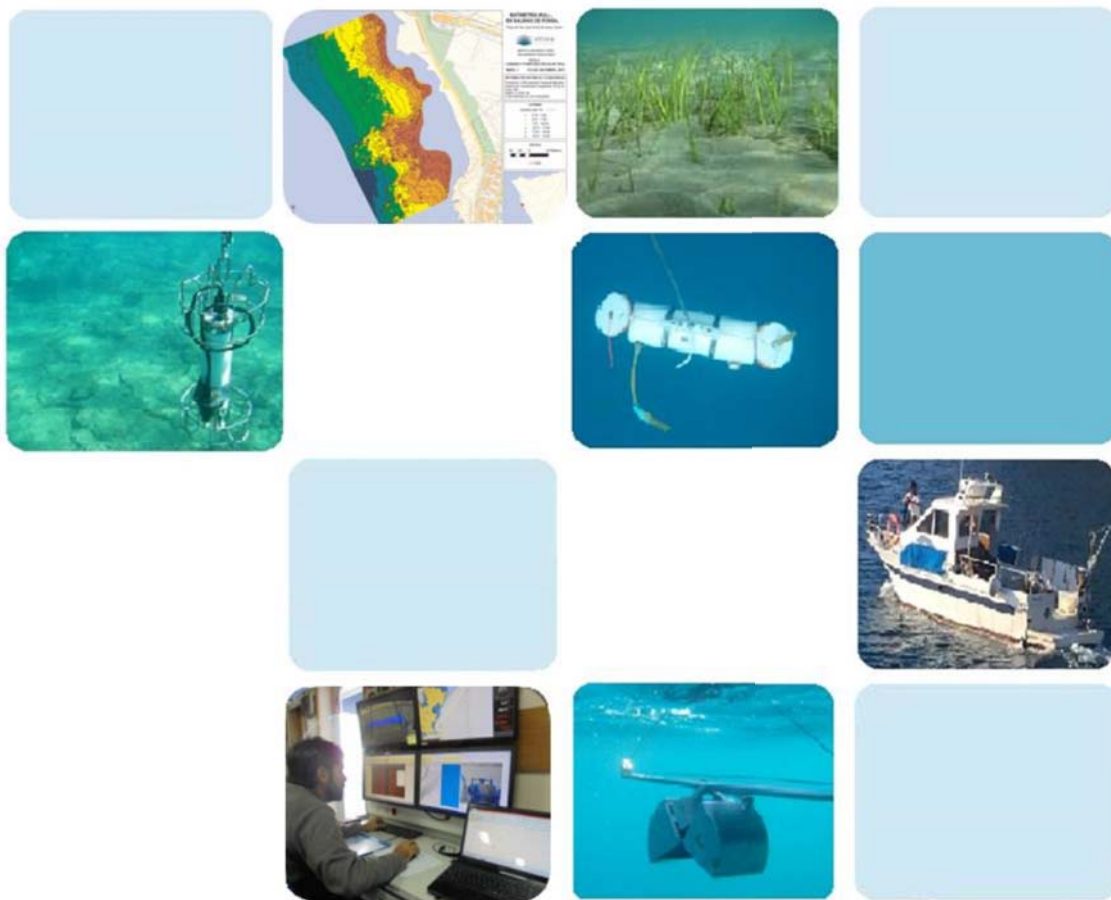


ANEXO 6

*ESTUDIO DE LA AFECCIÓN DE LA SALMUERA DEL PROYECTO DE MODERNIZACIÓN Y
MEJORA DE REGADÍO EN LA ZONA CENTRO SUR DE FUERTEVENTURA T.M. DE TUINEJE*



**INFORME TÉCNICO
EXPTE.20/2020**

*ESTUDIO DE LA AFECCIÓN DE LA SALMUERA DEL
PROYECTO DE MODERNIZACIÓN Y MEJORA DE REGADÍO
EN LA ZONA CENTRO SUR DE FUERTEVENTURA T.M. DE
TUINEJE*

Octubre | 2020

elittoral

Elaborado por :

Teresa Carreira Galbán

Noelia Arto Cuesta

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	3
1. JUSTIFICACIÓN, ANTECEDENTES Y OBJETO DE LOS TRABAJOS.....	4
2. INTRODUCCIÓN	6
3. METODOLOGÍA.....	8
3.1. MODELIZACIÓN BRIHNE (PROYECTO MEDVSA).....	8
3.1.1. brIHne Plume3D (campo lejano).....	9
3.1.1.1. Descripción del modelo. Base teórica.....	9
3.1.1.2. Hipótesis simplificativas.....	13
3.1.2. brIHne Jet-Plume2D (campo cercano-campo lejano).....	14
3.1.2.1. Descripción del modelo. Base teórica.....	14
3.1.2.2. Hipótesis simplificativas.....	20
3.2. CASOS DE ESTUDIO Y SIMULACIÓN.....	21
4. RESULTADOS	24
4.1. SIMULACIÓN E1C1. Caudal habitual en la BMVE.....	24
4.2. SIMULACIÓN E1C2. Caudal máximo en la BMVE.....	26
4.3. SIMULACIÓN E2C1. Caudal habitual en la PMVE	28
4.4. SIMULACIÓN E2C2. Caudal máximo en la PMVE	30
5. CONCLUSIONES, CONSIDERACIONES Y RECOMENDACIONES.....	32
6. REFERENCIAS	38
ANEXOS	40
ANEXO 1. SIMULACIÓN E1C1. Caudal habitual en la BMVE	42
ANEXO 2. SIMULACIÓN E1C2. Caudal habitual en la PMVE.....	48
ANEXO 3. SIMULACIÓN E2C1. Caudal máximo en la BMVE.....	54
ANEXO 4. SIMULACIÓN E2C2. Caudal máximo en la PMVE.....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Graficas de evolución de variables en el campo lejano. Simulación E1C1.
25

Figura 2. Graficas de evolución de variables en el campo lejano. Simulación E1C2.
27

Figura 3. Graficas de evolución de variables en el campo lejano. Simulación E2C1.
29

Figura 4. Graficas de evolución de variables en el campo lejano. Simulación E2C2.
31

Figura 5. Plano de Comunidades marinas. Fuente: *Evaluación del estado de la pradera de Cymodocea nodosa anexa al vertido de la Desaladora de Gran Tarajal, junio 2020*(Ecos SL).....35

Figura 6. Localización del punto de vertido en el extremo este de la Playa del Aceituno. Fuente: Estudio Ecocartográfico de Fuerteventura (2003-2006). Visor Plataforma IDECanarias (GRAFCAN).....36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos de entrada.22

Tabla 2. *Parámetros de entrada de la simulación E1C1*.24

Tabla 3. *Parámetros de entrada de la simulación E1C2*.26

Tabla 4. *Parámetros de entrada de la simulación E2C1*.28

Tabla 5. *Parámetros de entrada de la simulación E2C2*.30

Tabla 6. *Resumen de los resultados a distintas distancias del punto de vertido*.32

Tabla 7. Umbrales de tolerancia establecidos para ciertos organismos/hábitats presentes en Canarias. Fuente: Tabla 2 de la *Guía explicativa para la solicitud de autorización de Vertidos desde tierra al mar, noviembre de 2017*.34

1. JUSTIFICACIÓN, ANTECEDENTES Y OBJETO DE LOS TRABAJOS

Con fecha de 30 de julio de 2020 el Director General de Agricultura del Gobierno de Canarias aprueba el gasto y adjudica el servicio consistente en el *Estudio de la afección de la salmuera del proyecto de modernización mejora de regadío en la zona centro sur de Fuerteventura, T. M. de Tuineje* a **elittoral SLNE, Estudios de Ingeniería costera y Oceanográfica**, tratándose este procedimiento de un contrato menor.

El presente contrato se enmarca en el proyecto *Modernización y Mejora de regadío en la zona centro sur de Fuerteventura, T.M. de Tuineje (Fuerteventura)* obra de interés general. Es un proyecto novedoso que combina la utilización de energías renovables con la utilización de agua desalada. Consiste en la remodelación de la planta desaladora de agua de mar por ósmosis inversa de Gran Tarajal para uso en regadío junto con la instalación de un aerogenerador que suministre energía a la planta desaladora y a un bombeo que envía el agua de riego desde la EDAM de Gran Tarajal a dos escalones de regadío, uno en Mazacote y otro en la Balsa de Tesejerague.

El objetivo del estudio es la evaluación del comportamiento de los vertidos de salmuera en el medio marino. Determinar el punto en el que la pluma hipersalina alcanza valores similares a los que presenta el medio receptor o su dilución completa. Y si las especies o hábitats de elevado interés ambiental presentes en el entorno pueden verse afectados por los vertidos de salmuera.

