramienta MOHID-TIDE en el mismo punto.

Además se consideraron los datos de corrientes medidos por la Municipalidad de Rada Tilly en cuanto a los órdenes de magnitud de las intensidades, puesto que los lapsos de tiempo durante los cuales se realizaron las mediciones son muy cortos, tan solo 15 minutos, por lo cual no pueden compararse estrictamente con los resultados del modelo de Alta Resolución en un instante determinado, ya que la trayectoria medida por la embarcación depende de la historia del campo de vientos en todo el Golfo en las horas previas a la medición. En la Figura 5.8 puede observarse que las corrientes modeladas en las zonas de medición (ver ubicación del punto en la Figura 5.7), toman diferentes direcciones a lo largo de los períodos de bajante y creciente, y que en algunos momentos del ciclo del marea se encuentran en el rango de direcciones estimadas a través de las mediciones realizadas.

Es importante notar, que estas simulaciones no están siendo forzadas por viento, factor que influye en las mediciones realizadas, puesto que en general el sentido de las corrientes superficiales, que son las registradas por la embarcación, está muy influido por la dirección del viento.

Por otro lado, de la Figura 5.8 puede observarse también, que la velocidad promedio es de 0.06 m/s para el punto representativo del área de medición, lo cual concuerda con las velocidades medias de las trayectorias medidas (0,04 a 0,06 m/s aproximadamente).



Figura 5.7: Ubicación del punto representativo del área de medición.

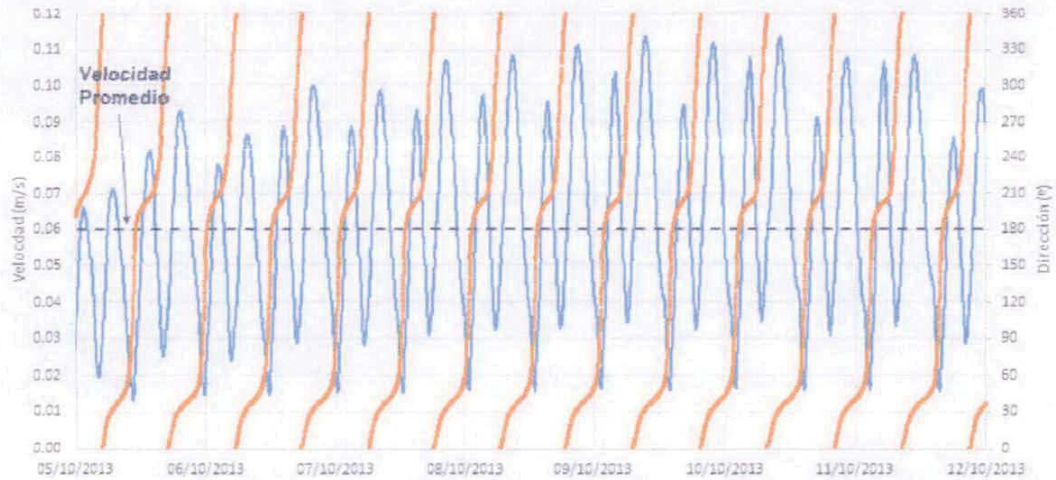


Figura 5.8: Velocidad y dirección de la corriente en un punto cercano a las mediciones realizadas.

En la Figura 5.9 y la Figura 5.10 se presentan los niveles típicos en todo el sector modelado en alta resolución, para condiciones de bajamar y pleamar, respectivamente, observándose los efectos de la gran amplitud de marea sobre la playa, donde las celdas se secan o se inundan en concordancia con la bajamar y la pleamar.

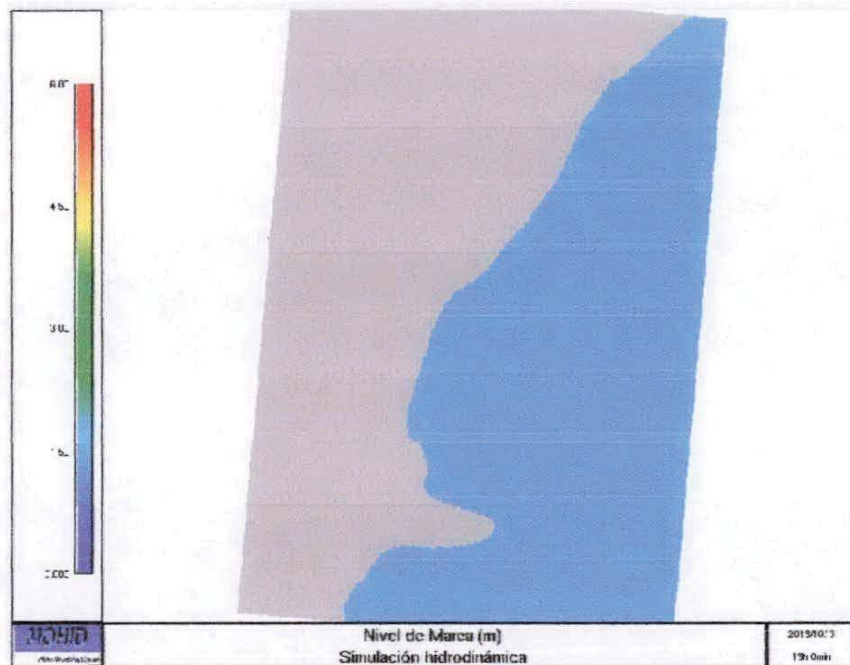


Figura 5.9: Niveles típicos de Bajamar en el modelo de Alta Resolución

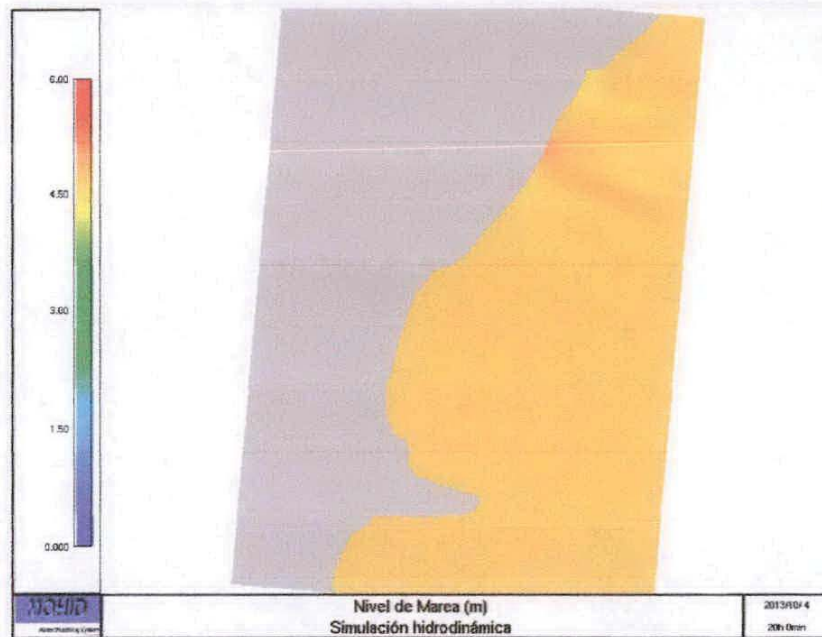


Figura 5.10: Niveles típicos de Pleamar en el modelo de Alta Resolución

Las velocidades típicas de Flujo y Reflujo se presentan en la Figura 5.11 y la Figura 5.12.

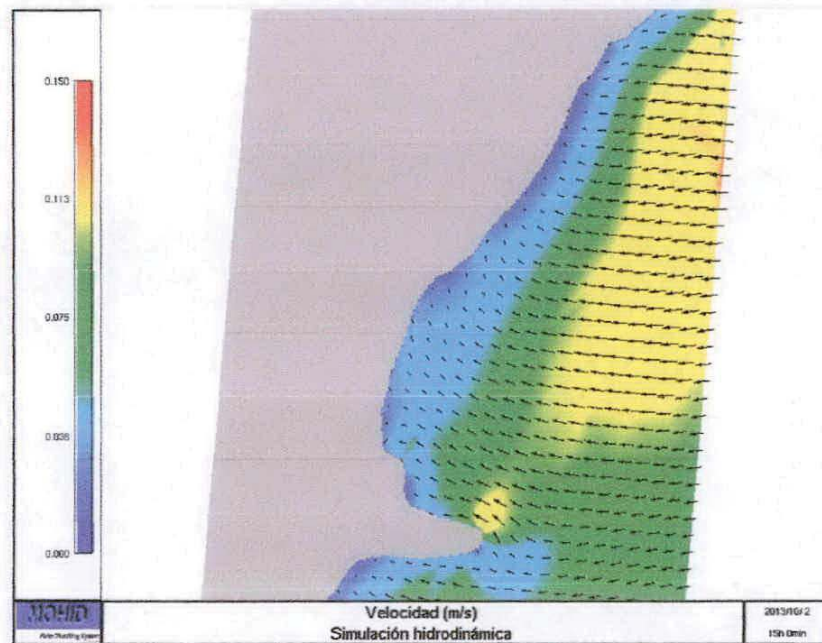


Figura 5.11: Velocidades típicas en condiciones de Flujo en el modelo de Alta Resolución

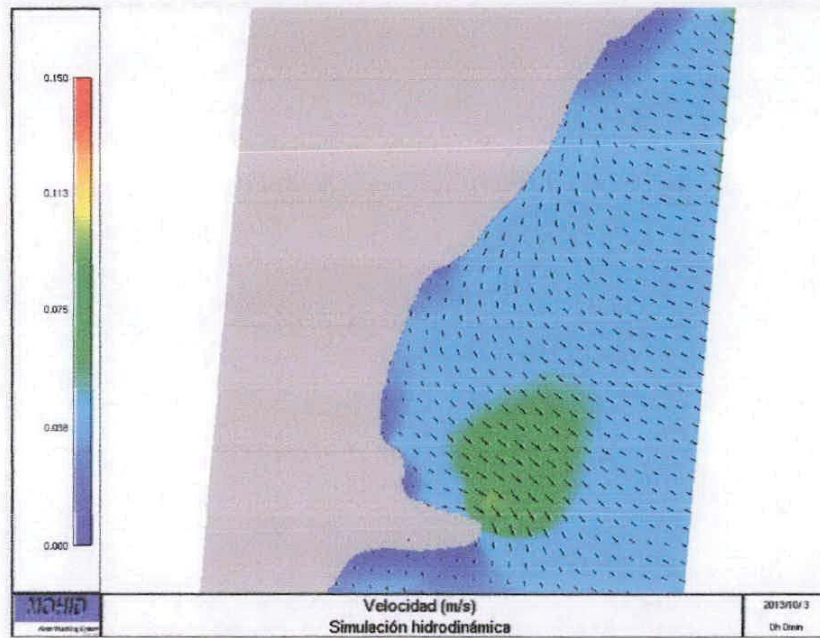


Figura 5.12: Velocidades típicas en condiciones de Reflujo en el modelo de Alta Resolución

## 6. TRAYECTORIAS SEGUIDAS POR PARTÍCULAS CONSERVATIVAS EMITIDAS DESDE DISTINTAS UBICACIONES DE LOS DIFUSORES EN TRES POSIBLES TRAZAS DEL EMISARIO

### 6.1 ALTERNATIVAS DE TRAZA Y UBICACIÓN DE LOS DIFUSORES

Para analizar la circulación de la corriente en distintos puntos de la rada, y estimar la trayectoria de las plumas de efluentes cloacales, se realizaron corridas descargando partículas conservativas y siguiendo su trayectoria en el campo hidrodinámico calculado con el MOHID.

Las partículas se consideran conservativas puesto que no poseen decaimiento, se mantienen en suspensión indefinidamente durante toda la modelación.

Éstas trazas se calcularon considerando movimientos no aleatorios y aleatorios, según fue descrito anteriormente.

A continuación se presentan las posibles ubicaciones analizadas tanto del emisario como de los difusores. La distancia entre cada punto de análisis de la descarga, sobre la misma traza del emisario, es de 250 m, y el primer punto, para los tres casos, coincide con la isolínea de profundidad 2 m, de forma tal que en el punto más cercano a la costa los difusores queden cubiertos siempre por una columna de agua de al menos 1,5 m en cualquier situación de marea astronómica.



Figura 6.1: Ubicaciones posibles del emisario y de los difusores.

## 6.2 RESULTADOS CON MOVIMIENTO NO ALEATORIO

A continuación se grafican a modo de ejemplo las trayectorias de las partículas emitidas en algunos de los puntos definidos anteriormente, luego de 12 hs de ser emitida la primer partícula. La duración elegida para la representación es también conservativa, puesto que es superior al tiempo de decaimiento característico T90 para las bacterias coliformes fecales en agua salada, razón por la cual las mismas se verán fuertemente reducidas en número en ese lapso de tiempo. En el Informe Final se presentará mayor información respecto de las trayectorias.

En la Figura 6.2, la Figura 6.3 y la Figura 6.4 se presentan para el emisario Norte, tres posibles ubicaciones de los difusores, representativas de los siete escenarios simulados.

