

## **ANEXO 4-6**

### **Estudio de Descarga de Agua Salada**

## INDICE

<b>1. ESTUDIO DE DESCARGA DE AGUA SALADA .....</b>	<b>1</b>
1.1 Recopilación de Antecedentes Ambientales (Resumen).....	1
1.2. Modelación de la Pluma (Campo Cercano) .....	2
1.3. Sistema de Descarga .....	3
1.4. Caracterización de la Salmuera .....	6
1.5. Modelación .....	7
1.6. Resultados .....	9
1.7. Comentarios .....	14
1.8. Conclusiones .....	16

## TABLAS

Tabla 1. Coordenada del Extremo de la Descarga (WGS84) .....	3
Tabla 2. Características de Línea de Emisario.....	5
Tabla 3. Valores considerados para modelación.....	6
Tabla 4. Valores Promedios para la Salmuera.....	7
Tabla 5. Escenario ambiental considerado en la modelación.....	8

## FIGURAS

Figura 1. Disposición Toma de Agua (A1) y Descarga de Salmuera (B1) .....	4
Figura 2. Configuración Tridimensional del Difusor .....	5
Figura 3. Variación Horizontal del Gradiente Salino inducido por la Descarga y la Dilución de la Salmuera .....	10
Figura 4. Visualización 2D y 3D de la Pluma de Dispersión generada por la Descarga de la Salmuera para la Condición de Invierno y Verano .....	12
Figura 5. Ubicación del Punto de Descarga y Área de Influencia de la Pluma Salina, respecto a la Zona de Protección Litoral .....	15

## Listado de Apéndices

Apéndice 4-6.1: Resultados del modelo

## 1. ESTUDIO DE DESCARGA DE AGUA SALADA

El presente capítulo muestra el estudio destinado a la evaluación ambiental de la descarga de aguas de descarte de la Planta Desaladora del proyecto “RT Sulfuros”, con énfasis en la simulación de la dispersión de la pluma de la salmuera en el sector Km 14, Tocopilla, IIª Región.

Por lo anterior, a continuación se da a conocer el procedimiento y resultados de la aplicación de herramientas computacionales que permiten evaluar numéricamente el comportamiento de la referida descarga bajo diferentes escenarios ambientales.

### 1.1 Recopilación de Antecedentes Ambientales (Resumen)

Presentar la información de las características y parámetros ambientales imperantes en el área de estudio, son necesarios para cuantificar de manera objetiva las condiciones ambientales en el sector de interés. La importancia fundamental radica en establecer de la mejor forma posible la dinámica y valores de los parámetros involucrados en la modelación de la pluma del agua de la salmuera, específicamente, en la obtención de las salidas de las simulaciones y pronósticos de impactos en los escenarios *near-field* y *far-field*. De esta manera se garantizarán resultados de escenarios futuros para un mejor control de la descarga y una garantía adicional ante la comunidad y los servicios fiscalizadores.

La base de información utilizada en el presente trabajo proviene de estudios efectuados en el sector y en sectores aledaños al área de influencia del proyecto. Los informes y antecedentes utilizados, corresponden a:

- ECOTECNOS (2011). Informe Técnico "Informe final, ELB Marino sectores Tocopilla Norte y sector Km 14, Región de Antofagasta". Noviembre.
- HATCH (2012). Informe de Proyecto Línea de Base Medio Marino – Sector Km 14 - Campaña Verano. Marzo.
- Información levantada en campaña de terreno efectuada el mes de mayo de 2012 (Campaña otoño).

De las fuentes de información señaladas, se analizaron antecedentes de campo de corrientes (dirección y magnitud), estructura de la columna de agua (salinidad y temperatura) y magnitud del viento.

## Modelación de Pluma de Descarga

Existen diversos procedimientos de cálculo utilizados con este fin. Los más clásicos se originan en las primeras investigaciones sobre el tema (Abrahms, Brooks, Rawn, Palmer, etc.) y son del tipo aproximado. Estos se basan en métodos gráficos y/o formulas empíricas - experimentales. Recientemente se ha extendido el uso de métodos computacionales más refinados y confiables, como es la herramienta de modelación CORMIX (Cornell Mixing Zone Expert System), el modelo CORMIX es un software desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) y la Universidad de Cornell. El modelo puede trabajar con distintos tipos de descarga tales como toberas simples, difusores multipuertas, entre otros.

El CORMIX es una herramienta de computacional tendiente al análisis, simulación y diseño para descargas de residuos líquidos convencionales y tóxicos en diferentes cuerpos de agua receptores.

Una importante consideración a tener presente al momento de optar por el uso de modelos matemáticos en estudios de carácter ambiental es que sólo resultan ser un complemento y apoyo a estudios de terreno efectuados en el área de interés, posibilitando aprovechar una importante herramienta al momento que permite enfrentar diversas situaciones, como por ejemplo, columna de agua estratificada y homogénea, donde el comportamiento de la pluma modelada varía de acuerdo al escenario considerado.

El sistema CORMIX representa una robusta y versátil metodología automatizada para predecir las características cualitativas (clasificación del flujo) y los aspectos cuantitativos (taza de dilución, trayectoria de la pluma) de los procesos de mezcla hidrodinámica a partir de diferentes configuraciones de descarga y en todo tipo de cuerpos de agua, incluyendo pequeños arroyos, ríos, lagos, estuarios y aguas costeras.

La metodología proporciona respuestas a las preguntas que se presentan típicamente durante la aplicación de las regulaciones en la zona de mezcla para las descargas de contaminantes convencionales y tóxicos. Más importantemente, esto es logrado utilizando los acercamientos acostumbrados usados a menudo en la evaluación e implementación en las zonas de mezcla, de tal modo de proporcionar un marco común para personal encargado de regular alcanzando una opinión consensuada de la dilución disponible y la trayectoria de la pluma en 2D y 3D para las características del lugar y de la descarga.

### 1.2. Modelación de la Pluma (Campo Cercano)

El presente capítulo es un resumen de las premisas y suposiciones relacionadas con la simulación de la descarga de las aguas de descarte del proyecto RT Sulfuros, para lo cual se ha evaluado una descarga de 2.728 lts/s a través de una tubería de 1,8 m de diámetro provista de difusor.

El objetivo de esta simulación es evaluar el comportamiento de la salmuera una vez que sale del difusor y del abatimiento del medio sobre la referida descarga, en cuanto a la atenuación de los gradientes salinos (positivos) inducidos de manera tal que permite evaluar los posibles efectos ambientales de la descarga propuesta.

En el análisis de la información ambiental se tuvo como objetivo definir y establecer los valores de entrada para la modelación matemática de la descarga de agua de enfriamiento mediante el uso del modelo CORMIX.

Se ejecuto una simulación para el caso de estudio considerando la corriente media medida en el mismo nivel de la descarga. Se analiza la caída de la salinidad con respecto a la distancia de la descarga medida a lo largo del “centerline” o línea central de la pluma.