2. INTRODUCCIÓN

Los vertidos de salmuera se realizan comúnmente a través de un emisario (o conducción submarina) al final del cual suele encontrarse un sistema difusor, cuya acción genera un tiro parabólico de la salmuera mediante un chorro. En la zona más próxima del emisario se presenta un chorro hipersalino turbulento en la columna de agua, la cual se convierte a continuación en la zona turbulenta en el fondo (*spreading layer*), constituyendo estas dos zonas, el campo cercano del vertido. Este campo está condicionado principalmente por el diseño y características del vertido. Cuando el vertido de salmuera ya no es turbulento en el fondo y su dilución depende de las características del medio, esta se adentra en el campo lejano.

Una vez termina el campo cercano, la pluma se ve sometida a dos fuerzas principales, cinéticas y gravitacionales, dominando la primera hasta alcanzar la máxima altura, para luego descender hacia el fondo e impactar debido a la fuerza gravitacional.

A medida que avanza la salmuera va aumentando su ancho por esparcimiento lateral, los bordes laterales de la pluma hipersalina presentan, por un lado, espesores más pequeños, y por otro, un menor grado de estratificación al presentar salinidades menores. De esta forma, la densidad y, por lo tanto, el impacto sobre el lecho marino y sus comunidades bentónicas, en el campo lejano, dependen ampliamente de la importancia de la difusión en el campo cercano.

En el caso de una baja dilución en el campo cercano, la densidad de la pluma permanecería superior al medio receptor en el campo lejano, lo que ocasionaría un proceso de mezcla más lento y por lo tanto una mayor extensión de la pluma, pudiendo alcanzar varios kilómetros o hectáreas y afectar a los ecosistemas marinos, aunque se encuentren en el campo lejano. Sin embargo, cabe recordar la reducida extensión vertical de la salmuera en el campo lejano, no superando unos pocos centímetros. Así, además de las características del sistema de descarga, su caudal y su salinidad, la dispersión de la pluma hipersalina dependerá de la batimetría, de la rugosidad del fondo, así como de las condiciones meteorológicas y oceanográficas reinantes de la zona. Estas condiciones rigen en gran parte el grado de exposición hidrodinámica del medio receptor, cuyo parámetro de referencia es la velocidad de corriente en el fondo, la cual puede condicionar la dispersión del vertido de salmuera. Estudios anteriores (Portillo *et al*, 2011, Payo *et al* 2010) mostraron que pequeños aumentos de la velocidad de la corriente en el fondo (1-3 cm/s) son capaces de reducir significativamente la zona de afección de la pluma de salmuera. Por otro lado, Payo *et al*. 2010, estimaron el efecto del oleaje sobre la dilución del vertido de

salmuera en las plantas de Alicante I y II, y se observó como la acción del oleaje incrementaba las velocidades de corriente de fondo y los procesos de dilución en dicho punto.

3. METODOLOGÍA

Debe partirse de la premisa que el actual punto vertido no cumple con ningún diseño optimo en cuanto a dilución de salmuera, ya que el punto se sitúa a en la coordenada z a +1 metro sobre la BMVE. Además, la boca de salida se encuentra tapada en una escollera.

Es decir, partimos de un vertido que no cumple con el diseño funcional para que se cumpla el campo cercano.

Así que, atendiendo a la configuración del punto del vertido objeto de este estudio el cual se produce de forma emergida durante las bajamares, no presentaría en estos casos campo cercano. su incorporación en el medio marino atiende directamente al campo lejano.

Además, en las pleamares, aunque el vertido esté sumergido, al verterse entre rocas no se produce el efecto del chorro parabólico (jet) ni se puede simular la *spreading layer*.

Para el presente estudio se han seleccionado diferentes herramientas BrIHne, son reconocidas y utilizadas actualmente por consultores y administraciones por su validación para vertidos de flotabilidad negativa, vertidos hiperdensos como son las salmueras, que tienden a discurrir por el fondo.

A continuación, se presentan las herramientas de simulación numérica seleccionadas para el presente estudio, utilizados para simular la características y evolución de las plumas de salmuera en 4 casos o escenarios que serán descritos más adelante.

3.1. MODELIZACIÓN BRIHNE (PROYECTO MEDVSA)

El Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria ha desarrollado las herramientas de simulación "brIHne" con la participación del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) en el marco del proyecto MEDVSA cuyo objetivo fue el desarrollo de una metodología de diseño del vertido de salmuera teniendo en cuenta los aspectos técnicos y ambientales para reducir los potenciales efectos sobre el medio marino.

Los modelos "brIHne" están basados en distintas aproximaciones numéricas para la resolución de las ecuaciones de gobierno de este tipo de flujos y simulan vertidos de

salmuera bajo diferentes configuraciones de descarga en un medio receptor en reposo o en movimiento. Su ámbito de aplicación incluye modelos tanto de campo cercano como lejano.

Una de las principales ventajas de los modelos brIHne es su recalibrado con datos experimentales obtenidos de ensayos de laboratorio en el Instituto de Hidráulica Ambiental. Gracias al uso de técnicas ópticas de anemometría láser (las cuales están descritas en el Anexo 3 de la Guía Metodológica del proyecto MEDVSA) muy precisas, se garantiza un muy buen ajuste de estos modelos con el comportamiento experimental de los vertidos de salmuera.

Para el presente estudio se hace uso de 2 herramientas brIHne:

- brIHne Plume3D (campo lejano)
- brIHne Jet-Plume2D (campo cercano-campo lejano)

A continuación, se describe cada una de ellas, la descripción de estas ha sido extraída de cada uno de los documentos *Especificaciones Técnicas* de cada herramienta empleada en este estudio y que se recogen en www.brihne.ihcantabria.com/Presentacion.aspx, siendo estos los modelos desarrollados por el Instituto de Hidráulica Ambiental (IH Cantabria):

3.1.1. brIHne Plume3D (campo lejano)

El brIHNE Plume3D responde a un modelo de la pluma hipersalina bidimensional, característica del comportamiento en campo lejano de un vertido al mar de salmuera en un medio receptor ilimitado.

3.1.1.1. Descripción del modelo. Base teórica

Modelo euleriano tridimensional que resuelve las ecuaciones de gobierno integradas a lo largo de la sección transversal de la pluma hipersalina. La integración transforma el sistema de ecuaciones diferenciales en un sistema ordinario, que se resuelve numéricamente mediante el método de Runge-Kutta de cuarto orden.

El modelo utiliza la aproximación de las ecuaciones propuesta por Alavian. (1986).

BrIHne-Plume3D utiliza la aproximación numérica propuesta por Ellison *et al.* (1959), modificada, por Alavian (1986) para adaptar las ecuaciones e introducir una ecuación

adicional que expresa la expansión lateral de la pluma cuando se desplaza en un medio receptor ilimitado.

El modelo asume la hipótesis de Boussinesq (la variación de densidad del efluente es despreciable en todos los términos salvo en el referente a la flotabilidad), asume una pendiente suave del fondo ($S_p \ll 1$), estado estacionario del flujo, ley de Fick, viscosidad similar en el efluente y en el fluido del medio receptor, descomposición de Reynolds para los términos turbulentos, y distribución hidrostática de presiones en la pluma hipersalina.

Asumidas estas hipótesis, las ecuaciones de gobierno del flujo se integran en la sección transversal de la pluma, dando lugar a las siguientes expresiones:

► Ecuación de conservación de la masa: $\frac{dUBh}{dx} = 0 \rightarrow UBh = U_0 B_0 h_0 = \text{constant}$

► Ecuación de continuidad: $\frac{dUA}{dx} = EU(b + 2h)$

► Ecuación de conservación de la cantidad de movimiento en la dirección de

desplazamiento de la pluma: $\frac{d(U^2)}{dx} = S_2 g B A s e n \alpha - \frac{1}{2} g \frac{d(S_1 B h A)}{dx} \cos \alpha - C_d U^2 b$

Siendo:

B: fracción de densidad, que responde a la expresión: $B = \frac{\rho - \rho_A}{\rho_A} = \frac{\Delta \rho(x)}{\rho_A}$

U: velocidad media (horizontal) de la pluma

h: espesor de la pluma.

U_0, B_0, h_0 : valores iniciales (en el modelo) de estos términos.

b: ancho de la pluma

A: área del perfil o sección transversal de la pluma

α : ángulo de inclinación del fondo.

g: término de gravedad.

C_D : coeficiente de fricción con el fondo.

S_1, S_2 : factores de forma. S_2 representa la no-uniformidad del perfil de densidad (o de concentración), mientras que S_1 expresa el alcance de la concentración en la capa densa en comparación con la extensión vertical del movimiento en la capa:

$$S_1 = \frac{2}{Bh^2} \int_0^\infty Bh dh$$

$$S_2 = \frac{1}{Bh} \int_0^\infty B dh$$

En corrientes de gravedad, se utiliza frecuentemente como el Número de Richardson (R_i) como parámetro fundamental en el comportamiento de la pluma. Este adimensional expresa la relación entre la energía potencial y cinética del flujo y es el inverso del Número de Froude Densimétrico elevado al cuadrado ($R_i = 1/F^2$). Responde a la expresión.

$$R_i = \frac{Bgh \cos \alpha}{U^2}$$

Si el número de Richardson en el flujo es $R_i \gg 1$, significa que la flotabilidad es determinante en el comportamiento del flujo (en el sentido de que existe insuficiente energía cinética para homogeneizar los flujos). Por tanto, el número de Richardson puede interpretarse como una medida del grado de eficacia de la mezcla y dilución entre la pluma hipersalina y el fluido receptor. A menor R_i menor es la mezcla entre ambos fluidos.