En las imágenes mencionadas puede observarse que las plumas generadas a partir de las distintas posiciones de emisión, no se dirigen hacia Rada Tilly. Por lo tanto, según estas simulaciones, donde el movimiento de la partícula es no aleatorio, cualquiera de las posiciones del difusor a partir, son posibles desde el punto de vista de la afectación costera.

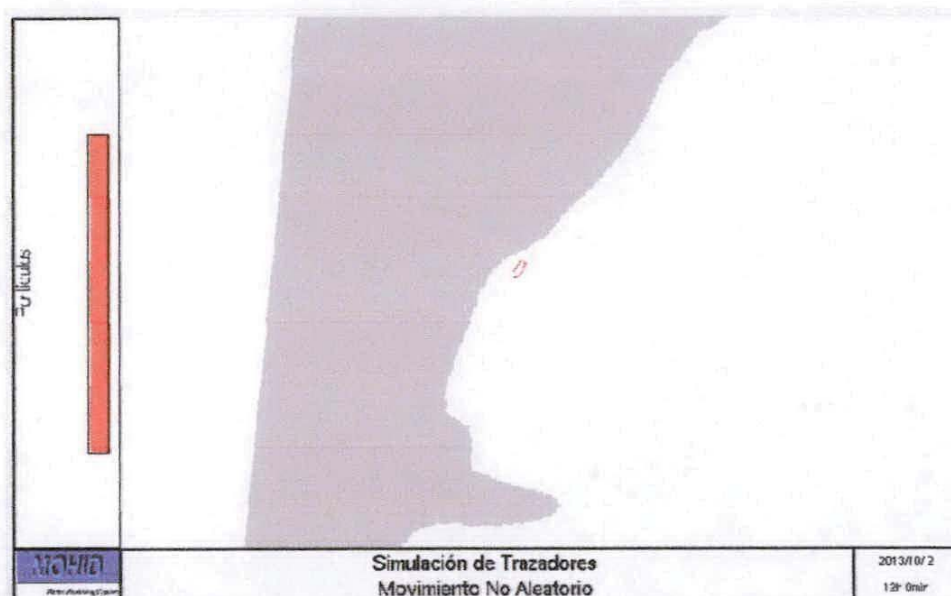


Figura 6.2: Trayectoria realizada por el posible futuro difusor ubicado en el Punto 1 del Emisario Norte.

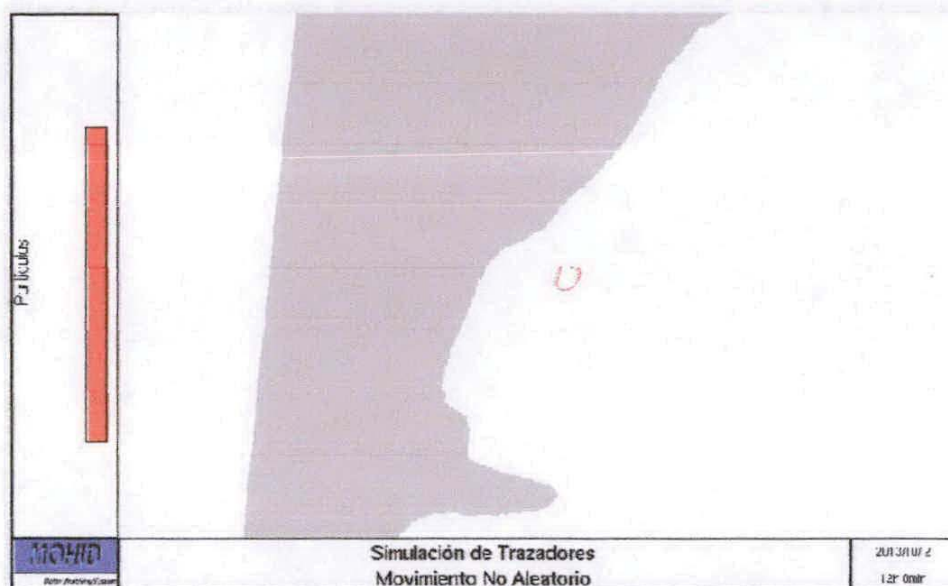


Figura 6.3: Trayectoria realizada por el posible futuro difusor ubicado en el Punto 4 del Emisario Norte.



Figura 6.4: Trayectoria realizada por el posible futuro difusor ubicado en el Punto 7 del Emisario Norte.

En la Figura 6.5, la Figura 6.6 y la Figura 6.7 se presentan para el emisario Central, tres posibles ubicaciones de los difusores, representativas de los siete escenarios simulados.



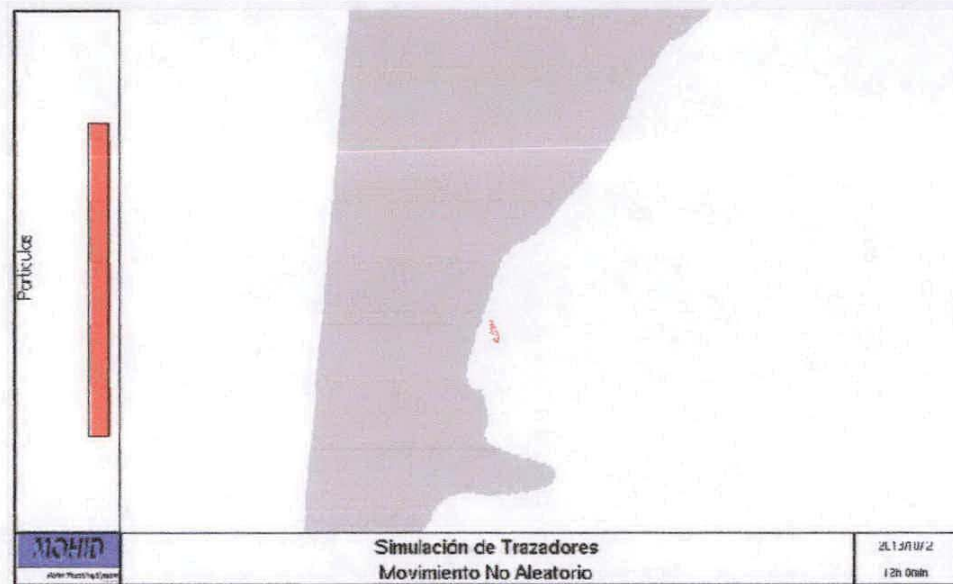


Figura 6.5: Trayectoria realizada por el posible futuro difusor ubicado en el Punto 1 del Emisario Central.

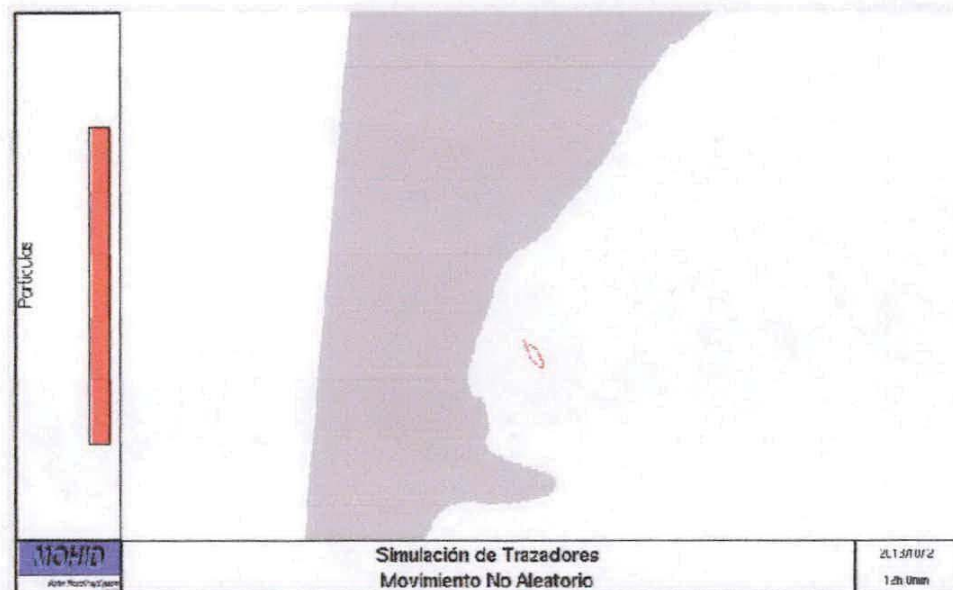


Figura 6.6: Trayectoria realizada por el posible futuro difusor ubicado en el Punto 4 del Emisario Central.



Figura 6.7: Trayectoria realizada por el posible futuro difusor ubicado en el Punto 7 del Emisario Central.

Para el emisario CENTRAL, las plumas que se generan, en cualquier punto de descarga, se quedan atrapadas en la zona de la rada, pero en ningún caso llega a depositarse en la costa. Sin embargo, se pueden presentar inconvenientes de acumulación de las aguas contaminadas.

En la Figura 6.8, la Figura 6.9 y la Figura 6.10 se presentan para el emisario Sur, tres posibles ubicaciones de los difusores, representativas de los siete escenarios simulados.

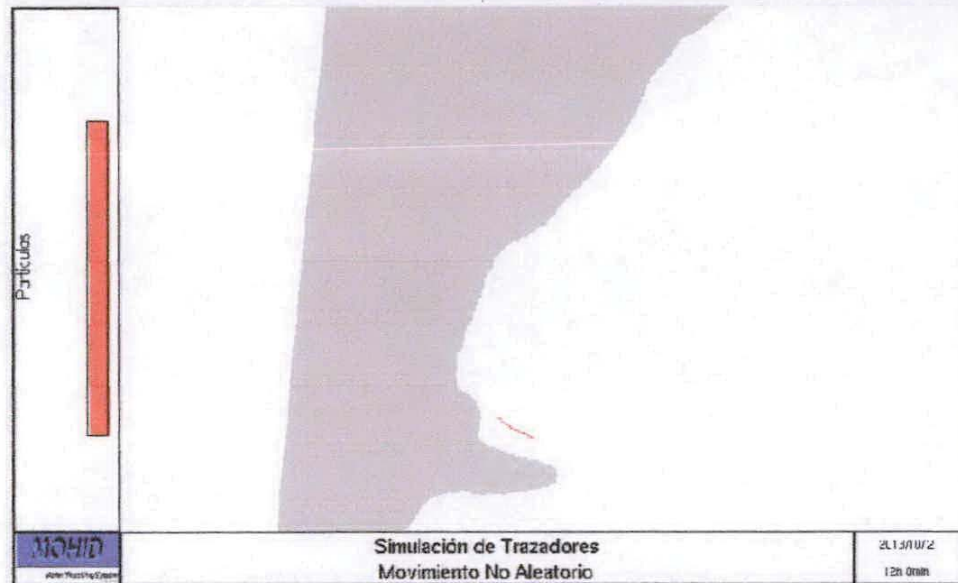


Figura 6.8: Trayectoria realizada por el posible futuro difusor ubicado en el Punto 1 del Emisario Sur.

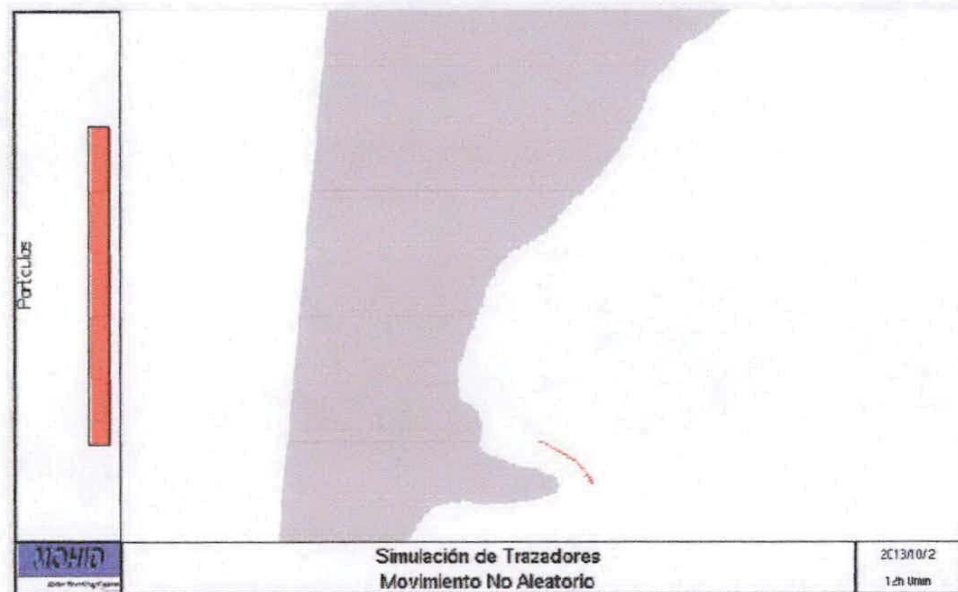


Figura 6.9: Trayectoria realizada por el posible futuro difusor ubicado en el Punto 4 del Emisario Sur.