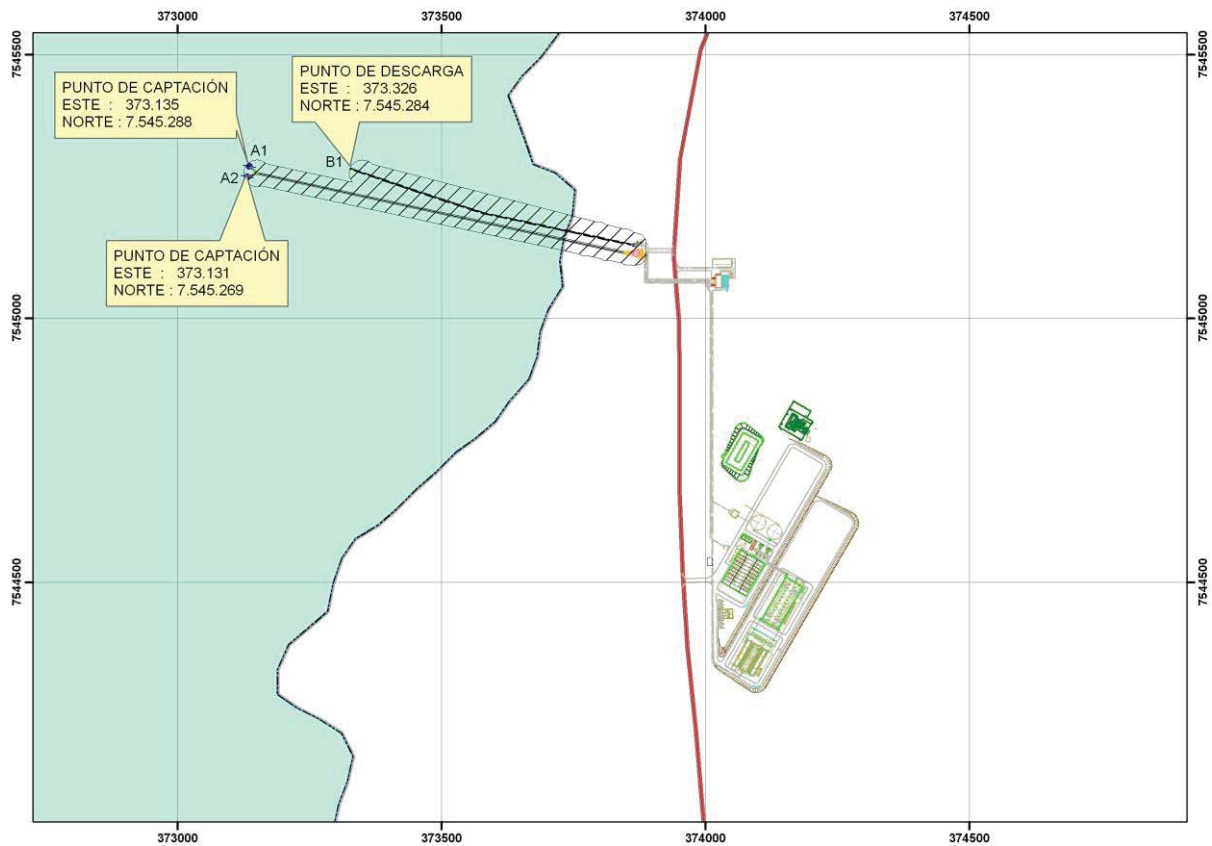
### 1.3. Sistema de Descarga

Para la realización de este análisis se ha utilizado el plano referencial presentado en la Figura 1 (Disposición General de las Obras Marítimas del Proyecto) cuya información se extrae desde el Capítulo 1 del presente EIA. De allí se han obtenido de las coordenadas del extremo del ducto de descarga.

**Tabla 1. Coordenada del Extremo de la Descarga (WGS84)**

UTM N	UTM E	Latitud (S)	Longitud (O)
7.545.284	373.326	22° 11' 35,22"	70° 13' 45,73"

**Figura 1. Disposición Tomas de Agua (A1 y A2) y Descarga de Salmuera (B1)**



### Sistema de Difusor

El difusor es una tubería de HDPE que tiene una longitud aproximada de 75 m y una sección telescópica, es decir, reduce su diámetro interno desde los 1.800 mm iniciales hasta llegar a 600 mm. Las portas se han considerado de 200 mm de diámetro saliendo de un plano vertical desde el extremo superior del tubo.

Se ha considerado la ubicación colineal del difusor con el eje principal del emisario, es decir, rumbo aproximado = 285°.

A continuación se presenta una configuración tridimensional del difusor Figura 2.

**Figura 2. Configuración Tridimensional del Difusor**



La siguiente tabla (Tabla 2) presenta un resumen de las características del sistema de descarga descrito anteriormente.

**Tabla 2. Características de Línea de Emisario**

<b>Emisario (sin difusor)</b>	Largo	480 m
	Diámetro	1.800 mm
	Pendiente	3,9 %
<b>Difusor</b>	Longitud	75 m
	Diámetro (Telescópico)	1.800 - 600 mm
	Profundidad	- 20 m.n.r.s
	Numero de Portas	14
	Diámetro	200 mm
	Altura tobera	3 m
	Distancia a fin de puntos (difusor)	480 - 555 m
	Velocidad descarga	app. 10 m/s
<b>Salmuera</b>	Salinidad	69.430 mg/L
	Temperatura	12 – 17°C
	Densidad	53,950 – 52,558
	Cloruro	38.930 mg/L
	Caudal	2.728 lts/s

## Datos de Corrientes

De las corrientes medidas en las campañas de invierno y verano en el sector, se escogió la velocidad promedio determinada a la profundidad correspondiente a la capa subsuperficial (20 m), pues es en esta donde se realizara la descarga y que en ambas campañas resulto ser de 14 cm/s,

A continuación se presenta un resumen de los valores considerados para la modelación en el medio receptor.

**Tabla 3. Valores considerados para modelación**

Parámetro	Valor	Observaciones
Configuración	No confinada	Para este caso el cuerpo de agua receptor es marino costero expuesto, cerca de la línea de costa, considerándose el medio como "No Confinado".
Profundidad de la descarga	20 m	Bajo el NRS. Definida por estudio de ingeniería.
Profundidad media del cuerpo receptor	17 a 23 m	
Velocidad del cuerpo de agua receptor	14 cm/s	Velocidad promedio al nivel de profundidad de la descarga para invierno y verano.
<i>n</i> de Manning	0,025	Valor típico para cuerpos de agua marinos de fondo rugoso
Velocidad del viento	2 m/s	Valor promedio evaluado en las 3 campañas efectuadas en el sector.
Estratificación	Levemente Estratificado	
Rango de salinidad del medio receptor	34,77 – 34,83 Invierno <sup>1</sup> 34,63 – 34,73 Verano <sup>2</sup> 34,79 – 34,89 Otoño <sup>3</sup>	Evaluada en las campañas de terreno efectuadas en el levantamiento de línea base y corresponde a la registrada entre los 17 y 20 m de profundidad.
Densidad promedio del medio receptor a 20 m	26,07 sigma-t	Evaluada en las campañas de terreno efectuadas en el levantamiento de línea base y corresponde a la registrada entre los 17 y 20 m de profundidad.

### 1.4. Caracterización de la Salmuera

El caudal máximo de diseño asociado al efluente es de 2,7 m<sup>3</sup>/s de agua de descarte o salmuera que es captada para su desalinización. Cualquiera sea el punto de descarga que se considere, el valor de salinidad adoptado para la salida, inducirá en el entorno un aumento de su salinidad, estableciéndose como su condición ambiental más desfavorable.

El emisario mantiene una longitud de 480 m desde la cámara de carga hasta el inicio del difusor

<sup>1</sup> HATCH (2012). Informe de Proyecto Línea de Base Medio Marino – Sector Km 14 - Campaña Verano. Marzo.