Combinando las ecuaciones de gobierno anteriores y considerando la expresión del Número de Richardson, resultan las siguientes expresiones:

$$\frac{dh}{dx} = \frac{(2 - 0.5S_2R_i)E - (1 - 0.5S_2R_i)\frac{h}{b}\frac{db}{dx} - S_1R_i \tan \alpha + C_D}{1 - S_2R_i}$$

$$\frac{h}{3R_i} \frac{dR_i}{dx} = \frac{(1 + 0.5S_2R_i)E - (1 - 0.5S_2R_i)\frac{h}{b}\frac{db}{dx} - S_1R_i \tan \alpha + C_D}{1 - S_2R_i}$$

Donde la velocidad (U) de la pluma responde a la siguiente expresión:

$$U = \left(\frac{Bgh \cos \alpha}{AR_i} \right)^{1/3}$$

Las variables incógnitas son el espesor de la pluma hipersalina (h), el ancho de la pluma (b) y el número de Richardson (R_i), correspondiente a un flujo estacionario.

Para obtener la tercera ecuación que permita resolver el sistema, se sustituye la expresión de la velocidad (U) en la ecuación de continuidad y considerando una pluma de sección transversal rectangular, se obtiene la siguiente ecuación de expansión

lateral (o incremento del ancho) de la corriente de gravedad, como función del espesor (h) y el número de Richardson (R_i):

$$\frac{2h}{3b} \frac{db}{dx} = \frac{h}{3R_i} \frac{dR_i}{dx} - \frac{dh}{dx} + \left(1 + \frac{2h}{b}\right) E$$

Colocando y reemplazando términos, Alavian. (1986) obtiene la siguiente expresión para la expansión lateral de la pluma, similar a la presentada por Koh. (1981) y Stolzenbach *et al.* (1973) para la capa de esparcimiento de plumas con flotabilidad positiva.

$$\frac{db}{dx} \approx 3E$$

Siendo E el ratio de incorporación (*entrainment*) de agua del fluido receptor al efluente.

El sistema de tres ecuaciones diferenciales ordinarias con tres incógnitas se resuelve en brIHne-Plume3D mediante el método numérico de Runge-Kutta de cuarto orden.

De acuerdo con Koh. (1981), una corriente de gravedad bidimensional desplazándose a favor de la pendiente del fondo alcanza a una cierta distancia desde la fuente, un estado normal en el que el número de Richardson permanece constante (R_{in}).

$$R_{in} = \frac{\left(\frac{3h}{b} - 1\right) E - C_D}{\left(1 + \frac{3h}{2b}\right) S_2 E - S_1 \tan \alpha}$$

En dicho estado "normal" del flujo, la evolución del ancho (b) y espesor (h) de la pluma responden a las expresiones:

$$E(R_{in}) \approx \frac{dh}{dx} \approx \frac{1}{3} \frac{db}{dx}$$

Modelo de cierre de los términos turbulentos

Para resolver las ecuaciones diferenciales de comportamiento de la corriente de gravedad, es necesario definir los modelos de cierre para el término de *entrainment*, E, y para el término de fricción, C_D , que constituyen los modelos de cierre de los términos turbulentos.

En relación con el término de *entrainment*, el contorno superior de la corriente de gravedad se comporta como un contorno libre, donde la turbulencia provoca la

incorporación de agua del fluido receptor hacia la pluma hipersalina, diluyéndola y reduciendo su concentración salina.

Existen numerosas formulas en la bibliografía para obtener el ratio de incorporación de agua (*entrainment*) para una corriente de gravedad, que relacionan dicho ratio (E) con el número de Richardson (Ri). Para valores altos del Número de Richardson (Ri>10) la fuerza de fricción es significativa y debe también considerarse en la expresión del entrainment.

La fórmula de ratio de incorporación utilizada por brIHne-Plume2D es la propuesta por García. (1985), que responde a la siguiente expresión:

$$E = \frac{0.075}{(1 + 715R_i^{2.4})^{0.5}}$$

De esta ecuación se obtiene que cuando $R_i \rightarrow 0$, $E \rightarrow 0.075$, que es el valor correspondiente a un chorro sumergido pegado al fondo, García. (1996).

3.1.1.2. Hipótesis simplificativas

Fluido incompresible. Flujo estacionario.

Flujo turbulento completamente desarrollado, se desprecian las fuerzas viscosas.

Descomposición de Reynolds para los términos instantáneos.

Aproximación de Boussinesq (la densidad se considera constante salvo en el término de la fuerza de flotabilidad).

Ancho mucho mayor que espesor de la corriente de gravedad. Aproximación de capa límite.

Auto semejanza entre secciones.

Modelo estacionario. No permite simular series temporales de las variables. Cada simulación representa un único escenario.

Medio receptor en reposo y homogéneo.

Fondo plano, simplifica la batimetría a la pendiente de fondo.

El modelo sólo es aplicable cuando responde a un flujo en condiciones de régimen hipercrítico, para el que los datos de entrada introducidos por el usuario definen las condiciones iniciales del flujo.

3.1.2. brIHne Jet-Plume2D (campo cercano-campo lejano)

Simulación del campo cercano (chorro y capa de esparcimiento lateral o *spreading layer*) y del campo lejano (pluma hipersalina) para un vertido de salmuera mediante un chorro individual inclinado sumergido.

3.1.2.1. Descripción del modelo. Base teórica

Para simular el flujo en campo cercano se aplican fórmulas de análisis dimensional para vertidos mediante chorros con flotabilidad y v un determinado ángulo en la descarga.

Para simular la pluma hipersalina característica de campo lejano, se utiliza una aproximación basada en integrar las ecuaciones diferenciales a lo largo del eje de la pluma.

Modelo de campo cercano (chorro y capa de esparcimiento lateral)

BrIHne-Jet-Plume2D utiliza fórmulas de análisis dimensional para caracterizar el comportamiento del vertido del efluente salmuera.

En el análisis dimensional se identifican las variables con una mayor influencia en el comportamiento del flujo, caracterizando el flujo mediante estas variables. En el caso de vertidos en chorro con flotabilidad, si se asume un flujo turbulento completamente desarrollado, es posible despreciar el efecto de las fuerzas viscosas y considerar que su comportamiento depende fundamentalmente de las fuerzas de inercia y de las de flotabilidad. La relación entre ambas se expresa mediante el Número de Froude Densimétrico, adimensional que responde a la siguiente ecuación:

$$F_{rd} = \frac{\text{fuerzas_inercia}}{\text{fuerzas_flotabilidad}} = \frac{U}{\sqrt{d_o g'}}$$

Para un chorro con flotabilidad negativa vertido en un medio receptor homogéneo y en reposo, el análisis dimensional deduce que, considerado un determinado ángulo de descarga (θ_o), el comportamiento del flujo depende fundamentalmente del

Número de Froude Densimétrico en la descarga (F_o) y del diámetro de la boquilla de vertido (d_o), Fisher *et al.* (1979):

Características del flujo $= (d_o, F_o, \theta_o)$

El modelo BrIHne-Jet- Plume2D aplica las fórmulas de análisis dimensional presentadas por Pincince *et al.* (1979), y posteriormente por Roberts *et al.* (1987). Estas fórmulas se han utilizado generalmente para caracterizar el comportamiento del flujo en puntos singulares de la trayectoria, como son, el punto de máxima altura o el punto de impacto con el fondo.

En el modelo brIHne- Plume2D las fórmulas de análisis dimensional se han calibrado no solamente en dichos puntos singulares sino a lo largo de toda la trayectoria del flujo, desde la boquilla hasta el final del campo cercano, incluyendo, por tanto, la zona del chorro y la capa de esparcimiento lateral.

Para las siguientes inclinaciones de descarga ensayadas experimentalmente: $\theta_o = 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ y 75° , se ha obtenido en cada punto de la trayectoria, el valor de los coeficientes. k_{ij} de las siguientes variables adimensionalizadas que definen el comportamiento del flujo:

$$\frac{X_j}{d_o F_o} = K_{1j}; \frac{Z_{cj}}{d_o F_o} = K_{2j}; \frac{Z_{uj}}{d_o F_o} = K_{3j}; \frac{L_j}{d_o F_o} = K_{4j}; \frac{S_j}{F_o} = K_{5j}; \frac{b_j}{d_o F_o} = K_{6j}; \frac{U_j F_o}{U_o} = K_{7j}$$

Siendo:

X_j : coordenada horizontal del eje del flujo (distancia horizontal desde la boquilla), para cada punto "j" de la trayectoria.