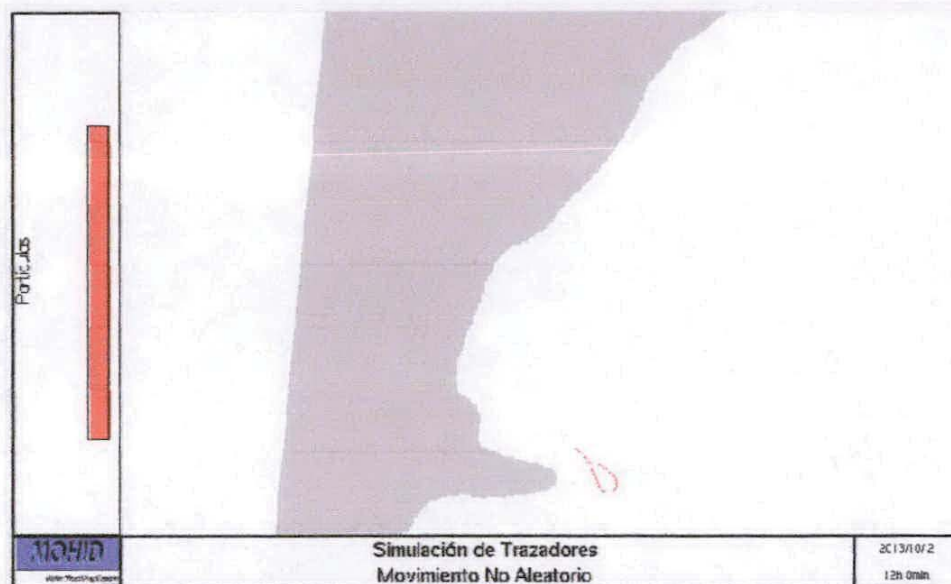


Figura 6.10: Trayectoria realizada por el posible futuro difusor ubicado en el Punto 7 del Emisario Sur.

Para el emisario Sur, las plumas que se generan en cualquier punto de descarga, no se aproximan en ningún caso a la costa de Rada Tilly, pero se mantienen en cercanías al área de pesca en Punta Marques.

### 6.3 RESULTADOS CON MOVIMIENTO ALEATORIO

A continuación se grafican las trazas descriptas por las partículas emitidas en algunos de los puntos definidos anteriormente, luego de 12 hs de ser emitida la primer partícula, pero para el presente caso el movimiento que describen las partículas es aleatorio. De la misma manera, el tiempo elegido es conservativo también, puesto que es superior al tiempo de decaimiento característico para las bacterias coliformes fecales.

En la Figura 6.11, la Figura 6.12 y la Figura 6.13 se presentan a modo de ejemplo para el emisario Norte, tres posibles ubicaciones de los difusores, representativas de los siete escenarios simulados.

Para el caso del Emisario Norte donde el movimiento que describen las partículas es ALEATORIO, puede observarse que muy pocas partículas son las que llegan a la costa de Rada Tilly, como se vio también para el caso del movimiento NO ALEATORIO. Pero en éste caso el punto de emisión más próximo a la costa, emite partículas que llegan a la playa. Por lo tanto, cuanto más alejado a la costa se realiza la descarga, menor concentración de partículas llega a la misma.

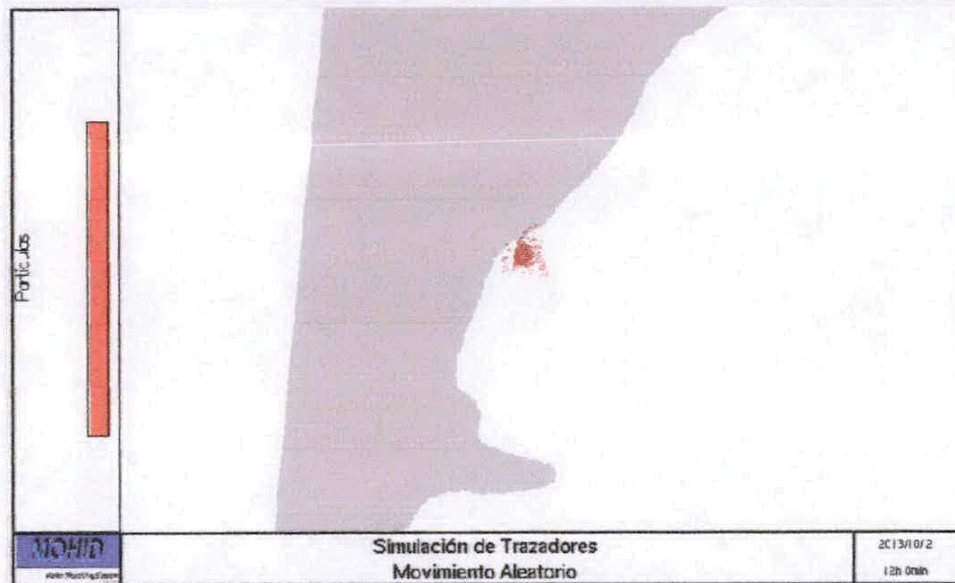


Figura 6.11: Trayectoria realizada por el posible futuro difusor ubicado en el Punto 1 del Emisario Norte.

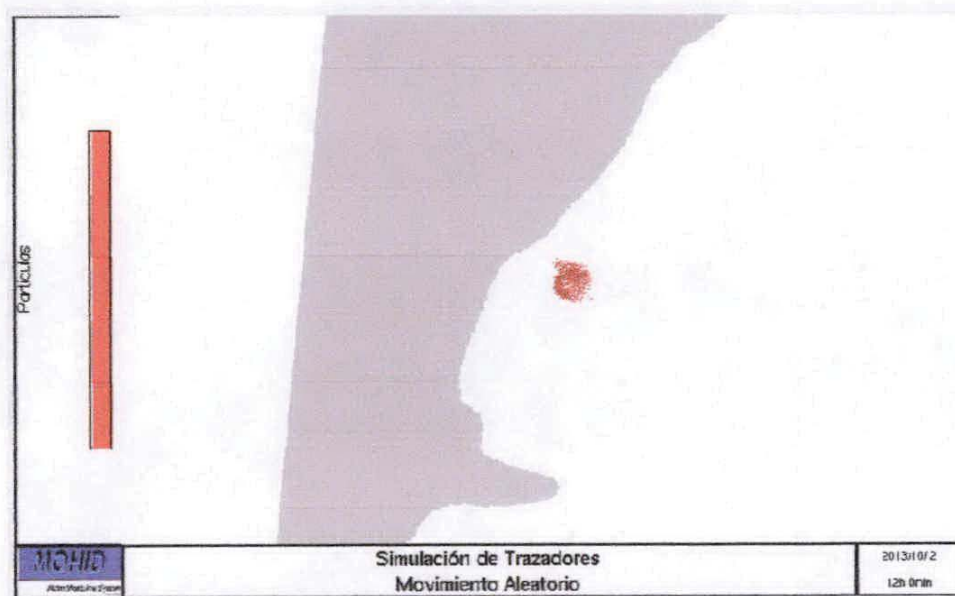


Figura 6.12: Trayectoria realizada por el posible futuro difusor ubicado en el Punto 4 del Emisario Norte.



Figura 6.13: Trayectoria realizada por el posible futuro difusor ubicado en el Punto 7 del Emisario Norte.

En la Figura 6.14, la Figura 6.15 y Figura 6.16 se presentan para el emisario Central, tres posibles ubicaciones de los difusores, representativas de los siete escenarios simulados.

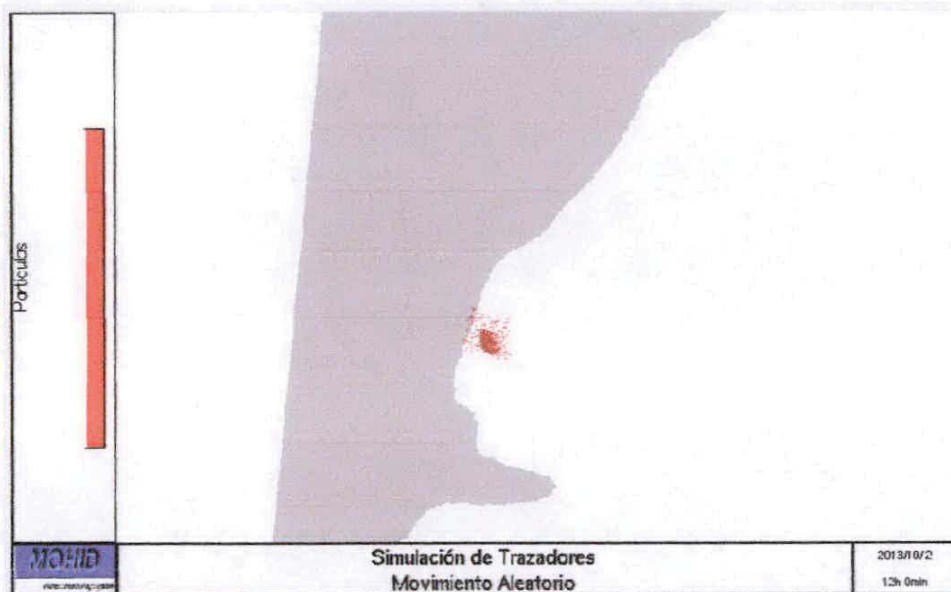


Figura 6.14: Trayectoria realizada por el posible futuro difusor ubicado en el Punto 1 del Emisario Central.



Figura 6.15: Trayectoria realizada por el posible futuro difusor ubicado en el Punto 4 del Emisario Central.

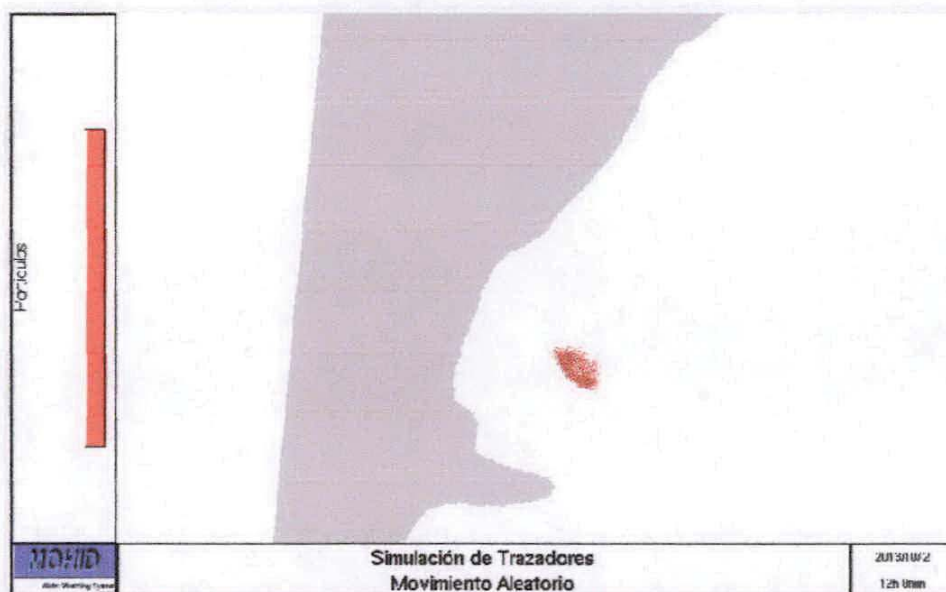


Figura 6.16: Trayectoria realizada por el posible futuro difusor ubicado en el Punto 7 del Emisario Central.

Para la descarga correspondiente a la primera posición del emisario Central más cercana a la costa, el movimiento aleatorio coloca partículas por toda la costa de Rada Tilly cualquiera sea la ubicación del punto de descarga del emisario.

En la Figura 6.17, la Figura 6.18 y Figura 6.19 la se presentan para el emisario Sur, tres posibles ubicaciones de los difusores, representativas de los siete escenarios simulados.



Figura 6.17: Trayectoria realizada por el posible futuro difusor ubicado en el Punto 1 del Emisario Sur.

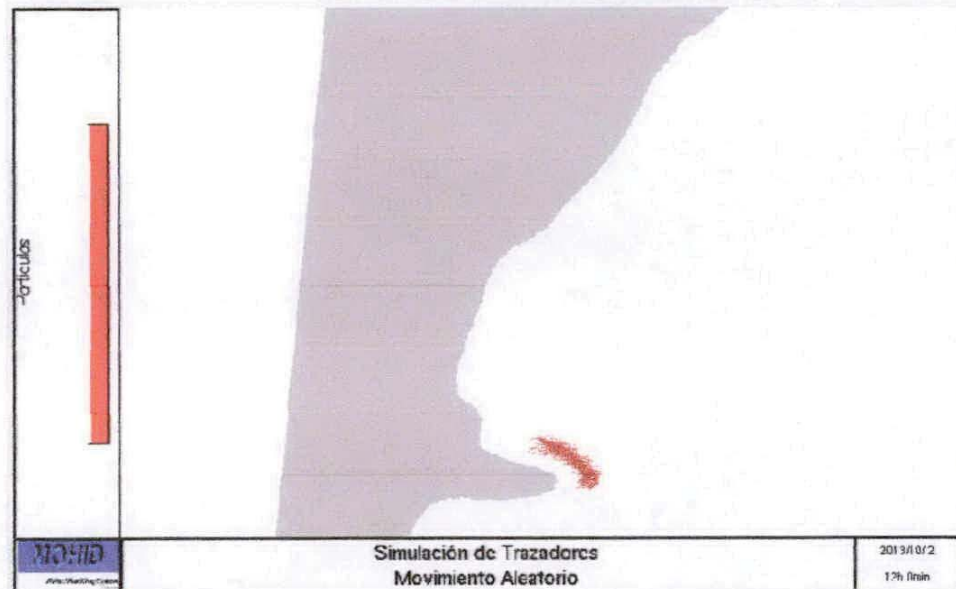


Figura 6.18: Trayectoria realizada por el posible futuro difusor ubicado en el Punto 4 del Emisario Sur.