<sup>2</sup> ECOTECNOS (2011). Informe Técnico "informe final, ELB Marino sectores Tocopilla Norte y Sector Km 14, Región de Antofagasta". Noviembre.

<sup>3</sup> FEDMAR (2012). Información levantada en campaña de terreno efectuada el mes de mayo de 2012 (Campaña otoño).



de 75 m (total emisario: 555 m) cuyo extremo se encuentra a una profundidad de 20 m.

Para la evaluación de la descarga, se trabajará con una condición promedio de viento “Brisa (2 m/s)” como la más desfavorable, ambientalmente hablando y la evaluada en las tres campañas de terreno.

En la Tabla 4 se presentan la caracterización de las aguas de descarga en cuanto a salinidad, temperatura, densidad, caudal.

**Tabla 4. Valores Promedios para la Salmuera<sup>4</sup>**

Parámetro	Valor
Salinidad	69,430 psu
Temperatura	12- 17°C
Densidad (rango)	53,950 – 52,558 sigma-t
Caudal total	2,728 m <sup>3</sup> /s
Tipo sustancia modelada	Conservativo

## 1.5. Modelación

### Escenarios Ambientales

Tal como se planteo en un comienzo, el objetivo del trabajo es analizar mediante la modelación empírica, la descarga de la salmuera en el punto ubicado a 555 m desde la cámara de carga y el comportamiento de los gradientes salinos inducidos en el medio marino, bajo un escenario ambiental extremo o desfavorable, de manera de permitir estimar el posible efecto que pueda generar la descarga de salmuera en el medio ambiente.

Al considerar un valor máximo de 69,43 psu como salinidad de salida de la descarga o salmuera, éste inducirá en la columna de agua circundante gradientes salinos máximos de hasta 35 psu. Por lo anterior, se adoptará el exceso de “salinidad” como parámetro de evaluación para la modelación de la pluma de manera de evaluar el decrecimiento del parámetro hasta alcanzar valores normales o típicos evaluados en el entorno.

Sobre la base de la información ambiental recopilada y analizada, a continuación se presenta el escenario ambiental considerado en la modelación, que abarca la situación más desfavorable que se pudieran presentar, una vez esté construida la descarga

---

<sup>4</sup> Información de caracterización de la salmuera fue proporcionada por CODELCO.

Un resumen del escenario simulado se presenta en la siguiente Tabla 5:

**Tabla 5. Escenario ambiental considerado en la modelación**

Condición	Corriente Promedio (cm/s) (20 m)	Densidad Promedio Columna Agua (sigma-t)	Densidad Descarga (sigma-t)
INVIERNO	14	25,94 S 26,02 F	53,9497 (12°C) 51,6490 (20°C)
VERANO	14	25,86 S 26,12 F	

S: Superficial; F: Fondo

Sobre la base de los resultados reportados dentro de la línea base marina efectuada en sector Km 14, durante las campañas de invierno y verano no se observaron capas de discontinuidad como termoclinas, haloclinas o picnoclinas.

Para la evaluación del punto de descarga y teniendo presente la profundidad en el sector (20 m), se considerará la condición de “Brisa” para el viento, con una columna de agua casi homogénea, para lo cual se adoptó una densidad promedio superficial y de fondo para el sector adyacente a la descarga.

La modelación de la pluma proporcionará antecedentes de manera tal de evaluar que las restricciones a las variaciones de salinidad inducidas por la descarga al mar, se mantengan dentro de los rangos ambientales establecidos para otros usos que se presenten aledaños a la zona de descarga o mantenimiento de las comunidades bentónicas.

Los modelos para la zona de mezcla (modelación de campo cercano) son versiones reducidas de modelos más generales de calidad de agua. Estos describen con buena resolución los detalles en los procesos físicos de mezcla (advección y difusión), pero son limitados a una cinética relativamente simple del agente contaminante si se asume sustancias conservativas o con decaimiento.

La dilución del campo cercano corresponde al proceso de mezcla turbulenta de un efluente en un cuerpo receptor, como consecuencia de un flujo dominado por el momentum y la boyantes. Esto se produce por la descarga bajo la superficie de un efluente a través de un sistema de difusores en el medio marino.

Tal como se indicó, para modelar este fenómeno físico se utilizó el programa CORMIX, cuya principal característica es el presentar una amplia aplicabilidad a varios tipos de cuerpos receptores (ríos, lagos, estuarios, aguas costeras) y ha sido utilizado con buenos resultados para el manejo de la calidad de las aguas bajo el marco regulatorio.

A modo de referencia y de manera de establecer el área de influencia de la descarga de la salmuera en el medio marino, se indica como un límite máximo de incremento de salinidad de la zona de afección basándonos en una normativa internacional, como lo establece la Directiva 2006/113/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de diciembre de 2006, relativa a la calidad exigida a las aguas para cría de moluscos” en la que se menciona que: “*La variación de la*

*salinidad provocada por un vertido, en las aguas para cría de moluscos afectadas por dicho vertido, no deberá ser superior en más de un 10 % a la salinidad medida en las aguas no afectadas”.*

Con lo anterior y tomando como base la variación de salinidad en el sector: 34,63 – 34,73 psu en verano y 34,77 - 34,81 psu en invierno, período bajo los cuales se ha centrado el análisis, limitaremos la influencia de la descarga de la salmuera al área en la cual se mantenga un incremento de hasta 3,50 psu en la salinidad.