Z_j : coordenada vertical del eje de concentraciones del flujo (distancia vertical desde la boquilla), para cada punto "j" de la trayectoria. Esta coordenada puede definirse a partir del eje de concentraciones (Z_c) o del eje de velocidades (Z_u).

L_j : longitud del eje para cada posición (X_j, Z_j). Puede referirse al eje de velocidades (L_u) o al eje de concentraciones (L_c).

S_j : dilución en el eje del efluente para cada punto "j" de la trayectoria. Para cada posición (X_j), la dilución en el eje es la mínima en la sección transversal, dado que el eje de concentraciones se define como la línea que une los puntos de máxima concentración.

b_j : para los puntos "j" de la trayectoria del chorro, expresa el semiancho o radio del chorro (de acuerdo con la definición expuesta en el apartado 6 del presente documento). Para los puntos "j" de la trayectoria de la capa de esparcimiento expresa el espesor de dicha capa.

U_j : velocidad en el eje del efluente para cada punto "j" de la trayectoria. Para cada posición (X_j), la velocidad en el eje corresponde a la máxima de la sección transversal, ya que el eje de velocidades se define como la línea que une los puntos de máxima velocidad.

K_{ij} : Coeficientes numéricos que determina el valor adimensionalizado de cada variable "j" en cada punto de la trayectoria "j".

Modelo de campo lejano (pluma hipersalina bidimensional)

En la región de campo lejano, el efluente salmuera constituye una corriente de gravedad desplazándose sobre el fondo marino, influenciada por la batimetría y las corrientes de fondo.

El modelo brIHne-Jet-Plume2D simula de manera simplificada el comportamiento de esta pluma en un medio receptor en reposo, en presencia de un fluido receptor confinado cuya densidad y salinidad es menor que la correspondiente a la pluma de salmuera. El modelo se centra en el flujo estacionario que sigue al frente inicial o cabeza de la corriente de gravedad.

BrIHne-Jet-Plume2D utiliza la aproximación numérica propuesta por Ellison *et al.* (1959) para pluma bidimensional, modificada entre otros por García. (1996) para simplificar el planteamiento de las ecuaciones.

El modelo asume la hipótesis de Boussinesq (la variación de densidad del efluente es despreciable en todos los términos salvo en el referente a la flotabilidad), asume una pendiente suave del fondo ($m \ll 1$), estado estacionario del flujo, ley de Fick, viscosidad similar en el efluente y en el fluido del medio receptor, descomposición de Reynolds para los términos turbulentos y distribución hidrostática de presiones en la pluma hipersalina.

Asumidas estas hipótesis, las ecuaciones de gobierno del flujo se integran en la sección transversal de la pluma, lo que reduce el sistema de ecuaciones diferenciales al siguiente sistema de ecuaciones ordinario:

- Ecuación de conservación de la masa:

$$\frac{dUBh}{dx} = 0 \rightarrow UBh = U_o B_o h_o = \text{constant}$$

- Ecuación de continuidad: $\frac{dUh}{dx} = EU$

- Ecuación de conservación de la cantidad de movimiento en la dirección de desplazamiento de la pluma:

$$\frac{d(U^2h)}{dx} = S_2 g B h \sin \alpha - \frac{1}{2} g S_2 \frac{d(Bh^2)}{dx} \cos \alpha - C_d U^2$$

Siendo:

B: fracción de densidad, que responde a la expresión: $B = \frac{\rho - \rho_A}{\rho_A} = \frac{\Delta \rho(X)}{\rho_A}$

U: velocidad media (horizontal) de la pluma.

h: espesor de la pluma.

U_o, b_o, h_o : valores iniciales (en modelo) de estos términos.

b_o : ancho de la pluma (permanece constante, dado que se trata de un modelo bidimensional).

α : ángulo del fondo con respecto a la horizontal.

$\sin \alpha = S_o$: pendiente del fondo.

g: término de gravedad.

C_D : coeficiente de fricción con el fondo.

S_1, S_2 : factores de forma. S_2 representa la no-uniformidad del perfil de densidad (o de concentración), mientras que S_1 expresa el alcance de la concentración en la capa densa en comparación con la extensión vertical del movimiento en la capa:

$$S_1 = \frac{2}{Bh^2} \int_0^\infty Bhdh$$

$$S_2 = \frac{1}{Bh} \int_0^\infty Bdh$$

En corrientes de gravedad, se utiliza frecuentemente el Número de Richardson (R_i) como parámetro fundamental en el comportamiento de la pluma. Este adimensional expresa la relación entre la energía potencial y la energía cinética del flujo y es el inverso del cuadrado del Número de Froude Densimétrico ($R_i=1/F^2$). Responde por tanto a la expresión.

$$R_i = \frac{Bgh\cos\alpha}{U^2}$$

Si el número de Richardson en el flujo es $R_i \gg 1$, significa que la flotabilidad es determinante en el comportamiento del flujo (en el sentido de que existe insuficiente energía cinética para homogeneizar los flujos). Por tanto, el número de Richardson puede interpretarse como una medida del grado de eficacia de la mezcla y dilución entre la pluma hipersalina y el fluido receptor. A menor R_i menor es la mezcla entre ambos fluidos.

Combinando las ecuaciones de gobierno anteriores y considerando la expresión del Número de Richardson, resulta el siguiente sistema de dos ecuaciones diferenciales ordinarias, con dos incógnitas: el espesor (b) y el número adimensional de Richardson (R_i) de la pluma hipersalina. El modelo brIHne-Jet-Plume2D resuelve este sistema mediante el método numérico de Runge-Kutta de cuarto orden:

$$\frac{dh}{dx} = \frac{(2 - 0.5S_2R_i)E - S_1R_itana + C_D}{1 - S_2R_i}$$

$$\frac{h}{3R_i} \frac{dR_i}{dx} = \frac{(1 + 0.5S_2R_i)E - S_1R_itana + C_D}{1 - S_2R_i}$$

Siendo E el ratio de incorporación (*entrainment*) de agua del fluido receptor al efluente y C_D , el término que expresa la fricción de la pluma hipersalina con el fondo.

De acuerdo con Koh. (1981), una corriente de gravedad bidimensional, desplazándose a favor de la pendiente del fondo alcanza, a una cierta distancia desde la fuente, un estado normal en el que el número de Richardson permanece constante (R_{in}) y la evolución del espesor de la pluma (z) responde a la siguiente expresión:

$$E_n = E(R_{in}) \approx \frac{dh}{dx}$$

$$R_{in} = \frac{E_n - C_D}{0.5S_2E - S_1tana}$$

Modelo de cierre de los términos turbulentos

Para resolver las ecuaciones diferenciales de comportamiento de la corriente de gravedad, es necesario definir los modelos de cierre para el término de *entrainment*, E , y para el término de fricción, C_D , que constituyen los modelos de cierre de los términos turbulentos.

En relación con el término de *entrainment*, el contorno superior de la corriente de gravedad se comporta como un contorno libre, donde la turbulencia provoca la incorporación de agua del fluido receptor hacia la pluma hipersalina, diluyéndola y reduciendo su concentración salina.

Existen numerosas formulas en la bibliografía para obtener el ratio de incorporación de agua (*entrainment*) para una corriente de gravedad, que relacionan dicho ratio (E) con el número de Richardson (Ri). Para valores altos del Número de Richardson ($Ri > 10$) la fuerza de fricción es significativa y debe también considerarse en la expresión del *entrainment*.

La fórmula de ratio de incorporación utilizada por brIHne-Jet-Plume2D es la propuesta por García.(1985), que responde a la siguiente expresión:

$$E = \frac{0.075}{(1 + 715R_i^{2.4})^{0.5}}$$

De esta ecuación se obtiene que cuando $Ri \rightarrow 0$, $E \rightarrow 0.075$, que es el valor correspondiente a un chorro sumergido pegado al fondo, García. (1996).

La pendiente del fondo juega también un papel determinante en el comportamiento de la corriente de gravedad, determinando su carácter de flujo subcrítico (típico de corrientes desplazándose en pendientes muy suaves) o hipercrítico (en pendientes más pronunciadas). Para este último caso, aparecen en la superficie de la pluma inestabilidades que crecen formando vórtices que propician la mezcla entre flujos.

Acoplamiento campo cercano-campo lejano

El modelo utilizado para simular el comportamiento del vertido en chorro en la región de campo cercano da como resultados las condiciones del flujo (perfiles de velocidad y concentración) en la *spreading layer*, al final del campo cercano.

Considerando la conservación del flujo de masa y de la cantidad de movimiento, se determinan mediante estos perfiles las condiciones iniciales del flujo para el modelo de campo lejano.

3.1.2.2. Hipótesis simplificativas

Comunes a los modelos de campo cercano y lejano en brIHne-Jet-Plume2D:

Fluido incompresible. Flujo estacionario.

Flujo turbulento completamente desarrollado. Se desprecian las fuerzas viscosas.