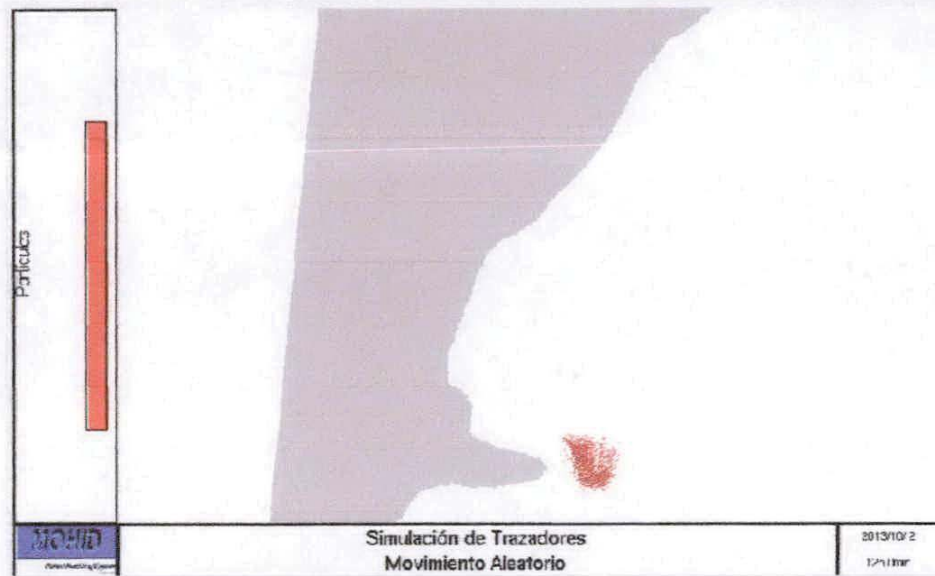


Figura 6.19: Trayectoria realizada por el posible futuro difusor ubicado en el Punto 7 del Emisario Sur.

Para las descargas realizadas por el emisario SUR, si bien en los puntos más alejados a la costa no se observa que la pluma haya llegado a la misma, esto mismo no ocurre para la ubicación 1 de la descarga más cercana a la costa; donde algunas partículas alcanzan el área de Punta de Marques, activa zona de pesca.

#### 6.4 CONCLUSIONES

Con base en el análisis realizado, se ha verificado que para las trazas CENTRAL y SUR del emisario, tanto para el movimiento Aleatorio como para el No Aleatorio, la circulación de la corriente retiene gran cantidad de partículas dentro del área próxima a la rada. De ésta forma, con el paso del tiempo, dado que el emisario descargará de forma continua, el volumen de agua cloacal presente en el área irá en aumento. Si bien la concentración de bacterias coliformes fecales sufrirá los efectos de la mortalidad y no se incrementará en igual medida, el comportamiento hidrodinámico no se considera favorable para estas variantes de traza.

Por el contrario, para la traza NORTE, la concentración de partículas es prácticamente nula en Rada Tilly. Si bien es posible que alguna corriente litoral (generada por el oleaje rompiente) pueda inducir corrientes transitorias de Norte a Sur en la zona litoral, alejando lo suficiente el difusor de la costa para que el efluente no se acerque a la misma, se mitigará el riesgo de que lleguen efluentes a la zona balnearia de rada Tilly.

Se ha verificado que para la traza NORTE y considerando movimiento aleatorio, se puede producir un acercamiento de partículas a la costa en dirección Norte hacia Comodoro Rivadavia. Sin embargo, las partículas no tienden a acumularse, sino que tienden a salir hacia mar adentro. No obstante, resulta recomendable que la posición del difusor no sea demasiado cercana a la costa.

ANTEPROYECTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN EMISARIO  
CLOACAL MARÍTIMO EN RADA TILLY PCIA. DE CHUBUT  
Modelización Hidrodinámica y Selección de  
Traza del Emisario  
Informe Final

---

La conclusión alcanzada con el presente análisis, es que resulta conveniente seleccionar la traza NORTE para la construcción del emisario y considerar las últimos 6 puntos de emisión (del 2 al 7) como posible localización de los difusores.


## 7. NORMATIVA APLICABLE EN LA MATERIA

En el presente estudio se evaluaron los resultados obtenidos en las diferentes posibles ubicaciones de los difusores sobre el emisario norte, considerando dos factores limitantes consignados por la Legislación Ambiental de la Provincia de Chubut, decreto N° 2099/77.

Dentro el Anexo III del Decreto antes mencionado, se encuentra la Norma de Calidad de agua de los cuerpos receptores de desagües industriales y cloacales.

En la Figura 7.1 se presenta la parte de la tabla en dónde se indican los distintos límites máximos de Coliformes permitidos tanto en agua dulce como salada. Como el medio acuático receptor del efluente cloacal es salado, los límites considerados son:

- 1) 100.000/100ml al finalizar la zona de mezcla.
- 2) 1.000/100ml en la zona de baño.



**Municipalidad de Rada Tilly**  
Secretaría de Obras y Servicios Públicos  
"Optimización Planta de Tratamiento de Efluentes Cloacales"

---

Norma de Calidad de agua de los cuerpos receptores de desagües industriales y cloacales

USOS	Recreo - Baño y Natación		Navegación deportiva y pesca	Vida acuática peces		Aves	Detritos/fitos y similar	Riego		
	Agua dulce	Agua salada		Agua dulce	Agua salada			Verduras y similar	Citricos	Otros cultivos
BACTERIAS *	0	100	1.000	1.000	1.000	10.000	0	100	1.000	10.000
COLIFORMES (100 ml +)	500	1.000	10.000	10.000	100.000	100.000	100	1.000	10.000	50.000

Figura 7.1: Norma de Calidad de agua de los cuerpos receptores de desagües industriales y cloacales.

## 8. DISPERSIÓN DE LA PLUMA EN CAMPO CERCANO

El primer paso en el estudio de la dispersión de la pluma emitida por el emisario, corresponde al campo cercano o zona de mezcla es decir, el espacio del dominio de cálculo donde los fenómenos de flujo de momento y corrientes de densidad predominan sobre la advección y la difusión.

El campo cercano coincide, por su propia definición, con la zona de inyección o vertido de la sustancia contaminante. En las inmediaciones del punto de vertido el efluente se suele comportar bien como un chorro o bien como una pluma, en función de si predomina el flujo de momento o el de densidad.

En general, los procesos aquí son muy complejos, en el sentido de presentar alta turbulencia, interacciones con los contornos o entre distintos chorros, etc., por lo tanto se calculó la dilución inicial implementando un modelo numérico, que se describe a continuación.

### 8.1 DESCRIPCIÓN DEL MODELO

En el presente estudio de dispersión térmica; se resolvió el campo cercano con el modelo empírico UM3 perteneciente al sistema de modelos VISUAL PLUMES (Dilution Models for Effluent Discharges, 4th Edition, by W.E. Frick, P.J.W. Roberts, L.R. Davis, J. Keyes, D.J. Baumgartner, K.P. George, Ecosystems Research Division, U.S. Environmental Protection Agency, March 2003), avalado por la EPA (Environmental Protection Agency) de la Administración USA.

Este modelo permite simular plumas sumergidas individuales o combinadas (merging) en aguas estratificadas o no, con flotabilidad positiva, negativa o neutra. Es un modelo Lagrangiano de flujo tridimensional que en el análisis de la dinámica de la pluma tiene en cuenta los procesos de captación forzada y aspirada (procesos mediante los cuales la pluma incorpora material ambiente en su interior), considerando que la difusión turbulenta (tercer mecanismo de captación) si bien está presente es despreciable y sólo se hace dominante cuando los otros dos mecanismos de captación desaparecen por una reducción del corte entre la pluma y el ambiente, ésta transición separa el campo cercano del campo lejano. El modelo asume los principios de conservación de masa, de momento horizontal y de energía; y presupone una pluma estacionaria que tiene la forma de un cono curvado.

Considera que el proceso de mezcla es función de:

- Las **condiciones ambientales** en el cuerpo de agua receptor, definidas por la geometría del ambiente (batimetría) y por las características dinámicas (velocidad y distribución de densidad).
- Las **características de la descarga** definidas por su Geometría (diámetro, elevación, profundidad, orientación, número de tubos de descarga y distancia entre los mismos, etc.) y por las características del flujo vertido (caudal, momento, flotación).

Los parámetros de diseño adoptados (características de la descarga y condiciones ambientales medias del mar en las cercanías de Rada Tilly) para la modelación se describen en los párrafos siguientes.

## 8.2 ANÁLISIS DE CORRIENTES EN EL ÁREA DEL EMISARIO

Para determinar las velocidades de las corrientes en el área del emisario NORTE, se analizaron los resultados de la modelación hidrodinámica en cada uno de los seis posibles ubicaciones de los difusores.

A continuación se presenta un gráfico que resume la ocurrencia direccional de las corrientes en las diferentes posiciones del futuro difusor.

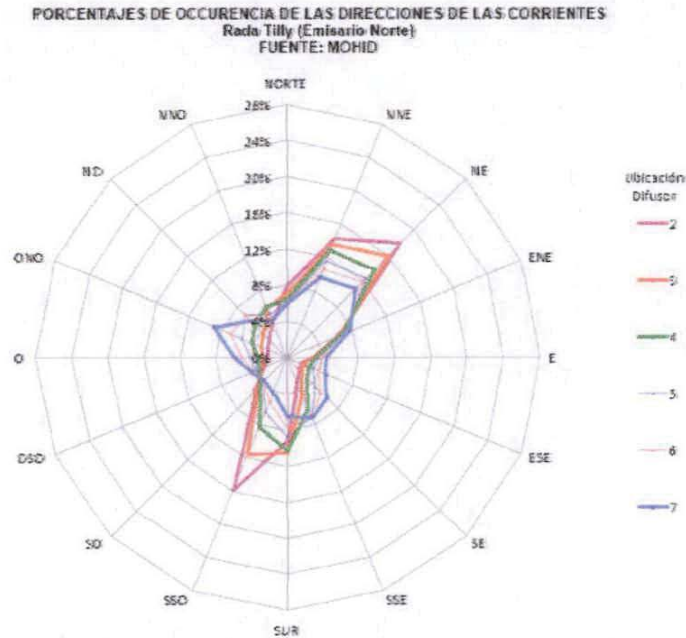


Figura 8.1: Porcentajes de ocurrencia de las direcciones de las corrientes para las distintas posibles ubicaciones de los difusores en el emisario NORTE.

De la Figura 8.1 se observa que cuanto más alejado de la costa se ubica el difusor las direcciones de las corrientes tienden a tener mayor aleatoriedad. Para la ubicación del difusor "7" (ver Figura 6.1), el más alejado de la costa, los porcentajes de ocurrencia rondan entre el 4% y el 8% para todas las direcciones. En cambio, para la ubicación "2" los porcentajes predominantes son los correspondientes a las direcciones NNE, NE y SSO con un 15% de ocurrencia aproximadamente.

La dirección del emisario norte con respecto al eje X, es de  $-20,6^\circ$  es decir, casi en dirección ESE. Por lo tanto, las corrientes pueden considerarse perpendiculares al emisario la mayor parte del tiempo.

Para determinar las intensidades más conservativas al momento de calcular la dilución inicial, se analizaron las estadísticas realizadas a partir de los resultados de un mes de cálculo hidrodinámico en el área de estudio.

En la Tabla 8-1 y la Tabla 8-2 se presenta la estadística direccional por intensidades de corrientes (m/s) para las posibles ubicaciones "2" y "7" respectivamente.

**ANTEPROYECTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN EMISARIO  
CLOACAL MARÍTIMO EN RADA TILLY PCIA. DE CHUBUT**  
Modelización Hidrodinámica y Selección de  
Traza del Emisario  
Informe Final

Para el punto más próximo a la costa, punto "2", más del 40% del tiempo la intensidad de la corriente es de 0,03 m/s, pero hay un alto porcentaje del tiempo, 20%, con velocidades menores, de 0,01 m/s. Las mínimas velocidades de corrientes permiten una menor dilución inicial de la pluma emitida.

Para el punto "7", el 60% del tiempo la intensidad de la corriente se aproxima a 0,06 m/s, pero casi un 10% del tiempo hay velocidades inferiores, de 0,02 m/s.