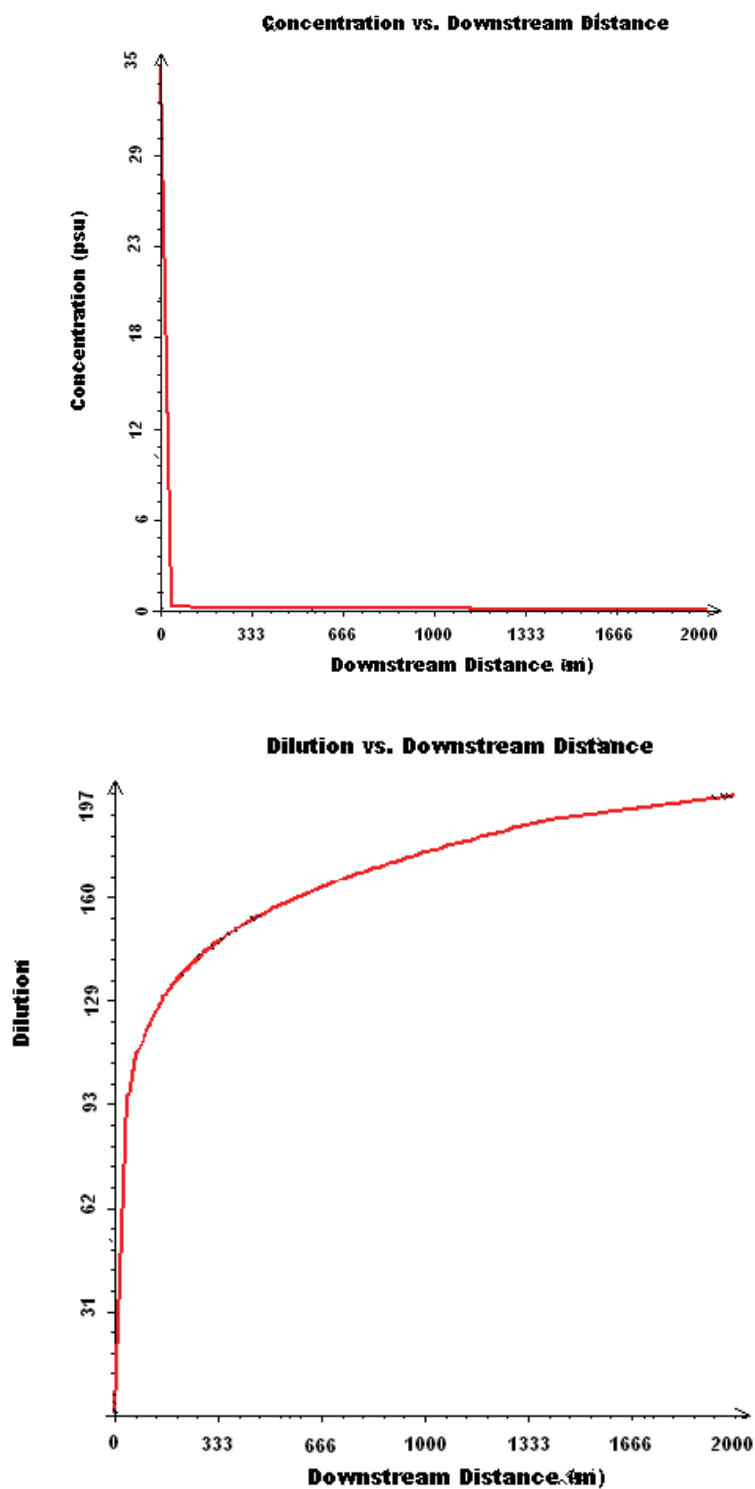
## **1.6. Resultados**

CORMIX (v6.0) es una herramienta que permite desplegar gráficamente los resultados obtenidos, tanto desde un plano horizontal, como vertical, es por ello que se describirá el comportamiento espacial de la pluma de dispersión generada por la descarga subsuperficial de la salmuera en ambos planos bidimensionales.

Con las características descritas para el difusor, se obtienen las curvas de concentración versus distancia a lo largo de la pluma de dispersión.

La Figura 3 muestra la variación horizontal del gradiente salino inducido por la descarga y la dilución de la misma.

**Figura 3. Variación Horizontal del Gradiente Salino inducido por la Descarga y la Dilución de la Salmuera**



La pluma de agua de descarte a consecuencia de su boyantes y del momentum, dominan el flujo de la descarga en las cercanías al punto de descarga, para luego fluir en el sentido de la corriente de fondo predominante.

Bajo el escenario más desfavorable y considerando la profundidad que caracteriza el punto de descarga, el máximo gradiente salino inducido por la descarga al medio receptor, decrece rápidamente cerca de la misma.

La variación en el eje horizontal del gradiente salino inducido por la descarga destaca que en la medida que la salmuera se aleja del punto, el gradiente salino disminuye rápidamente en los primeros metros, estimando a 40 m de la descarga valores con gradientes positivos  $< 3,5$  psu (Figura 3), límite establecido para definir la influencia de la pluma de la salmuera en el medio marino.

Se hace presente que el medio receptor (sector km 14) ha registrado valores de salinidad en la columna de agua entre 34,63 y 34,81 psu (incluye ambos períodos estacionales analizados).

En un plano horizontal, al momento que el agua descargada se mantiene cerca del fondo, las condiciones ambientales controlarán la trayectoria y la dilución de la pluma turbulenta, condicionando a que agua con mayor salinidad y densidad se desplace por el referido nivel de profundidad fuera del punto de descarga impulsada por las corrientes marinas.

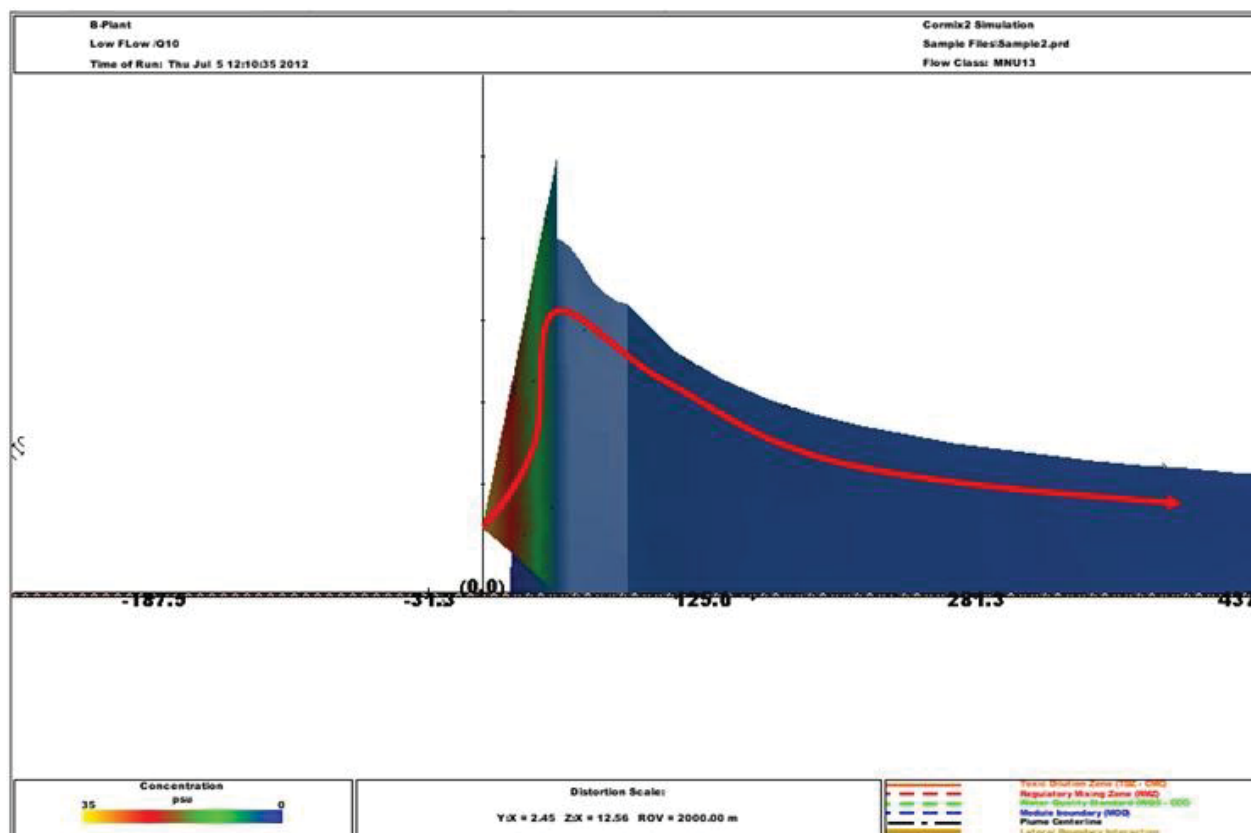
### **Representación Gráfica de la Descarga**

La Figura 4 muestra dos vistas en 2D y 3D para la descarga de la salmuera en el plano vertical y horizontal para una condición de invierno y verano. En términos generales, en ellas se aprecia que en las cercanías del punto de descarga, la pluma asciende hacia la superficie sin alcanzarla, posterior a lo cual y en la medida que la pluma se aleja del punto de descarga, éste tiende a hundirse para mantenerse a nivel profundo o cercano al fondo producto de la mayor densidad del agua descargada.