Aproximación de Boussinesq (densidad constante salvo en la fuerza de flotabilidad). Se desprecia la difusión molecular.

El acoplamiento entre campo cercano y lejano se ha establecido igualando los flujos de caudal y de cantidad de movimiento.

Modelado del campo cercano:

Fondo horizontal. No existen sumideros laterales.

Las variables que determinan el comportamiento del flujo (análisis dimensional), para un determinado ángulo de descarga (θ_0) son: el diámetro de la boquilla (d_0), el número de Froude Densimétrico inicial (F_0) y la velocidad inicial (U_0).

El final de campo cercano se define para una distancia igual a $X_s/d_0F_0 = 9$ desde la boquilla, asumiendo la definición propuesta por Roberts *et al.* (1997). Para esta localización, la magnitud de las fluctuaciones de velocidad y concentración en todos los casos son despreciables frente a los valores medios.

El modelo considera la existencia de una zona de desarrollo de los perfiles auto- semejantes (ZDPA), contigua a la boquilla de vertido, donde los perfiles de velocidad y concentración evolucionan desde un perfil uniforme (en la salida) hasta un perfil de tipo Gauss, característicos de perfiles en chorro.

Modelado del campo lejano de ecuaciones integradas.

Fondo plano, simplifica la batimetría a la pendiente del fondo.

Ancho mucho mayor que el espesor en la corriente de gravedad.

Aproximación de capa límite.

Auto-semejanza entre secciones.

Modelo bidimensional: el ancho de la pluma permanece constante y no existe expansión lateral.

3.2. CASOS DE ESTUDIO Y SIMULACIÓN

La selección de las simulaciones a realizar viene determinada por la configuración del punto de vertido, así como las características propias del futuro vertido de salmuera en dos escenarios climáticos.

Las características de la conducción de vertido son:

- Coordenadas del vertido: $x=595.227$ m ; $y = 3.120.531$ m; $z= +1$ m (sobre la BMVE)
- Tipo de conducción: De desagüe por gravedad
- Diámetro de la conducción: DN300 PNG (300mm)

	Escenario 1	Escenario 2
Condición de nivel. 1	E1C1	E2C1
Condición de nivel. 2	E1C2	E2C2

- SIMULACIÓN E1.C1. Condición habitual de vertido de salmuera (87 m³/h de la actual planta 1500 m³/d y 145 m³/h de la futura planta de 2500m³/d (232m³/h)) en BMVE.
- SIMULACIÓN E1.C2. Caudal máximo de vertido de salmuera de salmuera 360 m³/h en BMVE.
- SIMULACIÓN E2.C1. Condición habitual de vertido de salmuera 232 m³/h en PMVE.
- SIMULACIÓN E2.C2. Caudal máximo de vertido de salmuera 360 m³/h. En PMVE.

Tomando como referencia de nivel del mar, el nivel del mar local (NMML) como Nivel 0, la BMVE se corresponde con -1.35m y la PMVE +1.46m, estos valores se corresponden con el periodo que abarca desde el 15 de agosto de 2019 al 15 de

agosto de 2020, extraído de ente público Puertos del Estado de las predicciones en localidades costeras.

Como parámetros de entrada se establecen para todas las simulaciones igual, tanto para los parámetros del medio receptor como para los de la salmuera. Estos son los que se muestran a continuación en la Tabla 1:

Tabla 1. Datos de entrada.

Parámetros	agua mar	salmuera
STD (ppm)	37.000,00	63.600,00
Tª (°C)	20	22
Densidad fluido (Kg/l)	1.03	1.05
pH	7.6	7.6
Conductividad (uS/cm)	49.3333	90.857,4
Viscosidad cinemática (m ² /s)	1.25E-06	1.80E-06

Como valores de rugosidad se han tomado para un fondo rocoso (coeficiente de rozamiento de 0.015) y de pendiente la correspondiente a la medida en el entorno donde actualmente se produce el vertido, 0.02 (en tanto por uno).

Escenarios.1:

El vertido se simula durante la BMVE, es esta condición el punto de vertido se encuentra emergido, la descarga se realiza a 1 m por encima de la lámina de agua, ya que la BMVE está a -1.35m del NMML. Discurre por la escollera de protección situada al oeste de la zona portuaria, introduciéndose en el mar como una pluma, se estima una anchura de 2 metros en una condición de caudal medio o habitual, y una anchura de 2.4 metros con el caudal máximo. No presenta campo cercano.

Escenarios.2:

El vertido es simulado durante la PMVE, el punto de vertido se encuentra sumergido, la descarga se realiza a 1.81 m de profundidad, la lámina de agua está a 1.46 m por encima del NMML, y a 2.81 m de la BMVE. Se vierte a través de la escollera de protección, por limitaciones del modelo se introduce el mar como un chorro (sobreestimando la dilución) en este caso presentará campo cercano y campo lejano.

4. RESULTADOS

4.1. SIMULACIÓN E1C1. Caudal habitual en la BMVE

Este vertido se caracteriza por ser emergido, no presentando campo cercano. Se asume vertido por la escollera que entra en el mar como una pluma de anchura 0.02 m, en un medio con una profundidad de 0.1m, los datos de partida para este campo lejano serían los que se muestran en la siguiente **Tabla 2. Parámetros de entrada de la simulación E1C1.**

Tabla 2. Parámetros de entrada de la simulación E1C1.

Escenario / Parámetros	Simulación E1C1	
Características del comienzo del campo lejano (pluma)	Salinidad (PSU)	63.6
	Densidad (Kg/m ³)	1050
	Caudal (m ³ /s)	0.0644
	Espesor inicial de la pluma (m)	0.02
	Ancho inicial de la pluma (m)	2
Condiciones del medio receptor	Salinidad (PSU)	37
	Densidad (Kg/m ³)	1030
	Coefficiente de rugosidad	0.015
	Pendiente	0.02
	Profundidad del medio (m)	0.1
Distancia a punto de estudio	Longitud de estudio de la pluma desde el punto de vertido [X_fin (m)]	1000

En el caso de la simulación E1C1 y como consecuencia de que el vertido discurra por la escollera, se asume que el vertido de salmuera impacta en el fondo directamente tras salir de la conducción, por lo que no se asemeja a un vertido en chorro representativo, el cual es necesario para maximizar la dilución en el campo cercano. Por lo tanto, el sistema de vertido produce diluciones muy bajas y por consiguiente una pluma hipersalina con un alto grado de estratificación. Los procesos de intercambio y dilución que se producen una vez la pluma hipersalina discurren por el fondo son muy escasos y lentos.

Resultados del campo Lejano (brIHne-PLUME3D)

Al no producirse mezcla inicial ,ya que carece de campo cercano, está pluma daría comienzo con una concentración salina de 63.6 psu. Se asume una anchura inicial de la pluma 2m, por dispersión debida a la escollera. En los primeros 13 metros logra

la mayor dilución de 6.9, es decir 40.86 psu en el eje central de la pluma (es el punto que presenta mayor concentración), a 53 m de distancia del punto de vertido la dilución sería de 9.33 con una salinidad de 39.85 psu. A 200 metros la dilución de 15.7 da lugar una pluma que en su eje central presenta una concentración salina de 38.7 psu. A 500 metros de distancia con una dilución en torno a 32.4 da lugar a una pluma con un eje central de 37.8 psu. En torno a 1 km de distancia la salinidad del eje de la pluma sería de 37.38 psu, la pluma tendría una anchura de 11.5 m y un espesor de 3.8 m. De manera gráfica pueden observarse la evolución de algunas de las variables en la siguiente **Figura 1**:

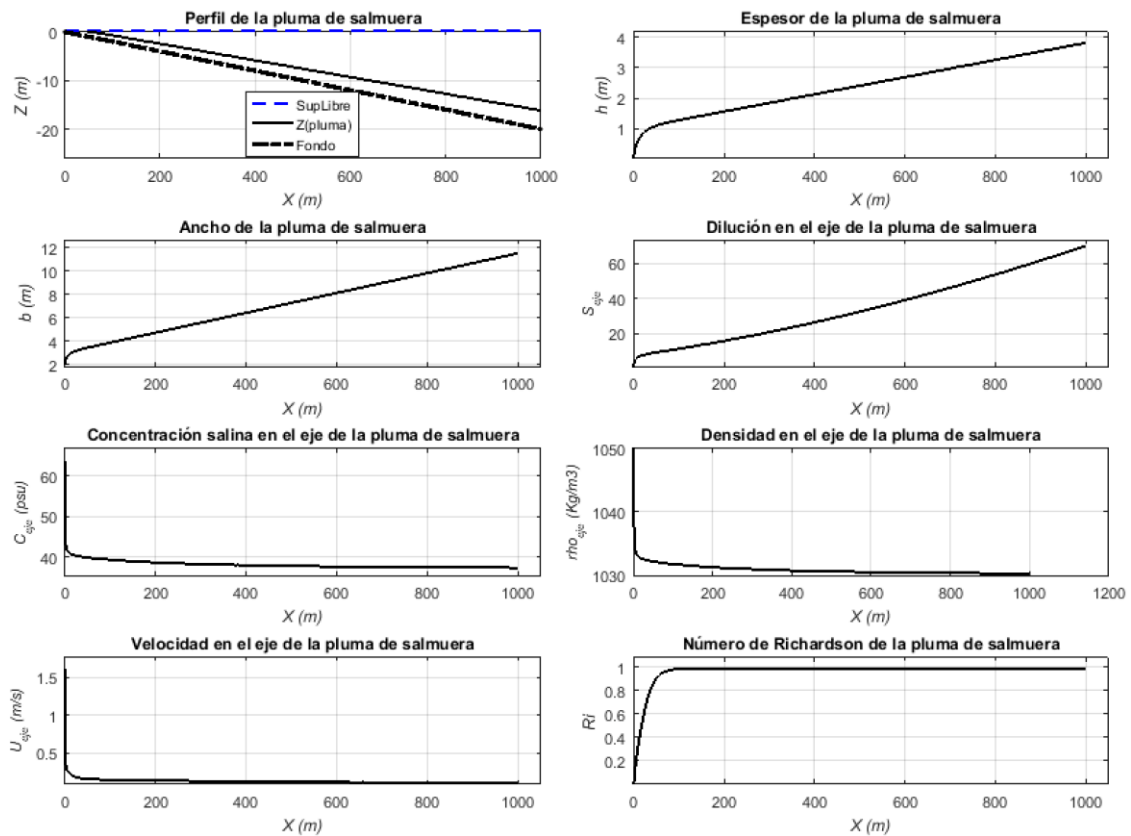


Figura 1. Graficas de evolución de variables en el campo lejano. Simulación E1C1.

Resultados numéricos más discretizados, así como un plano que representa la pluma en el entorno de estudio, pueden encontrarse en el Anexo 1. Simulación E1C1.

4.2. SIMULACIÓN E1C2. Caudal máximo en la BMVE

En esta simulación el vertido si se encuentra sumergido. El E1C2 presenta el mismo diseño de conducción, únicamente cambia el caudal, en este caso sería máximo de 360 m³/h (0.1 m³/s) y se produciría también durante la BMVE. Los parámetros de entrada son los que se muestran en la siguiente Tabla 3.

Tabla 3. Parámetros de entrada de la simulación E1C2.

Escenario / Parámetros	Simulación E1C2	
Características del comienzo del campo lejano (pluma)	Salinidad (PSU)	63.6
	Densidad (Kg/m ³)	1050
	Caudal (m ³ /s)	0.1
	Espesor inicial de la pluma (m)	0.02
	Ancho inicial de la pluma (m)	2.4
Condiciones del medio receptor	Salinidad (PSU)	37
	Densidad (Kg/m ³)	1030
	Coefficiente de rugosidad	0.015
	Pendiente	0.02
	Profundidad del medio (m)	0.1
Distancia a punto de estudio	Longitud de estudi de la pluma desde el punto de vertido [X_fin (m)]	1000

Sucede lo mismo que en el caso anterior, consecuencia de que el vertido discurra por la escollera la salmuera impacta en el fondo directamente tras salir de la conducción, no se asemeja a un vertido en chorro representativo, el cual es necesario para maximizar la dilución en el campo cercano. La pluma hipersalina se ve poco afectada por los procesos de intercambio y dilución.

Resultados del campo Lejano (brIHne-PLUME3D)

Al no producirse mezcla inicial, ya que carece de campo cercano, está pluma daría comienzo con una concentración salina de 63.6 psu. Se asume una anchura inicial de la pluma 2.4 m, por dispersión en la escollera. En los primeros 13 metros logra la mayor dilución de 1.65, es decir 53.14 psu en el eje central de la pluma (es el punto que presenta mayor concentración), a 53 m de distancia del punto de vertido la dilución sería de 2.34 con una salinidad de 48.38 psu. A 200 metros la dilución de 5.51 da lugar una pluma que en su eje central presenta una concentración salina de 41.8 psu. A 507 metros de distancia con una dilución en torno a 15.19 da lugar a una pluma con un eje central de 38.75 psu. En torno a 1km de distancia la salinidad

del eje de la pluma sería de 37.7 psu, la pluma tendría una anchura de 10.64 m y un espesor de 2.97 m. De manera gráfica pueden observarse la evolución de algunas de las variables en la siguiente **Figura 2** **Figura 1**:

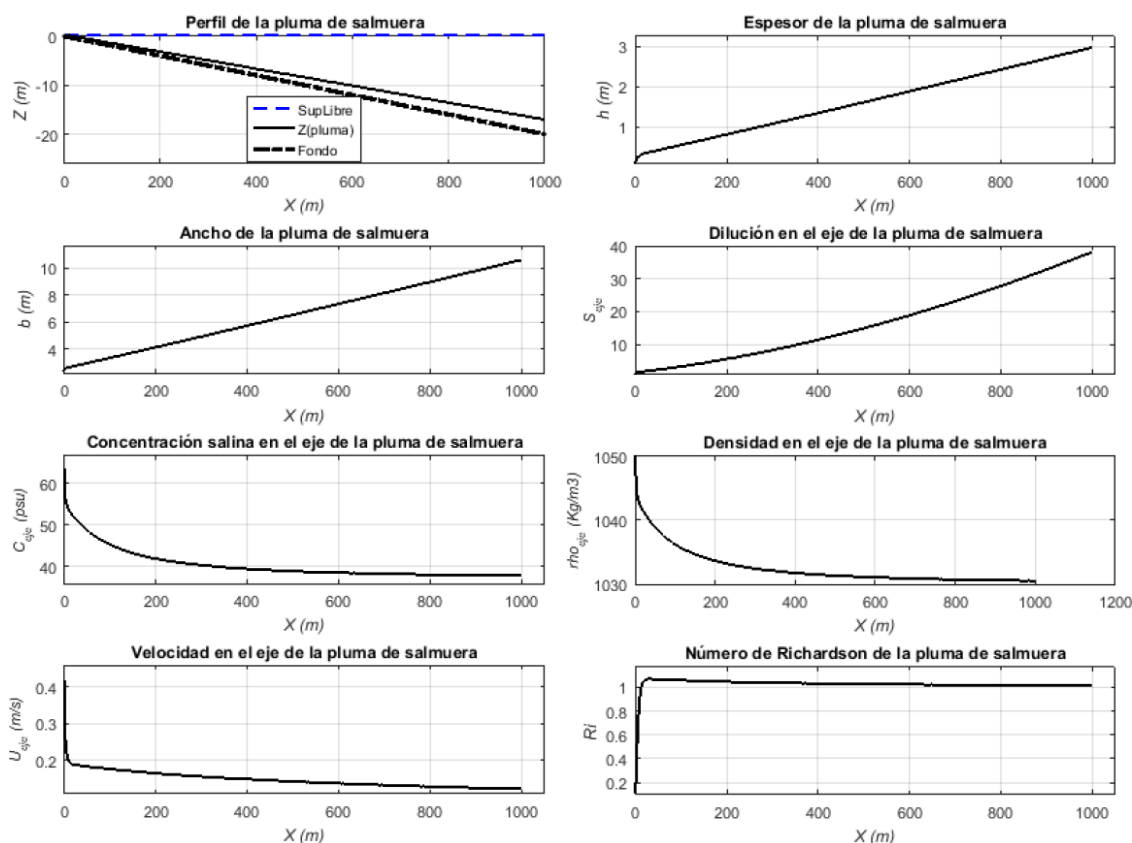


Figura 2. Graficas de evolución de variables en el campo lejano. Simulación E1C2.

Resultados numéricos más discretizados, así como un plano que representa la pluma en el entorno de estudio, pueden encontrarse en el Anexo 2 Simulación E1C2.

4.3. SIMULACIÓN E2C1. Caudal habitual en la PMVE

En esta simulación el vertido se encuentra sumergido, por lo que *a priori* presentaría campo cercano, sin embargo, este no respondería a un vertido en chorro con tiro parabólico ya que choca con la escollera. Se asume por tanto una pluma con un ancho inicial de 1 m y un espesor de 0.06 en condiciones de caudal medio o habitual en un medio con 1.8 m de profundidad inicial. Los datos de partida serían los que se muestran en la siguiente **Tabla 4**.