Por lo tanto, se consideraron las intensidades de las corrientes conservativas, 0,01 m/s y 0,02 m/s, para el cálculo de la dilución inicial, y una intensidad de 0,05 m/s para un análisis de sensibilidad. En todos los casos las corrientes fueron perpendiculares al emisario.

DIRECCIÓN	INTENSIDAD (m/s)						TOTAL
	0 - 0,02	0,02 - 0,04	0,04 - 0,06	0,06 - 0,08	0,08 - 0,10	0,10-0,12	
NORTE	0,09%	3,28%	4,62%				7,99%
NNE	0,08%	2,00%	5,81%	6,29%			14,19%
NE	0,61%	8,35%	6,77%	2,19%	0,01%		17,94%
ENE	3,59%	2,67%	0,01%				6,27%
E	2,85%	0,03%	0,01%				2,89%
ESE	1,73%						1,73%
SE	1,92%						1,92%
SSE	2,19%	0,75%					2,94%
SUR	0,98%	6,06%	2,26%				9,30%
SSO	0,01%	5,17%	10,00%	0,64%			15,82%
SO	0,01%	4,96%					4,96%
OSO	0,33%	2,33%	0,01%				2,67%
O	1,22%	0,87%					2,09%
ONO	1,19%	1,04%					2,23%
NO	1,10%	1,64%					2,74%
NNO	0,58%	3,76%	0,01%				4,34%
<b>TOTAL</b>	<b>18,47%</b>	<b>42,90%</b>	<b>29,50%</b>	<b>9,12%</b>	<b>0,01%</b>		<b>100,00%</b>

Tabla 8-1: Intensidades de corrientes por Dirección en la ubicación "2" del difusor en el emisario NORTE.

DIRECCION	INTENSIDAD (m/s)						TOTAL
	0 - 0,02	0,02 - 0,04	0,04 - 0,06	0,06 - 0,08	0,08 - 0,10	0,10-0,12	
NORTE	0,01%	0,30%	1,65%	2,97%	1,07%		6,00%
NNE	0,01%	0,58%	2,27%	6,21%	0,50%		9,57%
NE	0,06%	1,01%	6,58%	3,22%			10,85%
ENE	0,03%	1,75%	5,82%				7,60%
E	0,17%	0,35%	3,85%				4,37%
ESE	0,08%	0,83%	3,76%	0,02%			4,69%
SE	0,08%	0,65%	2,10%	3,17%	0,23%		6,24%
SSE	0,06%	0,37%	0,81%	2,36%	2,92%	0,63%	7,15%
SUR	0,04%	0,78%	1,04%	1,74%	2,47%	0,49%	6,56%
SSO	0,05%	0,12%	0,83%	2,22%	0,86%		4,08%
SO	0,03%		0,75%	2,37%	0,40%		3,56%
OSO	0,03%		0,60%	1,78%	1,70%		4,12%
O	0,05%	0,10%	0,64%	1,47%	2,51%	1,07%	5,83%
ONO	0,30%	0,06%	1,06%	1,83%	2,81%	2,91%	8,96%
NO	0,01%	0,19%	1,46%	1,63%	2,59%	0,03%	5,91%
NNO	0,03%	0,26%	1,28%	2,84%	0,10%		4,51%
<b>TOTAL</b>	<b>1,04%</b>	<b>7,35%</b>	<b>34,50%</b>	<b>33,82%</b>	<b>18,16%</b>	<b>5,12%</b>	<b>100,00%</b>

Tabla 8-2: Intensidades de corrientes por Dirección en la ubicación "7" del difusor en el emisario NORTE.

### 8.3 PARÁMETROS DE DISEÑO ADOPTADOS PARA LA MODELACIÓN

A continuación se detallan los parámetros de diseño adoptados para la modelación de la dilución inicial de la pluma en el modelo UM3.

Los datos de caudal y temperatura del efluente son los descriptos en el punto 4 del Informe CPC-IF-MC-001 "Estudio Hidráulico de Emisario", mientras que los valores de temperatura del medio acuático se determinaron a partir de los datos que brinda el Servicio de Hidrografía Naval (SHN) en Comodoro Rivadavia, y los de salinidad, promediando anualmente los datos provistos por el MyOCEAN en la celda más próxima a Rada Tilly (ver parágrafo 3.2).

Datos del EMISARIO	Unidades	Valor
Diámetro interno:	m	0,35
Diámetro externo:	m	0,50
Cantidad de emisarios:	#	1
Ángulo Vertical:	Deg	0
Ángulo Horizontal (respecto eje x):	Deg	-20,6
# Puertos:	#	3
Diámetro del Puerto:	m	0,15
Espaciamiento entre Puertos:	m	4

Tabla 8-3: Parámetros del Emisario ingresados al modelo UM3 (perteneciente al Visual Plumes)

Parámetros del EFLUENTE	Unidades	Valor
Profundidad del Puerto:	m	9,3 (pleamar)
		7,0 (Marea media)
		4,7 (Bajamar)
Flujo del efluente:	m <sup>3</sup> /s	0,05 - 0,20
Salinidad del efluente:	psu	0,001
Temperatura del efluente:	°C	13 (invierno)
		23 (verano)

Tabla 8-4: Parámetros del Efluente ingresados al modelo UM3 (perteneciente al Visual Plumes)

Datos del Ambiente	Unidades	Valor
Intensidad de la corriente:	m/s	0,01 - 0,02 - 0,05
Dirección de la corriente (respecto del eje x):	Deg	56,25 – 236,25
Salinidad del ambiente	psu	33,4
Temperatura media del ambiente	°C	9,0 (invierno)
		14,0 (verano)

Tabla 8-5: Parámetros del Medio Acuático ingresados al modelo UM3 (perteneciente al Visual Plumes)

**ANTEPROYECTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN EMISARIO  
CLOACAL MARÍTIMO EN RADA TILLY PCIA. DE CHUBUT  
Modelización Hidrodinámica y Selección de  
Traza del Emisario  
Informe Final**

**8.4 RESULTADOS**

El modelo UM3, permite determinar la evolución de la pluma en el entorno del punto de emisión y obtener la dilución inicial al alcanzar la superficie. La salida del modelo para un caso en particular de todos los parámetros antes descriptos, se presenta en la Tabla 8-6.

En la Figura 8.2 se presenta, a modo de ejemplo, los resultados para la pluma calculada para un caudal de 0,05 m<sup>3</sup>/s del emisario y una intensidad de corriente de 0,02 m/s, perpendicular al mismo, para las tres condiciones de marea (bajamar, marea media y pleamar).

```

Case 1: ambient file C:\Fluses\RadaPru004 001 db. Diffuser table record 1
-----
Ambient Table
Depth  Aab-cur  Aab-dir  Aab-vel  Aab-tem  Aab-poi  Decay  Far-spd  Far-dir  Disprsn  Density
  m      m/s      deg      psu      C        kg/kg    s-1     m/s      deg      m0.67/m2  sigma-T
0 0      0.02     236.3    33.25    9.0      0.0     0.0      236.3    0.0003    25.93
10 0      0.02     236.3    33.25    9.0      0.0     0.0      236.3    0.0003    25.93

Diffuser table
P-dia  P-elev  T-angle  B-angle  Posts Spacing  AcuteME  ChronicME  P-depth  Trl-elo  Eff-vel  Temp  Polutnt
(m)    (m)    (deg)    (deg)    (m)           (m)      (m)      (m)      (m/s)    (psu)    (C)    (ppm)
0.15   0.5    0.0      339.4    3.0           4.0      50.0     100.0     4.7        0.05    1.00E-3  13.0    100.0

Simulation
Produce number  A 777 effluent density (sigma-T) -0.558 effluent velocity 0.943(m/s)
Depth          P-dia Spacing  Temp Polutnt P-speed  CL-dia  w-posm  y-posm
Step           (m)    (m)    (m)    (C)    (ppm)  (m/s)  (m)    (m)    (m)
0              4.7    0.15   4.0    13.0   100.0   0.943  1.0    0.0    0.0
10             4.699  0.181  4.0    12.28  82.93   0.773  1.0    0.0688 -0.026
20             4.695  0.22  4.0    11.69  67.3    0.634  1.0    0.151  -0.0578
30             4.686  0.267  4.0    11.21  55.21   0.522  1.0    0.25  -0.0961
40             4.667  0.324  4.0    10.81  45.39   0.432  1.135  0.366  -0.143
50             4.634  0.388  4.0    10.5  37.42  0.364  1.372  0.495  -0.194
60             4.589  0.448  4.0    10.28  32.0    0.322  1.602  0.613  -0.244
70             4.534  0.502  4.0    10.12  27.95  0.293  1.833  0.723  -0.293
80             4.467  0.554  4.0    9.986  24.44  0.273  2.076  0.829  -0.34
90             4.389  0.605  4.0    9.872  21.79  0.259  2.345  0.933  -0.388
100            4.298  0.659  4.0    9.768  19.33  0.248  2.657  1.04  -0.439
110            4.183  0.716  4.0    9.671  16.99  0.24  3.022  1.151  -0.493
120            3.966  0.783  4.0    9.577  14.43  0.234  3.527  1.27  -0.555
130            3.725  0.845  4.0    9.484  12.11  0.229  4.198  1.4  -0.626
140            3.469  0.966  4.0    9.397  9.936  0.223  5.107  1.538  -0.705
150            3.084  1.09  4.0    9.326  8.151  0.218  6.218  1.657  -0.785
160            2.629  1.208  4.0    9.267  6.687  0.212  7.57  1.767  -0.864
170            2.159  1.352  4.0    9.219  5.486  0.206  9.218  1.867  -0.949
180            1.629  1.518  4.0    9.18  4.5  0.199  11.23  1.955  -1.036
190            1.032  1.705  4.0    9.148  3.692  0.192  13.47  2.033  -1.127
195            0.706  1.807  4.0    9.134  3.344  0.189  15.09  2.068  -1.176  watched energy radial vel
200            0.358  1.915  4.0    9.121  3.028  0.184  16.45  2.1  -1.226
204            0.0443  2.006  4.0    9.112  2.798  0.183  18.02  2.124  -1.267  surface.
    
```

Tabla 8-6: Resultados del modelo UM3 para un caso particular de todos los calculados.

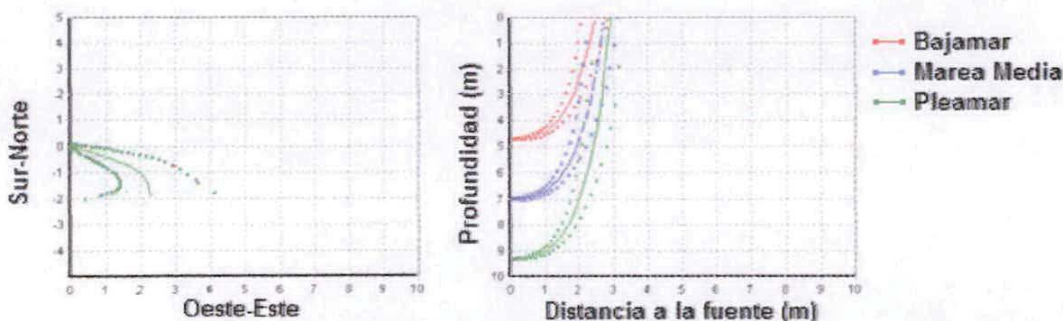


Figura 8.2: Trayectoria de la pluma, vista en planta y de perfil, para el caudal del emisario en 0,05 m<sup>3</sup>/s y una velocidad de corriente del medio acuático de 0,02 m/s, condición de Invierno. La línea continua indica el eje central y los puntos el contorno de la pluma

De todas las corridas realizadas se observó que el coeficiente de dilución inicial presenta diferencias poco significativas al cambiar los valores de temperatura entre las estaciones de



invierno y verano. Los difusores se consideraron paralelos al lecho marino, puesto que debido a las bajas velocidades de las corrientes, la dilución de la pluma en el caso de considerar que el difusor es perpendicular al lecho, resulta prácticamente nula.

En la Figura 8.2 se observa también, además de la trayectoria de la pluma, la flotabilidad positiva que tiene el efluente en el medio acuático receptor.

A continuación se presenta una tabla resumen, donde se presentan los factores de dilución inicial para diferentes velocidades y direcciones de la corriente (coincidente y opuesta a la orientación de la boca del puerto), profundidades de agua en Bajamar, Marea Media y Pleamar, y caudales del emisario.

Qemi (m <sup>3</sup> /s)	Coeficiente de Dilución Inicial Vcorr: 0,01 m/s (-->)		
	Baja	MM	Plea
0.05	14.0	23.0	33.5
0.20	15.1	20.8	26.8

Qemi (m <sup>3</sup> /s)	Coeficiente de Dilución Inicial					
	Vcorr: 0,02 m/s (-->)			Vcorr: 0,02 m/s (<--)		
	Baja	MM	Plea	Baja	MM	Plea
0.05	14.2	23.3	33.9	18.0	31.2	48.7
0.20	17.5	24.5	30.3	17.7	24.3	30.1

Qemi (m <sup>3</sup> /s)	Coeficiente de Dilución Inicial					
	Vcorr: 0,05 m/s (-->)			Vcorr: 0,05 m/s (<--)		
	Baja	MM	Plea	Baja	MM	Plea
0.05	25.7	47.2	60.3	27.6	30.6	49.0
0.20	20.7	28.7	37.7	20.4	28.3	39.0

Figura 8.3: Coeficientes de dilución Inicial para diferentes caudales del emisario (Qemi) y diferentes intensidades y sentidos de corrientes (Vcorr), para la condición de Invierno.