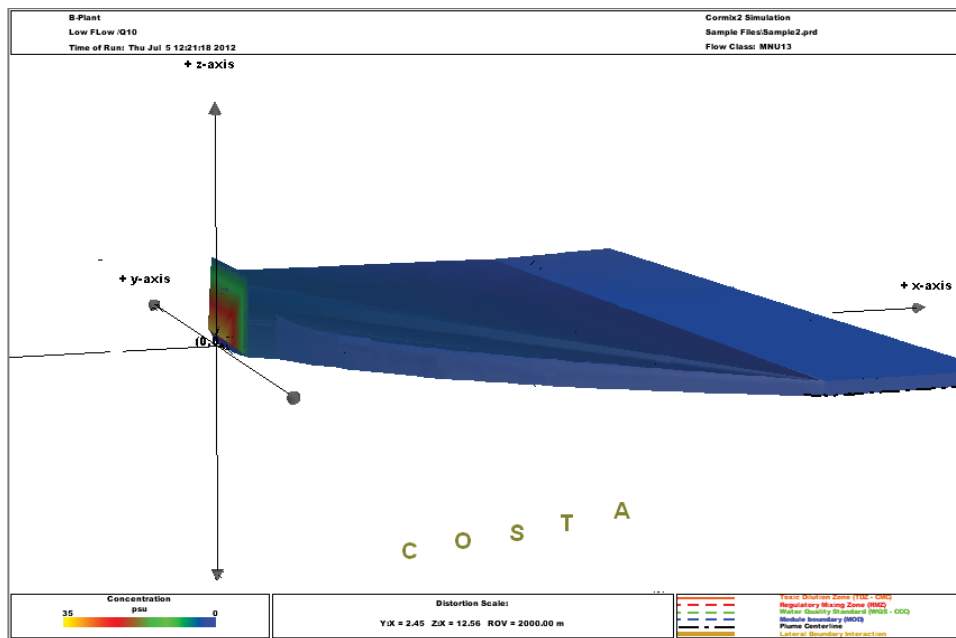
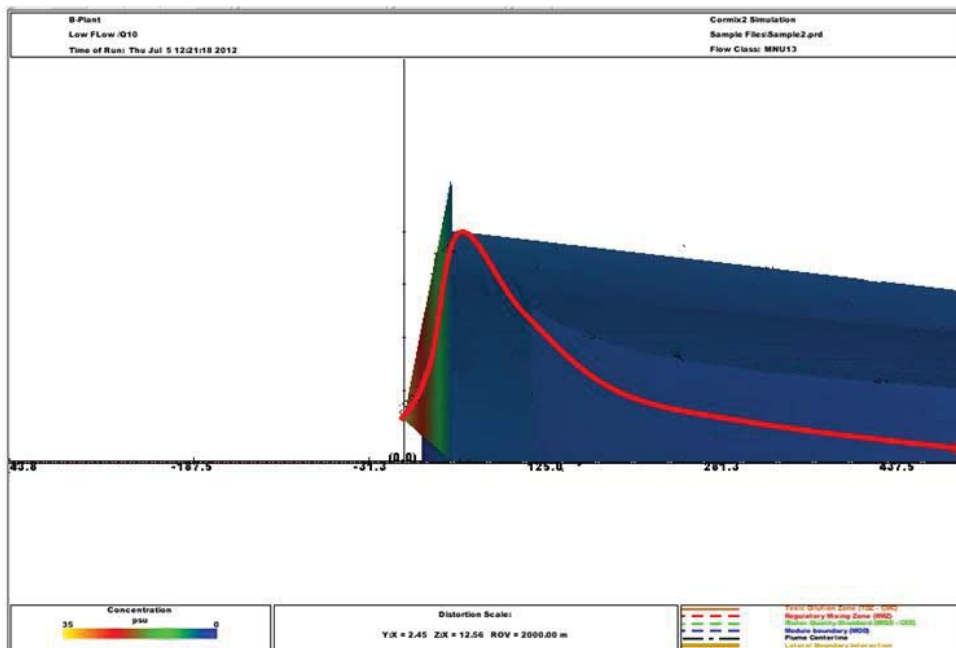
En la figura se observa el rápido decrecimiento del gradiente de salinidad que ocurre cerca de la descarga.

Figura 4. Visualización 2D y 3D de la Pluma de Dispersión generada por la Descarga de la Salmuera para la Condición de Invierno y Verano

### Invierno



## Verano



En términos generales, variados son los procesos y condiciones que determinan el comportamiento de la descarga y que en respuesta a las propiedades adquiridas, se desplazará preferentemente por el fondo influenciando las capas inferiores de la columna de agua, producto de la carga de salmuera. De esta manera, los gradientes salinos inducidos en el cuerpo receptor, principalmente, se verán atenuados rápidamente por efectos de la mezcla que tiene lugar entre la salmuera y el entorno producto de la mezcla turbulenta inducida, principalmente, por la geometría del difusor y velocidad de salida (10 m/s).

### 1.7. Comentarios

El efecto de la descarga de las aguas de descarte de la planta desaladora fue realizado considerando que el exceso de salinidad del agua es un trazador conservativo, es decir, que esta variable se ve afectada sólo por procesos de advección y difusión.

Las aguas de descarte que serán descargadas en el sector de estudio transferirán un exceso de sales al medio receptor, corresponden a aguas marinas que son succionadas del cuerpo de agua y luego retornadas al mismo con un incremento en la salinidad. En este sentido, la variable en juego es física de muy baja persistencia que no limita el uso del recurso agua, aún en la zona de mezcla con aguas naturales.

Dado que la salinidad de las aguas de descarte es mayor a las aguas marinas receptoras, su densidad es comparativamente mayor por lo que presenta una boyantez negativa. Ello significa que una vez que ingresan las aguas descargadas al medio marino receptor, éstas ascenderán por la columna de agua, sin impactar la superficie, para luego descender hacia capas más profundas.

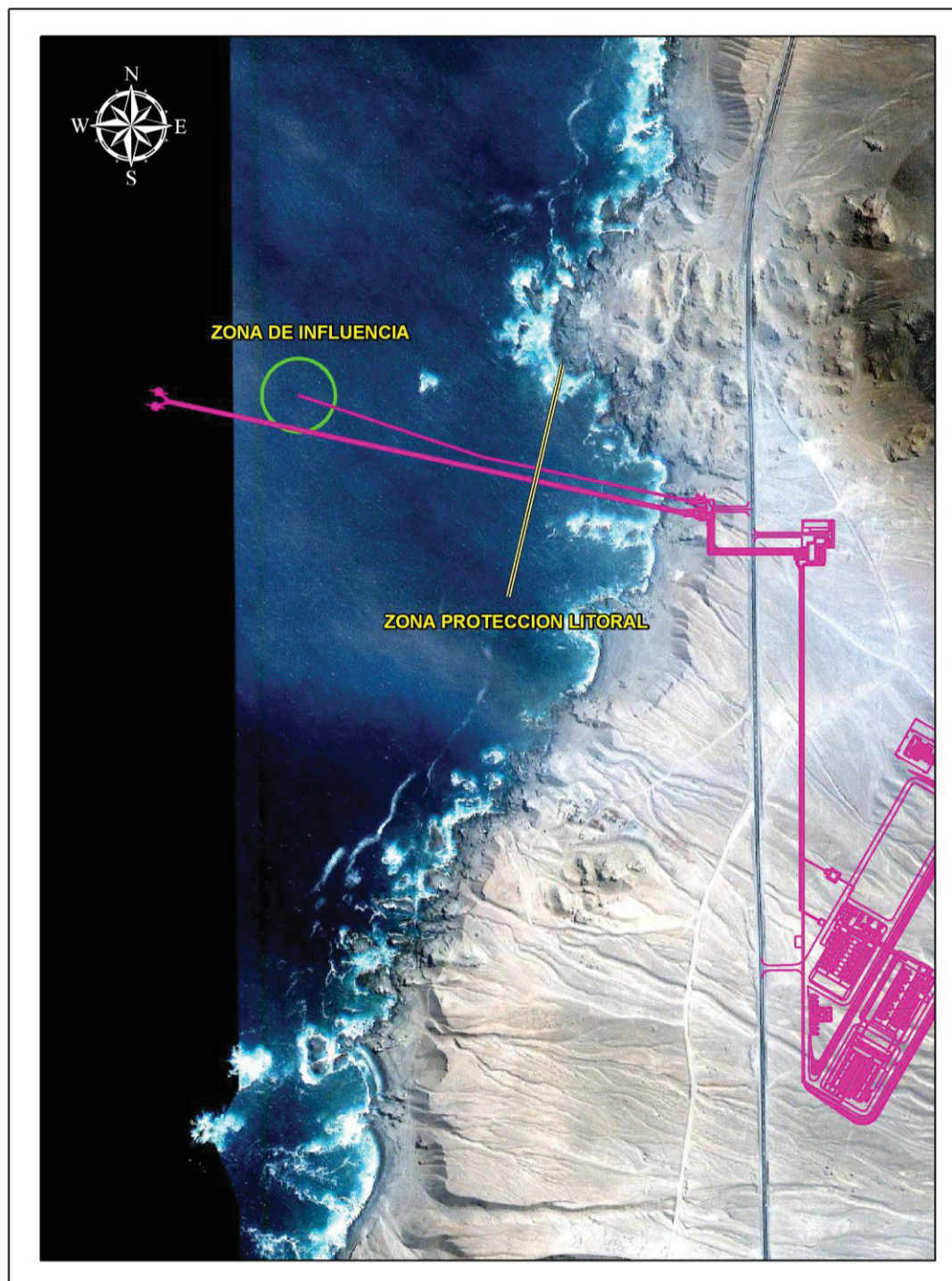
En cuanto a la dilución y decrecimiento del gradiente salino, no se observa diferencias significativas entre la condición de verano e invierno, sin embargo, en cuanto a la dispersión de la descarga en el medio marino, producto de las características que presenta la columna de agua en el periodo de verano, la pluma tiende a ocupar una mayor proporción de la misma una vez que esta comienza a descender (Figura 4).

La evaluación efectuada al difusor permite concluir que su diseño y geometría permite un rápido decrecimiento del gradiente de salinidad incorporado el cuerpo de agua marino, atenuando con ello el o los impactos sobre el medio marino.

El área de influencia de la pluma determinada por aquella en la cual se mantiene un incremento de 3,5 psu de salinidad se acota a 50 m del difusor (plano horizontal), quedando fuera de la zona de protección litoral (ZPL), la cual se ha determinado por DIRECTEMAR a 176 m desde la línea de costa para el Proyecto (Figura 5).



**Figura 5. Ubicación del Punto de Descarga y Área de Influencia de la Pluma Salina, respecto a la Zona de Protección Litoral**



## 1.8. Conclusiones

Los resultados entregados por las simulaciones con un sistema de descarga con difusor y bajo el escenario más desfavorable, la dispersión de la pluma no alcanzara a impactar la superficie cerca del punto de descarga.

La variación en el eje del gradiente salino inducido por la descarga destaca que en la medida que la pluma salina se aleja del punto, el gradiente disminuye rápidamente en los primeros metros, estimando a 40 m de distancia valores de gradiente  $< 3,5$  psu (siguiendo el eje de la pluma) (Figura 3).

En respuesta al régimen de corrientes del sector en estudio, se presentan corrientes que permitirán que la pluma de agua salina una vez que se aleje del difusor derive bajo la superficie predominantemente siguiendo el sentido de la corriente alejándose de la costa y tendiendo a mantenerse a nivel profundo producto de la densidad del agua descargada.

Con lo reportado en el presente informe, se confirmar lo siguiente:

- Bajo una condición normal, se observa una menor cobertura del efecto de la pluma salina en el cuerpo receptor, manteniéndose los mayores gradientes muy cerca de las descargas o del difusor.
- La dilución de la salmuera descargada está influenciada por la geometría del difusor que confiere que la descarga se diluya y mezcla rápidamente antes que la dispersión de la pluma se encuentre influenciada por las corrientes marinas del sector.
- Se establece un área de influencia directa por efectos de incremento de la salinidad en el cuerpo de agua de app. 40 m de diámetro (plano horizontal) medidos del punto de descarga.
- Se espera que el agua de descarte, una vez vertida en el punto propuesto en el medio marino, genere una pluma que se desplace por debajo de la superficie en dirección de la corriente marina.
- La herramienta utilizada (CORMIX, v.6.0) confirma un rápido decrecimiento del gradiente de temperatura inducido por la pluma de dispersión en el sector aledaño a la descarga.
- El diseño del difusor y la zona de descarga evaluada presenta condiciones oceanográficas favorables para la atenuación de los gradientes salinos inducidos al cuerpo de agua receptor.
- La zona de influencia de la descarga de la salmuera de mantienen fuera de la zona de protección litoral definida por DIRECTEMAR (176 m).

## **APÉNDICE 4-6.1**

### **RESULTADOS DEL MODELO**

[illegible]

BV = Gaussian 1/e (37%) half-width, in vertical plane normal to trajectory  
BH = top-hat half-width, in horizontal plane normal to trajectory  
S = hydrodynamic centerline dilution  
C = centerline concentration (includes reaction effects, if any)  
Uc = Local centerline excess velocity (above ambient)  
TT = Cumulative travel time

X	Y	Z	S	C	BV	BH	Uc	TT
0.00	0.00	2.50	1.0	0.350E+02	0.00	37.50	10.149	.00000E+00

END OF MOD201: DIFFUSER DISCHARGE MODULE

BEGIN MOD234: UNSTABLE RECIRCULATION REGION OVER LAYER DEPTH

INITIAL LOCAL VERTICAL INSTABILITY REGION:

Bulk dilution (S = 87.31) occurs in a limited region (horizontal extent = 42.35 m) surrounding the discharge location.

Control volume inflow:

X	Y	Z	S	C	BV	BH	TT
0.00	0.00	2.50	1.0	0.350E+02	0.00	37.50	.00000E+00

Control volume outflow:

X	Y	Z	S	C	BV	BH	TT
42.35	0.00	9.00	87.3	0.401E+00	18.00	82.50	.00000E+00

END OF MOD234: UNSTABLE RECIRCULATION REGION OVER LAYER DEPTH

BEGIN MOD234a: UPSTREAM SPREADING AFTER NEAR-FIELD INSTABILITY

UPSTREAM INTRUSION PROPERTIES:

Upstream intrusion length	=	26.51 m
X-position of upstream stagnation point	=	15.84 m
Thickness in intrusion region	=	14.67 m
Half-width at downstream end	=	81.73 m
Thickness at downstream end	=	11.92 m

Control volume inflow:

X	Y	Z	S	C	BV	BH	TT
42.35	0.00	9.00	87.3	0.401E+00	18.00	82.50	.00000E+00

Profile definitions:

BV = top-hat thickness, measured vertically  
BH = top-hat half-width, measured horizontally in y-direction  
ZU = upper plume boundary (Z-coordinate)  
ZL = lower plume boundary (Z-coordinate)  
S = hydrodynamic average (bulk) dilution  
C = average (bulk) concentration (includes reaction effects, if any)  
TT = Cumulative travel time

X	Y	Z	S	C	BV	BH	ZU	ZL	TT
15.84	0.00	0.00	9999.9	0.000E+00	0.00	0.00	0.00	0.00	.29189E+03
17.18	0.00	0.00	309.2	0.113E+00	4.14	18.60	4.14	0.00	.00000E+00
23.79	0.00	0.00	129.6	0.270E+00	9.88	45.18	9.88	0.00	.00000E+00
30.39	0.00	0.00	100.2	0.349E+00	12.78	61.12	12.78	0.00	.00000E+00
36.99	0.00	0.00	89.6	0.391E+00	14.30	73.70	14.30	0.00	.00000E+00
43.60	0.00	0.00	87.4	0.401E+00	14.66	82.00	14.66	0.00	.89019E+01
50.20	0.00	0.00	89.1	0.393E+00	14.29	81.95	14.29	0.00	.56066E+02
56.80	0.00	0.00	92.4	0.379E+00	13.59	81.90	13.59	0.00	.10323E+03
63.41	0.00	0.00	95.7	0.366E+00	12.87	81.85	12.87	0.00	.15039E+03
70.01	0.00	0.00	98.1	0.357E+00	12.36	81.81	12.36	0.00	.19756E+03
76.61	0.00	0.00	99.4	0.352E+00	12.09	81.77	12.09	0.00	.24472E+03
83.21	0.00	0.00	100.2	0.349E+00	11.92	81.73	11.92	0.00	.29189E+03

Cumulative travel time = 291.8877 sec

END OF MOD234a: UPSTREAM SPREADING AFTER NEAR-FIELD INSTABILITY

\*\* End of NEAR-FIELD REGION (NFR) \*\*

BEGIN MOD241: BUOYANT AMBIENT SPREADING

Profile definitions:

BV = top-hat thickness, measured vertically  
BH = top-hat half-width, measured horizontally in y-direction  
ZU = upper plume boundary (Z-coordinate)  
ZL = lower plume boundary (Z-coordinate)

ZL = lower plume boundary (Z-coordinate)  
S = hydrodynamic average (bulk) dilution  
C = average (bulk) concentration (includes reaction effects, if any)  
TT = Cumulative travel time

Plume Stage 1 (not bank attached):

X	Y	Z	S	C	BV	BH	ZU	ZL	TT
83.21	0.00	0.00	100.2	0.349E+00	11.92	81.73	11.92	0.00	.29189E+03
102.38	0.00	0.00	104.6	0.335E+00	10.47	97.13	10.47	0.00	.42880E+03
121.55	0.00	0.00	108.2	0.323E+00	9.47	111.13	9.47	0.00	.56571E+03
140.72	0.00	0.00	111.2	0.315E+00	8.72	124.05	8.72	0.00	.70263E+03
159.89	0.00	0.00	113.9	0.307E+00	8.13	136.11	8.13	0.00	.83954E+03
179.05	0.00	0.00	116.2	0.301E+00	7.66	147.46	7.66	0.00	.97645E+03
198.22	0.00	0.00	118.2	0.296E+00	7.27	158.20	7.27	0.00	.11134E+04
217.39	0.00	0.00	120.1	0.291E+00	6.94	168.41	6.94	0.00	.12503E+04
236.56	0.00	0.00	121.8	0.287E+00	6.65	178.17	6.65	0.00	.13872E+04
255.73	0.00	0.00	123.4	0.284E+00	6.40	187.53	6.40	0.00	.15241E+04
274.89	0.00	0.00	124.9	0.280E+00	6.18	196.52	6.18	0.00	.16610E+04
294.06	0.00	0.00	126.3	0.277E+00	5.99	205.18	5.99	0.00	.17979E+04
313.23	0.00	0.00	127.6	0.274E+00	5.81	213.54	5.81	0.00	.19348E+04
332.40	0.00	0.00	128.8	0.272E+00	5.65	221.64	5.65	0.00	.20718E+04
351.56	0.00	0.00	129.9	0.269E+00	5.51	229.48	5.51	0.00	.22087E+04
370.73	0.00	0.00	131.0	0.267E+00	5.37	237.10	5.37	0.00	.23456E+04
389.90	0.00	0.00	132.1	0.265E+00	5.25	244.50	5.25	0.00	.24825E+04
409.07	0.00	0.00	133.0	0.263E+00	5.14	251.70	5.14	0.00	.26194E+04
428.24	0.00	0.00	134.0	0.261E+00	5.04	258.72	5.04	0.00	.27563E+04
447.40	0.00	0.00	134.9	0.259E+00	4.94	265.57	4.94	0.00	.28932E+04
466.57	0.00	0.00	135.8	0.258E+00	4.85	272.25	4.85	0.00	.30302E+04
485.74	0.00	0.00	136.6	0.256E+00	4.77	278.79	4.77	0.00	.31671E+04
504.91	0.00	0.00	137.4	0.255E+00	4.69	285.18	4.69	0.00	.33040E+04
524.08	0.00	0.00	138.2	0.253E+00	4.61	291.44	4.61	0.00	.34409E+04
543.24	0.00	0.00	139.0	0.252E+00	4.54	297.56	4.54	0.00	.35778E+04
562.41	0.00	0.00	139.7	0.251E+00	4.47	303.57	4.47	0.00	.37147E+04
581.58	0.00	0.00	140.4	0.249E+00	4.41	309.46	4.41	0.00	.38516E+04
600.75	0.00	0.00	141.1	0.248E+00	4.35	315.25	4.35	0.00	.39885E+04
619.91	0.00	0.00	141.8	0.247E+00	4.30	320.92	4.30	0.00	.41255E+04
639.08	0.00	0.00	142.4	0.246E+00	4.24	326.50	4.24	0.00	.42624E+04
658.25	0.00	0.00	143.1	0.245E+00	4.19	331.99	4.19	0.00	.43993E+04
677.42	0.00	0.00	143.7	0.244E+00	4.14	337.38	4.14	0.00	.45362E+04
658.25	0.00	0.00	143.1	0.245E+00	4.19	331.99	4.19	0.00	.43993E+04
677.42	0.00	0.00	143.7	0.244E+00	4.14	337.38	4.14	0.00	.45362E+04
696.59	0.00	0.00	144.3	0.243E+00	4.09	342.69	4.09	0.00	.46731E+04
715.75	0.00	0.00	144.9	0.242E+00	4.05	347.91	4.05	0.00	.48100E+04
734.92	0.00	0.00	145.5	0.241E+00	4.01	353.06	4.01	0.00	.49469E+04
754.09	0.00	0.00	146.0	0.240E+00	3.97	358.12	3.97	0.00	.50838E+04
773.26	0.00	0.00	146.6	0.239E+00	3.93	363.12	3.93	0.00	.52208E+04
792.43	0.00	0.00	147.1	0.238E+00	3.89	368.04	3.89	0.00	.53577E+04
811.59	0.00	0.00	147.7	0.237E+00	3.85	372.89	3.85	0.00	.54946E+04
830.76	0.00	0.00	148.2	0.236E+00	3.82	377.68	3.82	0.00	.56315E+04
849.93	0.00	0.00	148.7	0.235E+00	3.78	382.41	3.78	0.00	.57684E+04
869.10	0.00	0.00	149.2	0.235E+00	3.75	387.07	3.75	0.00	.59053E+04
888.26	0.00	0.00	149.7	0.234E+00	3.72	391.68	3.72	0.00	.60422E+04
907.43	0.00	0.00	150.2	0.233E+00	3.69	396.23	3.69	0.00	.61792E+04
926.60	0.00	0.00	150.7	0.232E+00	3.66	400.72	3.66	0.00	.63161E+04
945.77	0.00	0.00	151.2	0.232E+00	3.63	405.16	3.63	0.00	.64530E+04
964.94	0.00	0.00	151.6	0.231E+00	3.60	409.54	3.60	0.00	.65899E+04
984.10	0.00	0.00	152.1	0.230E+00	3.57	413.88	3.57	0.00	.67268E+04
1003.27	0.00	0.00	152.6	0.229E+00	3.55	418.17	3.55	0.00	.68637E+04
1022.44	0.00	0.00	153.0	0.229E+00	3.52	422.41	3.52	0.00	.70006E+04
1041.61	0.00	0.00	153.5	0.228E+00	3.50	426.60	3.50	0.00	.71375E+04
1060.78	0.00	0.00	153.9	0.227E+00	3.47	430.75	3.47	0.00	.72745E+04
1079.94	0.00	0.00	154.4	0.227E+00	3.45	434.86	3.45	0.00	.74114E+04
1099.11	0.00	0.00	154.8	0.226E+00	3.43	438.93	3.43	0.00	.75483E+04
1118.28	0.00	0.00	155.2	0.225E+00	3.41	442.95	3.41	0.00	.76852E+04
1137.45	0.00	0.00	155.6	0.225E+00	3.39	446.93	3.39	0.00	.78221E+04
1156.61	0.00	0.00	156.1	0.224E+00	3.37	450.88	3.37	0.00	.79590E+04
1175.78	0.00	0.00	156.5	0.224E+00	3.35	454.79	3.35	0.00	.80959E+04
1194.95	0.00	0.00	156.9	0.223E+00	3.33	458.66	3.33	0.00	.82329E+04
1214.12	0.00	0.00	157.3	0.223E+00	3.31	462.49	3.31	0.00	.83698E+04
1233.29	0.00	0.00	157.7	0.222E+00	3.29	466.29	3.29	0.00	.85067E+04
1252.45	0.00	0.00	158.1	0.221E+00	3.27	470.06	3.27	0.00	.86436E+04
1271.62	0.00	0.00	158.5	0.221E+00	3.25	473.79	3.25	0.00	.87805E+04
1290.79	0.00	0.00	158.9	0.220E+00	3.24	477.49	3.24	0.00	.89174E+04
1309.96	0.00	0.00	159.3	0.220E+00	3.22	481.16	3.22	0.00	.90543E+04
1329.12	0.00	0.00	159.7	0.219E+00	3.20	484.79	3.20	0.00	.91912E+04
1348.29	0.00	0.00	160.1	0.219E+00	3.19	488.40	3.19	0.00	.93282E+04
1367.46	0.00	0.00	160.5	0.218E+00	3.17	491.98	3.17	0.00	.94651E+04
1386.63	0.00	0.00	160.8	0.218E+00	3.16	495.53	3.16	0.00	.96020E+04