A partir de los resultados obtenidos se adoptó un factor de dilución inicial conservativo igual a 15.

## 9. DISPERSIÓN DE LA PLUMA EN CAMPO LEJANO

Una vez que las fuerzas de inercia y flotación pierden su importancia, adquieren protagonismo los procesos de advección y difusión asociados a las corrientes del medio receptor. Esta zona se denomina campo lejano y se suele situar a una distancia variable, en general del orden de las centenas de metros, del punto de vertido.

Para el cálculo de dispersión de la pluma bacteriológica promovida por las dinámicas en el entorno marítimo, se utilizó el modulo "Lagrangeano" del modelo bidimensional MOHID, ya descripto y empleado anteriormente para definir la traza del emisario.

### 9.1 CONCENTRACIÓN DE BACTERIAS COLIFORMES FECALES

Para determinar una concentración típica de bacterias coliformes fecales se consideraron distintos antecedentes que son mencionados a continuación.

- 1) El Emisario de Berazategui, datos de Aguas Argentinas<sup>3</sup> y AYSA<sup>4</sup>.
- 2) Estudio sobre tratamiento de líquidos Residuales en Lagunas Aireadas<sup>5</sup>, UNM.

Para el estudio de la descarga del Emisario de Berazategui, anteriormente operado por Aguas Argentinas, se utilizaron los siguientes parámetros especificados por dicha empresa.

Parámetros	Unidad	Efluente a la salida de la cuenca
Colif.totales	NMP/100ml	6,3E+07
Colif.fecales	NMP/100ml	1,6E+07
Oxígeno dis.	mg/l	0,1
DBO	mg/l	119
N-NH4+	mg/l	16
N-NO3	mg/l	<0,5
N-NO2	mg/l	0,007

---

<sup>3</sup> Sistema de tratamiento por dilución Berazategui. Evaluación de Impacto Ambiental. Informe Final. Octubre de 2005. Serman & asociados S.A.

<sup>4</sup> Estudio de Impacto Ambiental. Plan Director de Saneamiento Cloacal. Sistema de Tratamiento para la Dilución de Efluentes Cloacales Berazategui. 2º Etapa. Emisario Subfluvial y Estación de Bombeo de Salida. Enero 2012.

<sup>5</sup> Eficiencia de Lagunas Aireadas Aeróbicas Durante el Período Inicial de Funcionamiento. Ing. Motta. Cátedra de estadística. Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales. Universidad Nacional de Misiones (UNM).

**ANTEPROYECTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN EMISARIO  
CLOACAL MARÍTIMO EN RADA TILLY PCIA. DE CHUBUT**  
Modelización Hidrodinámica y Selección de  
Traza del Emisario  
Informe Final

En la siguiente tabla, se presentan valores medidos en el efluente durante dos días en diciembre de 2009, provistos por AYSA.

Para el presente estudio el dato relevante es la concentración de coliformes fecales, que en la Tabla 9-1 promedian los  $2,07 \times 10^7$  NMP/100ml (al igual que Eschericia coli), mientras que en la Tabla 9-2 el valor asumido para la concentración del efluente a ser modelado es de  $2,40 \times 10^7$  NMP/100ml.

Date and time	Total coliforms per 100 ml	E. coli per 100 ml	Fecal streptococos per 100 ml	Fecal coliforms per 100 ml
14/12/2009 09:30	$1.1 \times 10^7$	$1.1 \times 10^7$	$1.1 \times 10^5$	$1.1 \times 10^7$
14/12/2009 12:30	$4.6 \times 10^6$	$4.6 \times 10^6$	$2.4 \times 10^5$	$4.6 \times 10^6$
14/12/2009 15:30	$1.1 \times 10^7$	$4.6 \times 10^7$	$1.1 \times 10^5$	$4.6 \times 10^6$
14/12/2009 18:30	$2.4 \times 10^6$	$2.4 \times 10^6$	$1.1 \times 10^5$	$2.4 \times 10^6$
15/12/2009 00:30	$1.1 \times 10^9$	$1.1 \times 10^9$	$4.6 \times 10^8$	$1.1 \times 10^9$
15/12/2009 03:30	$1.1 \times 10^7$	$1.1 \times 10^7$	$1.1 \times 10^5$	$1.1 \times 10^7$
15/12/2009 06:30	$4.6 \times 10^7$	$1.1 \times 10^7$	$1.1 \times 10^5$	$1.1 \times 10^7$
15/12/2009 09:30	$1.1 \times 10^7$	$1.1 \times 10^7$	$4.6 \times 10^5$	$1.1 \times 10^7$

Tabla 9-1: Niveles de Bacterias en el efluente de Berazategui Diciembre 14-15, 2009.

Parámetro	Concentración del efluente		Niveles base en el Río	Estándar Tipo III	Frecuencia	Dilución requerida	Delft3D modulo y dominio
	Riach.	Beraz.					
<b>Conservativo:</b>							
Fenoles ( $\mu\text{g/l}$ )	40 <sup>(1)</sup>	40 <sup>(1)</sup>	10 <sup>(2)</sup>	<100	90%	No	PART Global
Detergentes ( $\text{mg/l}$ )	2 <sup>(1)</sup>	2 <sup>(1)</sup>	0.2 <sup>(2)</sup>	<5	90%	No	
Plomo ( $\mu\text{g/l}$ )	29 <sup>(1)</sup>	29 <sup>(1)</sup>	5 <sup>(2)</sup>	NR			
Cromo ( $\mu\text{g/l}$ )	95 <sup>(1)</sup>	95 <sup>(1)</sup>	5 <sup>(2)</sup>	NR			
<b>No-conservativo - Bacteria:</b>							
E. coli (MPN/100ml)	$2.4 \times 10^{7(2)}$	$2.4 \times 10^{7(2)}$	300 <sup>(2)</sup>	<20,000	D%		PARTNested
<b>No-conservativo - Degradación Ambiental:</b>							
DCB ( $\text{gO}_2/\text{m}^3$ )	87 <sup>(1)</sup>	107 <sup>(1)</sup>	2 <sup>(2)</sup>	< 10	90%	10:1	
OD ( $\text{g}/\text{m}^3$ )	0.3 <sup>(1)</sup>	0.3 <sup>(1)</sup>	8 <sup>(2)</sup>	> 4	90%		
NH <sub>4</sub> ( $\text{gN}/\text{m}^3$ )	16 <sup>(1)</sup>	16 <sup>(1)</sup>	0.05 <sup>(2)</sup>	NR			
NO <sub>3</sub> ( $\text{gN}/\text{m}^3$ )	0 <sup>(3)</sup>	0 <sup>(3)</sup>	2 <sup>(2)</sup>	< 10	90%		
PC <sub>4</sub> ( $\text{gP}/\text{m}^3$ )	2.4 <sup>(2)</sup>	2.4 <sup>(2)</sup>	0.17 <sup>(2)</sup>	-			
Total P ( $\text{gP}/\text{m}^3$ )	-	-	-	< 1	90%		

NR = No regulación

(1) SAyDS Mayo 2009

(2) AySA, datos históricos

(3) SAyDS Abril 2008

Tabla 9-2: Valores asumidos para las concentraciones del efluente, niveles base en el Río y estándares de calidad para un uso de agua TIPO III.

ANTEPROYECTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN EMISARIO  
CLOACAL MARÍTIMO EN RADA TILLY PCIA. DE CHUBUT  
Modelización Hidrodinámica y Selección de  
Traza del Emisario  
Informe Final

En el Estudio sobre tratamiento de líquidos Residuales que realizó la Universidad Nacional de Misiones, se presenta una tabla que resume la composición (media) del líquido afluente a la Planta de Tratamiento de la Ciudad de Posadas, donde se consignan los valores promedio, máximos y mínimos y los intervalos de confianza para cada uno de los parámetros incluidos en la caracterización.

La concentración máxima de coliformes que se presenta en la Tabla 9-3 es de también de  $2,40 \times 10^7$  NMP/100ml. Por lo tanto se asume dicho valor como concentración de coliformes fecales en el efluente del Emisario de Rada Tilly.

Como el coeficiente conservativo de dilución inicial asumido en el párrafo anterior se asumió en 15, la concentración que se impone para la descarga en la modelación del campo lejano será de  $0,16 \times 10^7$  NMP/100ml.

Parámetros	N° de Determ	Valores			Intervalo de confianza del 95 %
		Prom.	Máx.	Min.	
pH (UpH)	4	7.4	7.87	7.13	6.8-7.9
O.D. (in situ) (mg/l)	8	1.9	2.6	0.0	1.2-2.6
O.D. (lab-Winkler) (mg/l)	3	1.9	3.7	1.1	-
T (°C)	8	19.3	23	17.4	17.5-21.0
S. Sed. 10' (ml/l)	8	1.3	0.1	2.5	0.7-1.9
S. Sed. 30' (ml/l)	8	1.8	3.9	0.6	0.96-2.64
S. Sed. 60' (ml/l)	3	2.1	3.0	1.2	-
S. Sed. 120' (ml/l)	7	2.3	4.5	0.6	0.8-3.8
Sólidos Totales (mg/l)	6	333	392	228	261-405
Sólidos Volátiles Tot. (mg/l)	6	189	222	148	158-220
Sólidos Fijos Tot. (mg/l)	6	154	190	120	126-182
Sólidos Suspendidos Tot (mg/l)	6	107.8	133	64	81-134
Sólidos Suspendidos Vol. (mg/l)	6	83.5	106	43	57-110
Sólidos Suspendidos Fijos (mg/l)	6	24.2	30	21	20-27
DBO Total (mg/l)	5	169	250	85.5	76-262
DBO Soluble (mg/l)	5	48.2	65	15.6	24-73
DQO Total (mg/l)	5	217	324	131	131-303
DQO Soluble (mg/l)	5	90.7	131	41	40-140
NTK (mg/l)	5	32.5	48.0	25.55	21-43
N-Amoniacal (mg/l)	4	21.0	26.7	14.32	12.7-29.3
N-Nitritos (mg/l)	3	1.48	3.65	0.3	-
N-Nitratos (mg/l)	3	0.47	0.97	0.22	-
P Total (mg/l)	5	5.56	8.17	3.54	3.5-7.6
P Total (soluble) (mg/l)	5	3.51	3.84	3.13	3.1-3.9
Sustancias Grasas (mg/l)	6	70.5	100.0	41.2	43.7-97.3
Detergentes (SAAM) (mg/l)	3	0.48	0.71	0.225	-
Coliformes Totales (NMP/100 ml)*	6	$2.1 \times 10^6$	$4.6 \times 10^6$	$2.4 \times 10^6$	-
Coliformes Fecales (NMP/100ml)*	6	$1.6 \times 10^7$	$2.4 \times 10^7$	$9.3 \times 10^6$	-

Tabla 9-3: Composición del líquido Cloacal Crudo.

## 9.2 IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS

Como se describió anteriormente, al seleccionar la traza del emisario analizando las trayectorias de las partículas conservativas en el campo de velocidades calculado para el área de Rada Tilly, el cálculo lagrangeano de los Coliformes Fecales se implementa de igual manera, con la diferencia que para éste caso se incorpora el decaimiento temporal como el tiempo necesario para que muera el 90% de las bacterias (T90). Las trayectorias se modelaron considerando movimientos aleatorios, según fue descripto anteriormente.

El valor del parámetro T90 asumido en base a bibliografía y estudios antecedentes<sup>6 7</sup> para bacterias en agua salada donde la mortalidad de las mismas es rápida, se estableció en 4hs, y se consideró un valor más conservativo de 8hs para realizar un análisis de sensibilidad, considerando que por las bajas temperaturas del agua la tasa de mortalidad puede descender respecto de valores típicos en zonas de aguas más cálidas.

A continuación se presenta en planta la concentración de coliformes fecales para las emisiones desde los puntos "4" y "5" en el emisario NORTE (ver Figura 6.1), para ambos decaimientos T90 considerados.

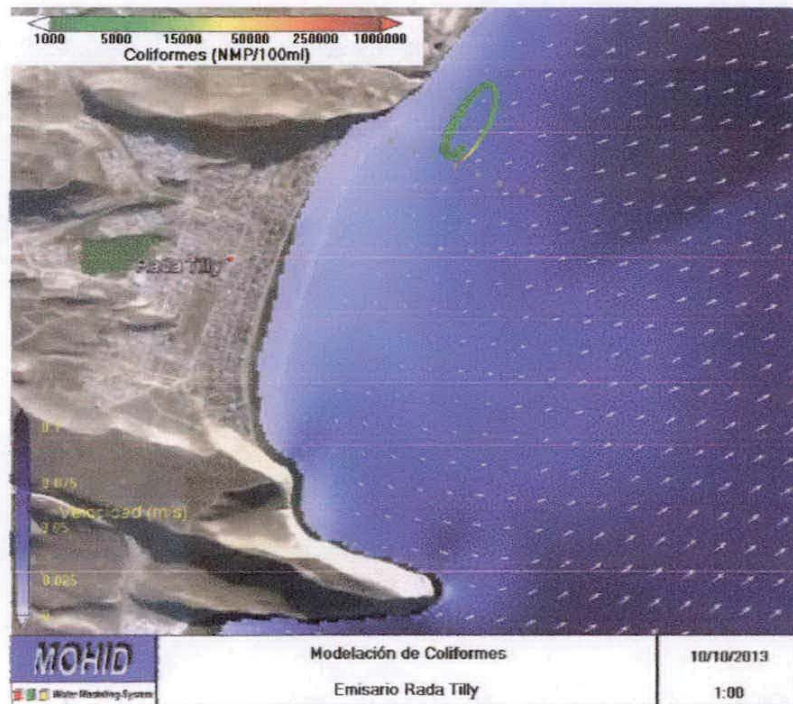


Figura 9.1: Concentración de Coliformes Fecales (NMP/100ml), T90 = 4hs, ubicación del difusor en el punto "4", en pleamar.

<sup>6</sup> Estudio de la Dilución en el Campo Cercano de Vertidos Cloacales para el diseño de un Emisario Submarino en Mar del Plata. Departamento de Hidráulica, FCEfYN, Universidad Nacional de Córdoba. 2011.

<sup>7</sup> Caracterización Microbiológica de un Emisario Submarino: Evaluación de su Eficiencia. Depto. de Investigación y Medio Ambiente. ESSBIO S.A. CEPIS, Informe N° 43. Ubicación y diseño de emisarios submarinos.

**ANTEPROYECTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN EMISARIO  
CLOACAL MARÍTIMO EN RADA TILLY PCIA. DE CHUBUT**  
Modelización Hidrodinámica y Selección de  
Traza del Emisario  
Informe Final

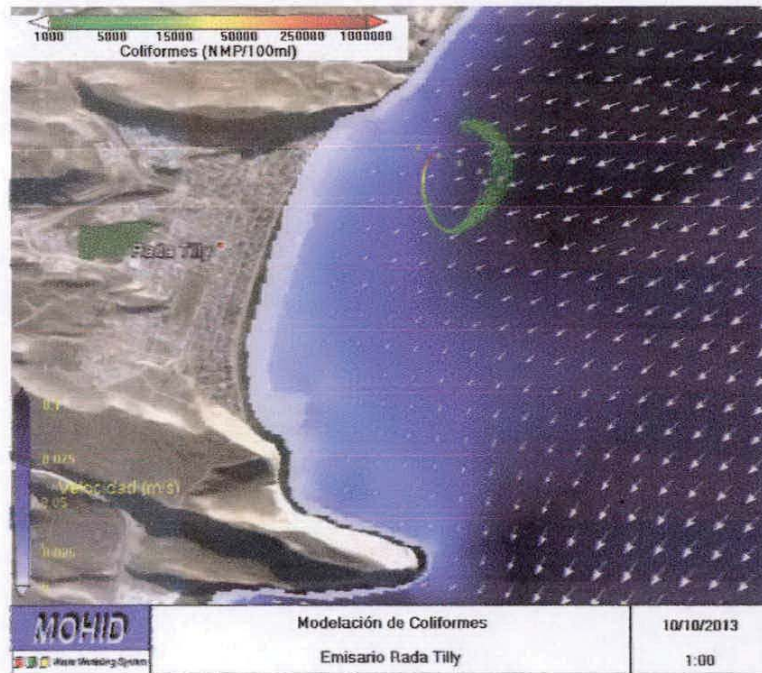


Figura 9.2: Concentración de Coliformes Fecales (NMP/100ml), T90 = 4hs, ubicación del difusor en el punto "4", en bajamar.

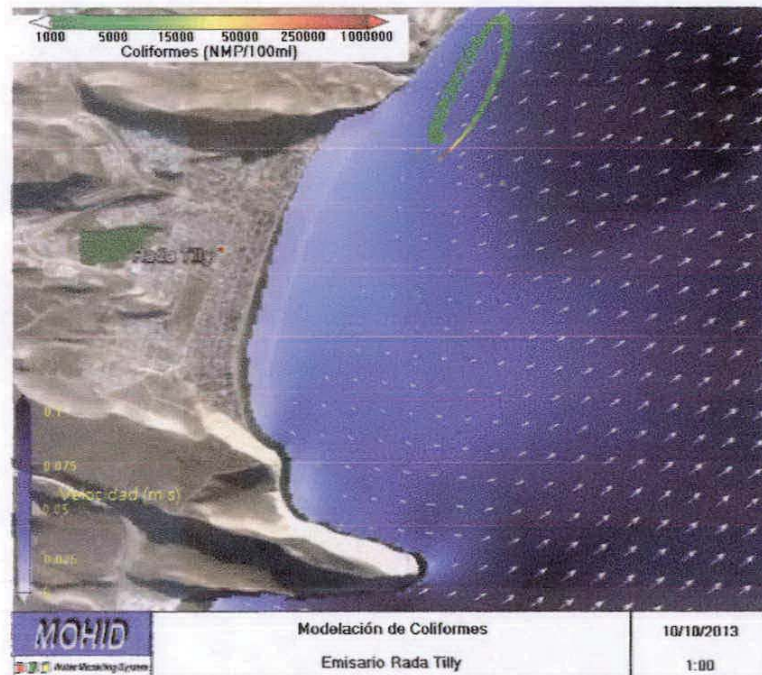


Figura 9.3: Concentración de Coliformes Fecales (NMP/100ml), T90 = 4hs, ubicación del difusor en el punto "4", para el instante de mayor acercamiento a la costa.

**ANTEPROYECTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN EMISARIO  
CLOACAL MARÍTIMO EN RADA TILLY PCIA. DE CHUBUT**  
Modelización Hidrodinámica y Selección de  
Traza del Emisario  
Informe Final

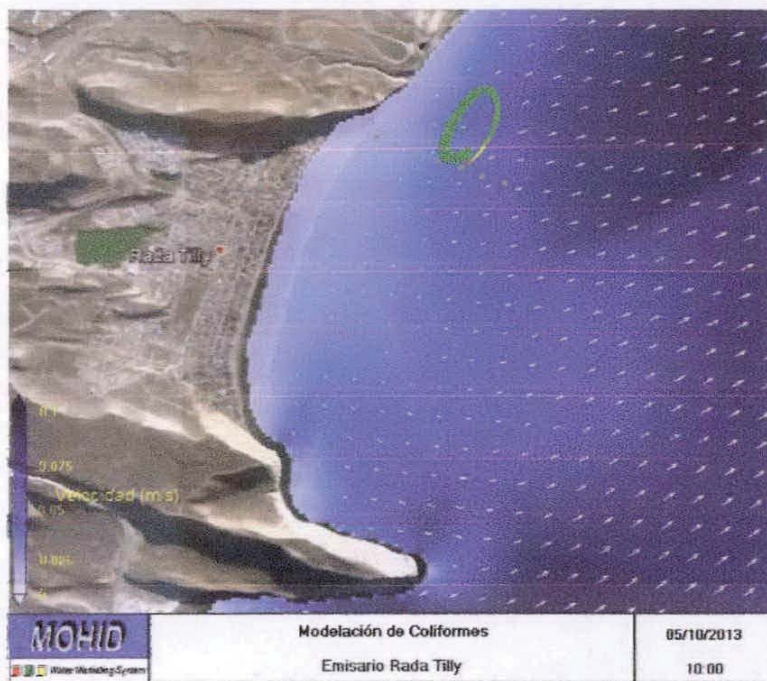


Figura 9.4: Concentración de Coliformes Fecales (NMP/100ml), T90 = 4hs, ubicación del difusor en el punto "5", en pleamar.

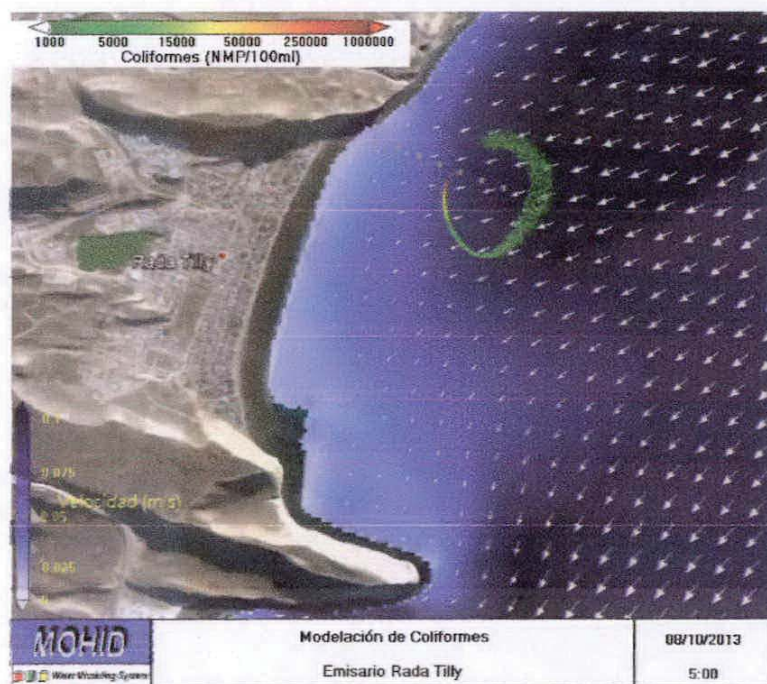


Figura 9.5: Concentración de Coliformes Fecales (NMP/100ml), T90 = 4hs, ubicación del difusor en el punto "5", en bajamar.

**ANTEPROYECTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN EMISARIO  
CLOACAL MARÍTIMO EN RADA TILLY PCIA. DE CHUBUT**  
Modelización Hidrodinámica y Selección de  
Traza del Emisario  
Informe Final

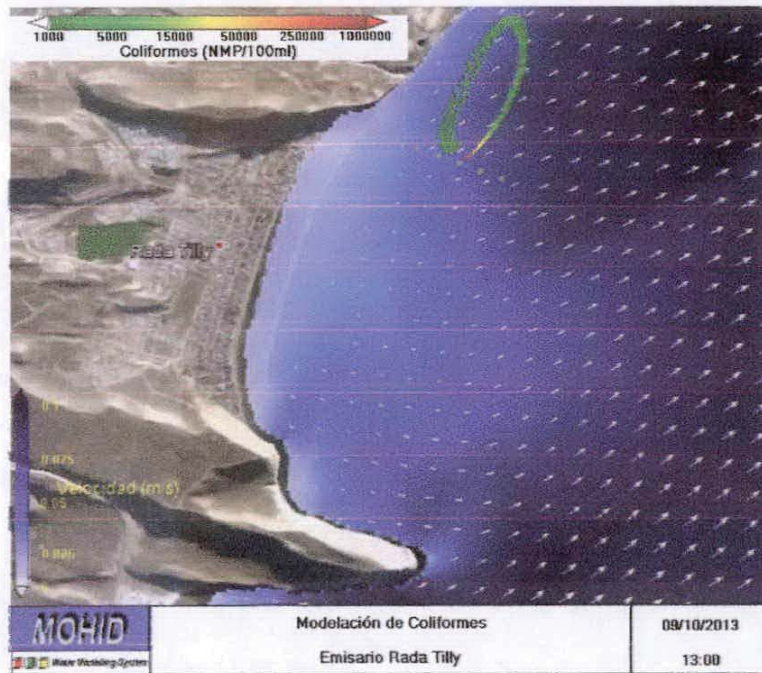


Figura 9.6: Concentración de Coliformes Fecales (NMP/100ml), T90 = 4hs, ubicación del difusor en el punto "5", para el instante de mayor acercamiento a la costa.

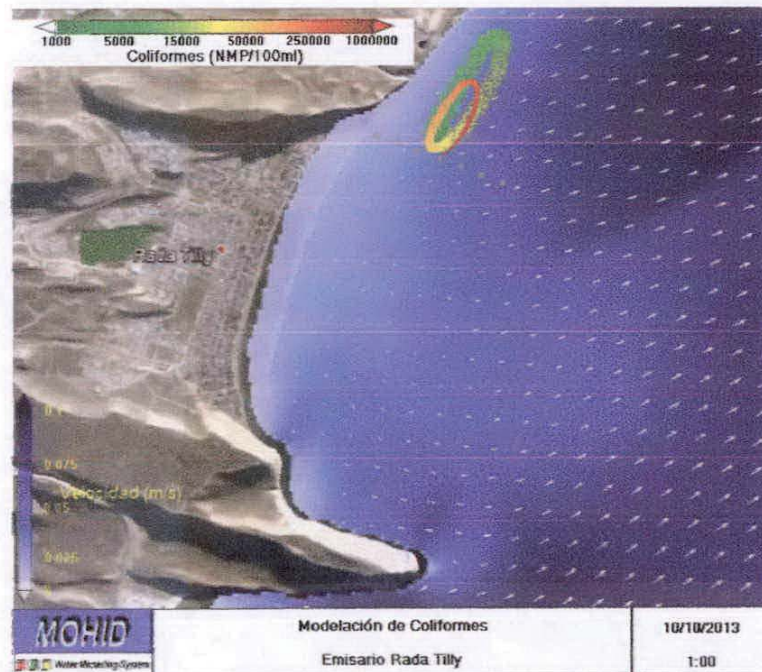


Figura 9.7: Concentración de Coliformes Fecales (NMP/100ml), T90 = 8hs, ubicación del difusor en el punto "4", en pleamar.



**ANTEPROYECTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN EMISARIO  
CLOACAL MARÍTIMO EN RADA TILLY PCIA. DE CHUBUT**  
Modelización Hidrodinámica y Selección de  
Traza del Emisario  
Informe Final

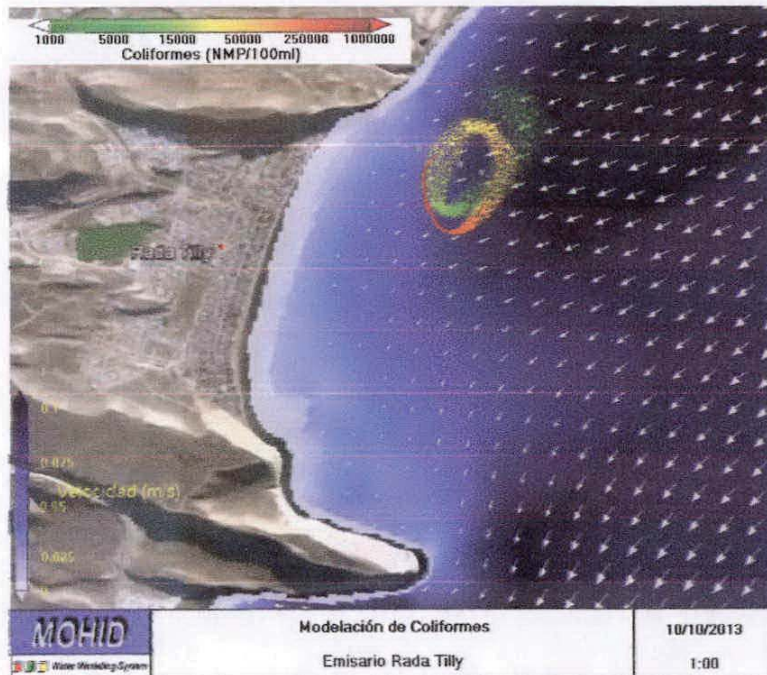


Figura 9.8: Concentración de Coliformes Fecales (NMP/100ml), T90 = 8hs, ubicación del difusor en el punto "4", en bajar.

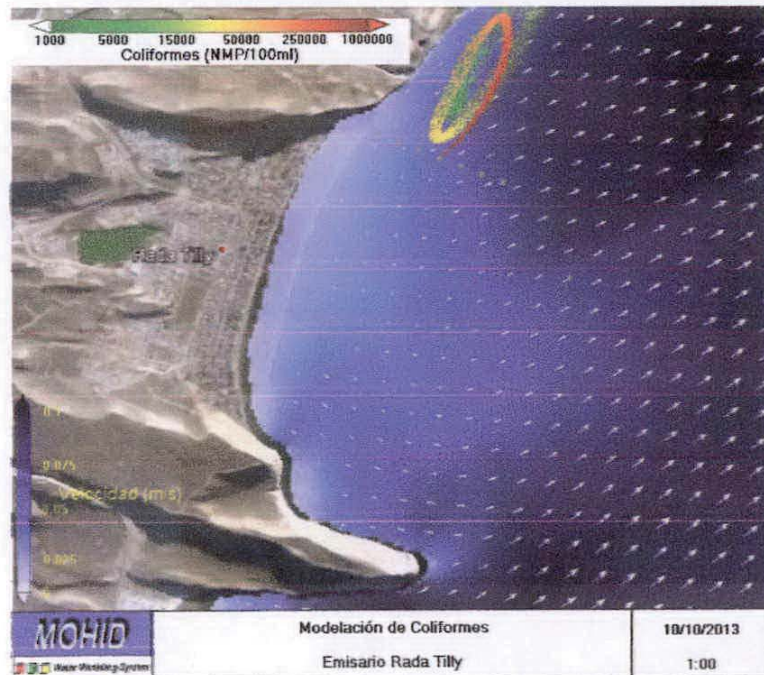


Figura 9.9: Concentración de Coliformes Fecales (NMP/100ml), T90 = 8hs, ubicación del difusor en el punto "4", para el instante de mayor acercamiento a la costa.

**ANTEPROYECTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN EMISARIO  
CLOACAL MARÍTIMO EN RADA TILLY PCIA. DE CHUBUT**  
Modelización Hidrodinámica y Selección de  
Traza del Emisario  
Informe Final

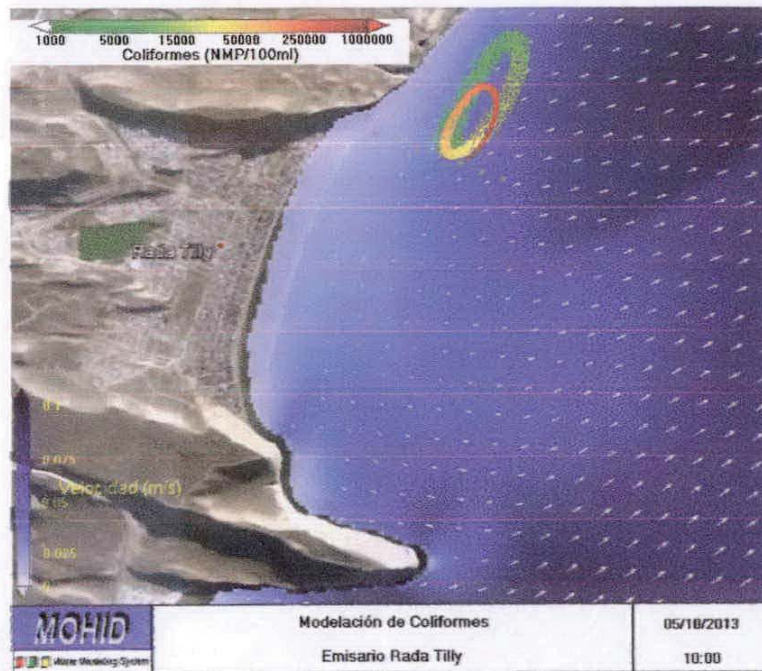


Figura 9.10: Concentración de Coliformes Fecales (NMP/100ml), T90 = 8hs, ubicación del difusor en el punto "5", en pleamar.

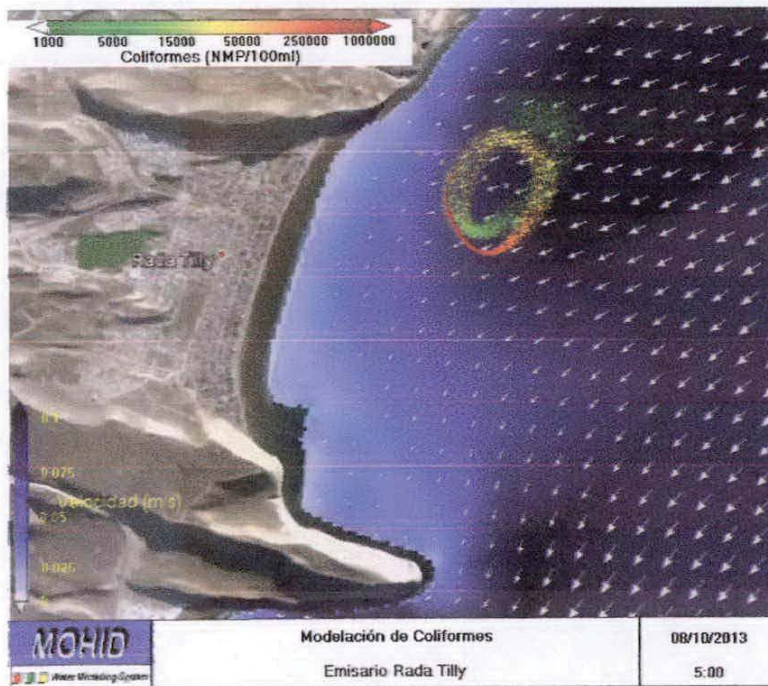


Figura 9.11: Concentración de Coliformes Fecales (NMP/100ml), T90 = 8hs, ubicación del difusor en el punto "5", en bajamar.

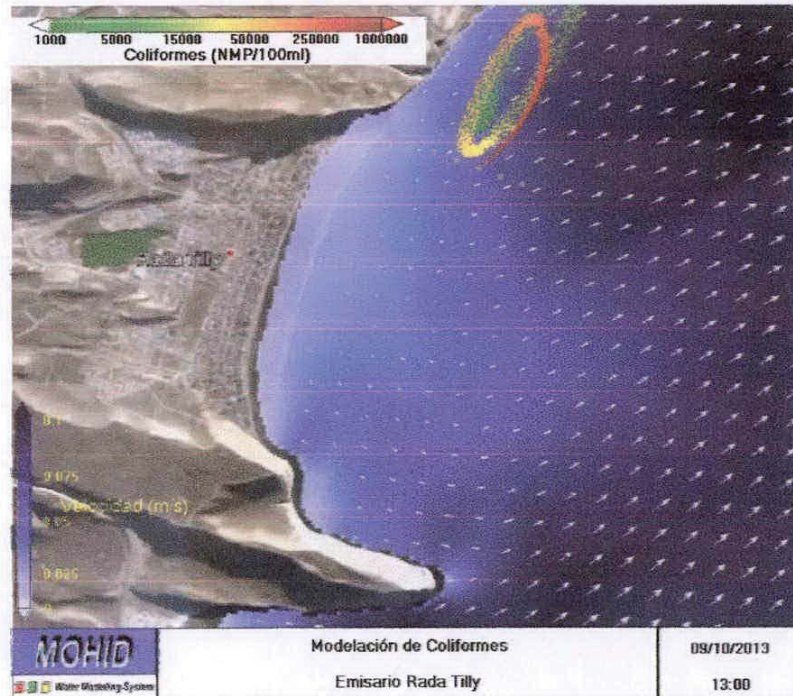


Figura 9.12: Concentración de Coliformes Fecales (NMP/100ml), T90 = 8hs, ubicación del difusor en el punto "5", para el instante de mayor acercamiento a la costa.

## 10. CONCLUSIONES

De las imágenes precedentes se observa que la concentración de coliformes fecales supera los 100.000NMP/100ml en un sector muy acotado, poco dispersado, en cercanías a las descargas, que cambia constantemente de posición de acuerdo a la marea y a las velocidades de las corrientes. Por lo tanto, la zona de mezcla para conservación de la vida acuática de los peces donde, según la Norma de Calidad de Agua de la Provincia de Chubut presentada anteriormente, no deberían superarse las 100.000NMP/100ml en agua salada, resulta de pequeñas dimensiones relativas al entorno.

Para la ubicación del difusor en el punto "4" se observa que, cuando el decaimiento T90 es de 4 hs, hay concentración nula en la zona costera (a 500 m de la línea de costa). Sin embargo, para el T90 de 8 hs se pueden encontrar concentraciones mayores a 1.000NMP/100ml a 200 m de la línea de costa, ingresando a la zona litoral, como se presenta en la Figura 9.9. Si bien ésta concentración, así como se presenta, no afecta directamente a la zona balearia de Rada Tilly o al área costera de Comodoro Rivadavia, en caso de ocurrir vientos y oleajes provenientes del NE o del SE, existe el riesgo de que la pluma sea transportada para por la deriva litoral<sup>8</sup> a cualquiera de las áreas mencionadas.

Para las emisiones realizadas desde la ubicación del difusor en el punto "5", considerando un decaimiento temporal relativamente conservativo de 8 hs, la concentración de coliformes del orden de límite máximo estipulado por la Norma de Calidad de Agua para la zona de baño, presenta un máximo acercamiento a la línea costera de 500 m. Por lo tanto, ésta ubicación del difusor se considera más conveniente para la emisión del efluente, ya que es la mínima distancia (aproximadamente 1000 m desde la línea de costa) para la cual la concentración de coliformes fecales de 1.000NMP/100ml no alcanza la zona litoral.

Por lo tanto, conforme a los análisis realizados, se concluye que el extremo del emisario donde se encontrará el difusor, se deberá ubicar aproximadamente en el entorno de las coordenadas X= 2614416; Y= 4913763 del emisario Norte.

---

<sup>8</sup> La deriva litoral se genera en la zona de rompiente del oleaje, debido a que la componente paralela a la costa de la cantidad de movimiento de las olas no es disipada. Su dirección depende de la dirección de incidencia de las olas respecto a la perpendicular a la costa, por lo que en algunos periodos puede dirigirse de Rada Tilly a Comodoro Rivadavia (para olas del cuadrante SE) y en otros en sentido contrario (para olas del cuadrante NE).