1348.29	0.00	0.00	160.1	0.219E+00	3.19	488.40	3.19	0.00	.93282E+04
1367.46	0.00	0.00	160.5	0.218E+00	3.17	491.98	3.17	0.00	.94651E+04
1386.63	0.00	0.00	160.8	0.218E+00	3.16	495.53	3.16	0.00	.96020E+04
1405.80	0.00	0.00	161.2	0.217E+00	3.14	499.05	3.14	0.00	.97389E+04
1424.96	0.00	0.00	161.6	0.217E+00	3.13	502.54	3.13	0.00	.98758E+04
1444.13	0.00	0.00	162.0	0.216E+00	3.11	506.00	3.11	0.00	.10013E+05
1463.30	0.00	0.00	162.3	0.216E+00	3.10	509.44	3.10	0.00	.10150E+05
1482.47	0.00	0.00	162.7	0.215E+00	3.09	512.86	3.09	0.00	.10287E+05
1501.64	0.00	0.00	163.1	0.215E+00	3.07	516.24	3.07	0.00	.10423E+05
1520.80	0.00	0.00	163.5	0.214E+00	3.06	519.61	3.06	0.00	.10560E+05
1539.97	0.00	0.00	163.8	0.214E+00	3.05	522.94	3.05	0.00	.10697E+05
1559.14	0.00	0.00	164.2	0.213E+00	3.03	526.26	3.03	0.00	.10834E+05
1578.31	0.00	0.00	164.5	0.213E+00	3.02	529.55	3.02	0.00	.10971E+05
1597.47	0.00	0.00	164.9	0.212E+00	3.01	532.82	3.01	0.00	.11108E+05
1616.64	0.00	0.00	165.3	0.212E+00	3.00	536.06	3.00	0.00	.11245E+05
1635.81	0.00	0.00	165.6	0.211E+00	2.99	539.28	2.99	0.00	.11382E+05
1654.98	0.00	0.00	166.0	0.211E+00	2.98	542.49	2.98	0.00	.11519E+05
1674.15	0.00	0.00	166.3	0.210E+00	2.96	545.67	2.96	0.00	.11656E+05
1693.31	0.00	0.00	166.7	0.210E+00	2.95	548.83	2.95	0.00	.11793E+05
1712.48	0.00	0.00	167.0	0.210E+00	2.94	551.96	2.94	0.00	.11930E+05
1731.65	0.00	0.00	167.4	0.209E+00	2.93	555.08	2.93	0.00	.12066E+05
1750.82	0.00	0.00	167.8	0.209E+00	2.92	558.18	2.92	0.00	.12203E+05
1769.99	0.00	0.00	168.1	0.208E+00	2.91	561.26	2.91	0.00	.12340E+05
1789.15	0.00	0.00	168.5	0.208E+00	2.90	564.32	2.90	0.00	.12477E+05
1808.32	0.00	0.00	168.8	0.207E+00	2.89	567.37	2.89	0.00	.12614E+05
1827.49	0.00	0.00	169.1	0.207E+00	2.88	570.39	2.88	0.00	.12751E+05
1846.66	0.00	0.00	169.5	0.206E+00	2.87	573.39	2.87	0.00	.12888E+05
1865.82	0.00	0.00	169.8	0.206E+00	2.87	576.38	2.87	0.00	.13025E+05
1884.99	0.00	0.00	170.2	0.206E+00	2.86	579.35	2.86	0.00	.13162E+05
1904.16	0.00	0.00	170.5	0.205E+00	2.85	582.31	2.85	0.00	.13299E+05
1923.33	0.00	0.00	170.9	0.205E+00	2.84	585.24	2.84	0.00	.13436E+05
1942.50	0.00	0.00	171.2	0.204E+00	2.83	588.16	2.83	0.00	.13572E+05
1961.66	0.00	0.00	171.6	0.204E+00	2.82	591.06	2.82	0.00	.13709E+05
1980.83	0.00	0.00	171.9	0.204E+00	2.81	593.95	2.81	0.00	.13846E+05
2000.00	0.00	0.00	172.3	0.203E+00	2.81	596.82	2.81	0.00	.13983E+05

Cumulative travel time = 13983.2100 sec

Simulation limit based on maximum specified distance = 2000.00 m.  
This is the REGION OF INTEREST limitation.