Tabla 4. *Parámetros de entrada de la simulación E2C1.*

<i>Escenario / Parámetros</i>	Simulación E2C1	
Características del comienzo del campo lejano (pluma)	<i>Salinidad (PSU)</i>	63.6
	<i>Densidad (Kg/m³)</i>	1050
	<i>Caudal (m³/s)</i>	0.0644
	<i>Espesor inicial de la pluma (m)</i>	0.06
	<i>Ancho inicial de la pluma (m)</i>	1.03
Condiciones del medio receptor	<i>Salinidad (PSU)</i>	37
	<i>Densidad (Kg/m³)</i>	1030
	<i>Coefficiente de rugosidad</i>	0.015
	<i>Pendiente</i>	0.02
	<i>Profundidad del medio (m)</i>	1.8
Distancia a punto de estudio	<i>Longitud de estudi de la pluma desde el punto de vertido [X_fin (m)]</i>	1000

En el caso de la simulación E2C1, la velocidad de salida se ve limitada, como el movimiento parabólico, por la escollera. El sistema de vertido da lugar a menores diluciones y por consiguiente a una pluma hipersalina con un alto grado de estratificación.

Resultados del campo Lejano (brIHne-PLUME3D)

A pesar de tratarse de un vertido sumergido al producirse en una zona de escollera, no es posible el cálculo del campo cercano, la simulación se inicia partiendo de que la pluma daría comienzo con una concentración salina de 63.6 psu. Se asume una anchura inicial de la pluma 1.03 metros. En los primeros 13 metros logra la mayor dilución 5.81, es decir 41.58 psu en el eje central de la pluma (es el punto que presenta mayor concentración), a 53 m de distancia del punto de vertido la dilución sería de 9.09 con una salinidad de 39.9 psu. A 200 metros la dilución de 16.32 da lugar una pluma que en su eje central presenta una concentración salina de 38.6 psu. A 507 metros de distancia con una dilución en torno a 34.8da lugar a una pluma con un eje central de 37.76 psu. En torno a 1km de distancia la salinidad del eje de

la pluma sería de 37.36 psu, la pluma tendría una anchura de 11.15 m y un espesor de 4.11. De manera gráfica pueden observarse la evolución de algunas de las variables en la siguiente **Figura 3**.

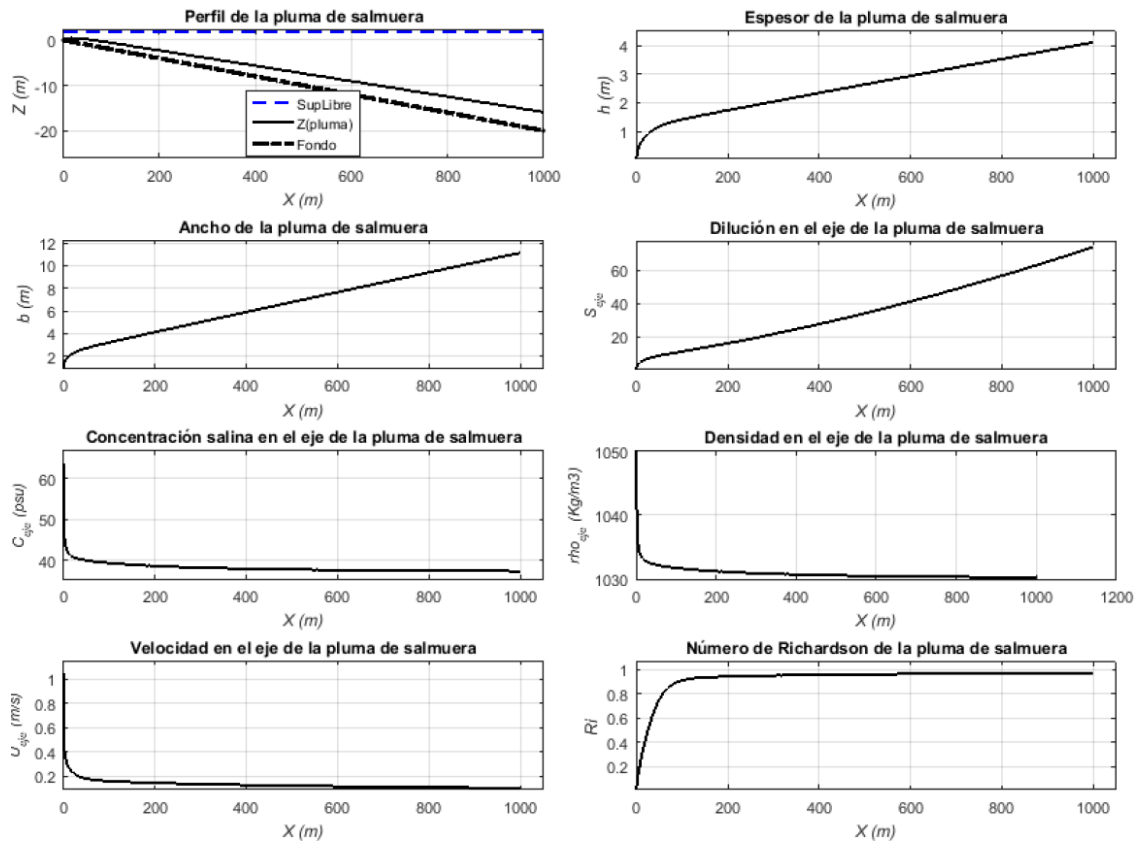


Figura 3. Graficas de evolución de variables en el campo lejano. Simulación E2C1.

Resultados numéricos más discretizados, así como un plano que representa la pluma en el entorno de estudio, pueden encontrarse en el Anexo 3 Simulación E2C1.

4.4. SIMULACIÓN E2C2. Caudal máximo en la PMVE

En esta simulación el vertido se encuentra sumergido y el vertido se produce a caudal máximo. El diseño del punto de vertido es igual que en los casos anteriores, la conducción de desagüe de 300 mm de diámetro nominal termina en un plano horizontal que se ve tapado por una escollera.

Tabla 5. Parámetros de entrada de la simulación E2C2.

Escenario / Parámetros	Simulación E2C2	
Características del comienzo del campo lejano (pluma)	Salinidad (PSU)	63.6
	Densidad (Kg/m ³)	1050
	Caudal (m ³ /s)	0.1
	Espesor inicial de la pluma (m)	0.06
	Ancho inicial de la pluma (m)	1.03
Condiciones del medio receptor	Salinidad (PSU)	37
	Densidad (Kg/m ³)	1030
	Coefficiente de rugosidad	0.015
	Pendiente	0.02
	Profundidad del medio (m)	1.8
Distancia a punto de estudio	Longitud de estudi de la pluma desde el punto de vertido [X_fin (m)]	1000

En el caso de la simulación E2C2, la velocidad de salida del vertido y el movimiento parabólico se ve limitada por la escollera. El sistema de vertido impide que las diluciones sean mayores dando lugar a una pluma hipersalina con un alto grado de estratificación, se ha estimado un ancho inicial de la pluma de 1.03 metros en un medio que parte de una profundidad media de 1.8 m.

Resultados del campo Lejano (brIHne-PLUME3D)

A pesar de tratarse de un vertido sumergido al producirse en una zona de escollera, no es posible el cálculo del campo cercano. La simulación se inicia partiendo de que la pluma daría comienzo con una concentración salina de 63.6 psu. Se asume una anchura inicial de la pluma 1.03 metros. En los primeros 13 metros presenta una dilución de 1.5, con una concentración de es decir 54.7 psu en el eje central de la pluma (es el punto que presenta mayor concentración), a 53 m de distancia del punto de vertido la dilución sería de 2.36 con una salinidad de 48.3 psu. A 200 metros la dilución de 6.01 da lugar una pluma que en su eje central presenta una concentración salina de 41.43 psu. A 507 metros de distancia con una dilución en torno a 17 el eje

de la pluma tendrá de 38.6 psu. Y, finalmente, a 1km de distancia la salinidad del eje de la pluma sería de 37.63 psu, la pluma tendría una anchura de 9.74 m y un espesor de 3.45. De manera gráfica pueden observarse la evolución de algunas de las variables en la siguiente **Figura 4**:

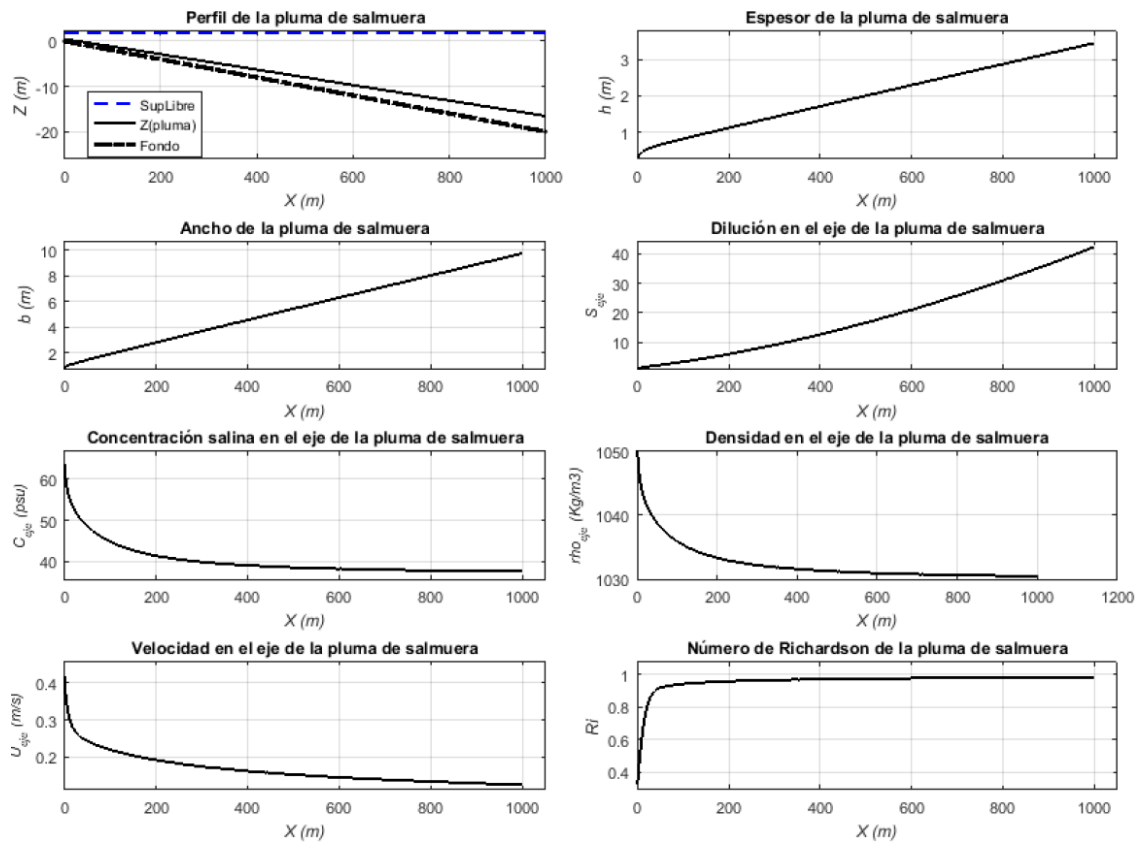


Figura 4. Graficas de evolución de variables en el campo lejano. Simulación E2C2.

Resultados numéricos más discretizados, así como un plano que representa la pluma en el entorno de estudio, pueden encontrarse en el Anexo 4 Simulación E2C2.

5. CONCLUSIONES, CONSIDERACIONES Y RECOMENDACIONES

Atendiendo a los resultados de las simulaciones se presenta la Tabla 6 a modo de resumen para diferentes variables a tener en cuenta:

Tabla 6. Resumen de los resultados a distintas distancias del punto de vertido.

Caso	yo (m)	bo (m)	S_eje y C_eje a 13 m	S_eje y C_eje a 53 m	S_eje y C_eje a 200 m	S_eje y C_eje a 507 m	S_eje y C_eje a 1 km	h_fin (m)	b_fin (m)
E1C1	0.02	2	6.9	9.33	15.7	32.4	70.0	3.82	11.52
			40.86	39.85	38.7	37.8	37.38		
E1C2	0.1	2.4	1.65	2.34	5.51	15.19	38.2	2.97	10.64
			53.14	48.38	41.8	38.75	37.7		
E2C1	0.06	1.03	5.81	9.09	16.32	34.8	74.1	4.11	11.15
			41.58	39.9	38.6	37.76	37.36		
E2C2	0.3	0.8	1.5	2.36	6.01	17	42.3	3.45	9.74
			54.7	48.3	41.43	38.6	37.63		

yo (m): Espesor inicial de la pluma h_fin (m): espesor de la pluma de salmuera al final de la zona de estudio
bo (m): Ancho inicial de la pluma b_fin (m): ancho de la pluma de salmuera al final de la zona de estudio
S_eje : dilución en el eje de la pluma de la salmuera
C_eje (psu): concentración salina en el eje de la pluma de salmuera

De los resultados obtenidos se extraen las siguientes conclusiones:

- En condiciones habituales de caudal (casos C1), es decir, con caudales medios, las diluciones son mucho mayores que en el caso de caudales máximos (casos C2).
- En condiciones de bajamar (casos E1) las diluciones son mayores en distancias menores al punto de vertido.
- En condiciones de pleamar (casos E2) las diluciones son mayores en distancias mayores al punto de vertido.

- A una distancia aproximada de 50 metros al punto de vertido, las plumas de vertidos de caudales medios presentan tanto en bajamar como en pleamar diluciones y concentraciones salina prácticamente iguales
- A una distancia aproximada de 50 metros al punto de vertido, las plumas de vertidos de caudales máximos presentan tanto en bajamar como en pleamar diluciones y concentraciones salina prácticamente iguales
- A unos 200 m de distancia del punto de vertido, las plumas de la salmuera vertida presentan unas diluciones ligeramente mayores en las pleamares, pero las concentraciones salinas son similares
- A una distancia aproximada de 507 metros del punto de vertido, las diluciones son del orden de 2 veces más en las pleamares que en el caso de las bajamares, sin embargo, las concentraciones salinas en ambos momentos son similares.
- En el punto final de estudio, establecido a 1km del punto de vertido, las diluciones son del orden de 4 veces más en las pleamares que en el caso de las bajamares, y las concentraciones salinas en ambos momentos son prácticamente iguales.
- La pluma debida a caudales medios presenta una anchura al final de la zona de estudio muy similar en bajamar como en pleamar.
- La pluma debida a caudales máximo presenta una anchura al final de la zona de estudio similar en bajamar como en pleamar.
- La pluma debida a caudales medios presenta una anchura al final de la zona de estudio superiores a las de caudales máximos.
- La pluma debida a caudales medios presenta un espesor al final de la zona de estudio superiores a las de caudales máximos.
- La pluma debida a caudales medios presenta una concentración salina menor en todas las distancias al punto de vertido que las plumas debidas a caudales máximos.

A partir de los resultados obtenidos en los diferentes escenarios de caudal y nivel de marea, se deberán tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Si bien es cierto que el punto de vertido se encuentra emergido durante las bajamares, es probable que por su posición intermareal se vea sometido a una hidrodinámica que mejore las diluciones iniciales.

- En aquellos periodos que se vea sometido a la rotura del oleaje, que por remoción es capaz de generar mayor dilución, se considera que mejorarían las diluciones en los puntos más cercanos a costa. No obstante, la herramienta empleada no contempla este tipo de interacciones hidrodinámicas entre el oleaje y el vertido.
- Cabe señalar que la herramienta tampoco contempla corrientes marinas, pero cabe esperar que durante el ascenso de las mareas la pluma tienda a ir ligeramente hacia costa y durante el descenso hacia mar adentro. Las corrientes, al igual que el oleaje ayudan a incrementar la dilución.
- Para simular el campo lejano fue necesario realizar una serie de asunciones:
 - o Las anchuras y espesores iniciales de las plumas están basada en la simulación de campos cercanos de vertidos sumergidos y sin escollera.
 - o El valor de la concentración salina de la pluma se estable igual que el del efluente.
- Cabe destacar que, para las autorizaciones de vertidos al mar, en materia de dilución de salmueras, atendiendo a la *Guía explicativa para la solicitud de autorización de Vertidos desde tierra al mar, noviembre de 2017*, elaborado por la Viceconsejería de Medio Ambiente del Gobierno de Canarias y el Instituto Tecnológico de Canarias (ITC), únicamente se indica que cuando un vertido que contenga salmueras se localice próximo y pueda afectar a las zonas en las que exista presencia de fanerógamas marinas, se deberán tener en cuenta las recomendaciones recogida en la Tabla 2 de dicha guía en cuanto a los umbrales de tolerancia a la salinidad de la *Cymodocea nodosa* u otras fanerógamas marinas.

Tabla 7. Umbrales de tolerancia establecidos para ciertos organismos/hábitats presentes en Canarias. Fuente: Tabla 2 de la *Guía explicativa para la solicitud de autorización de Vertidos desde tierra al mar, noviembre de 2017*.

Fuente	Nivel de protección	Organismos/hábitats	$\Delta S_{25,lim}$	$\Delta S_{5,lim}$
CEDEX	III	<i>Cymodocea nodosa</i>	3	6
	IV	Resto de fanerógamas marinas	5	8
$\Delta S_{25,lim}$: Valor del incremento de salinidad límite que no debe superarse más de un 25% del tiempo.				
$\Delta S_{5,lim}$: Valor del incremento de salinidad límite que no debe superarse más de un 5% del tiempo.				
Fuente	Límite salinidad			
PROYECTO VENTURI	38,0 psu			

En este sentido el Consejo Insular de Aguas de Fuerteventura encomendó el estudio de "Evaluación del estado de la pradera de *Cymodocea nodosa* anexa al vertido de la Desaladora de Gran Tarajal", cuyo informe data de junio de 2020, para dar cumplimiento a las condiciones para la tramitación de la Autorización de vertido al mar desde tierra del vertido de la EDAM de Gran Tarajal. En este estudio se realizó el control de la citada pradera, obteniéndose el siguiente plano (Figura 5) de comunidades marinas donde se ve la actual pradera de *Cymodocea nodosa*.

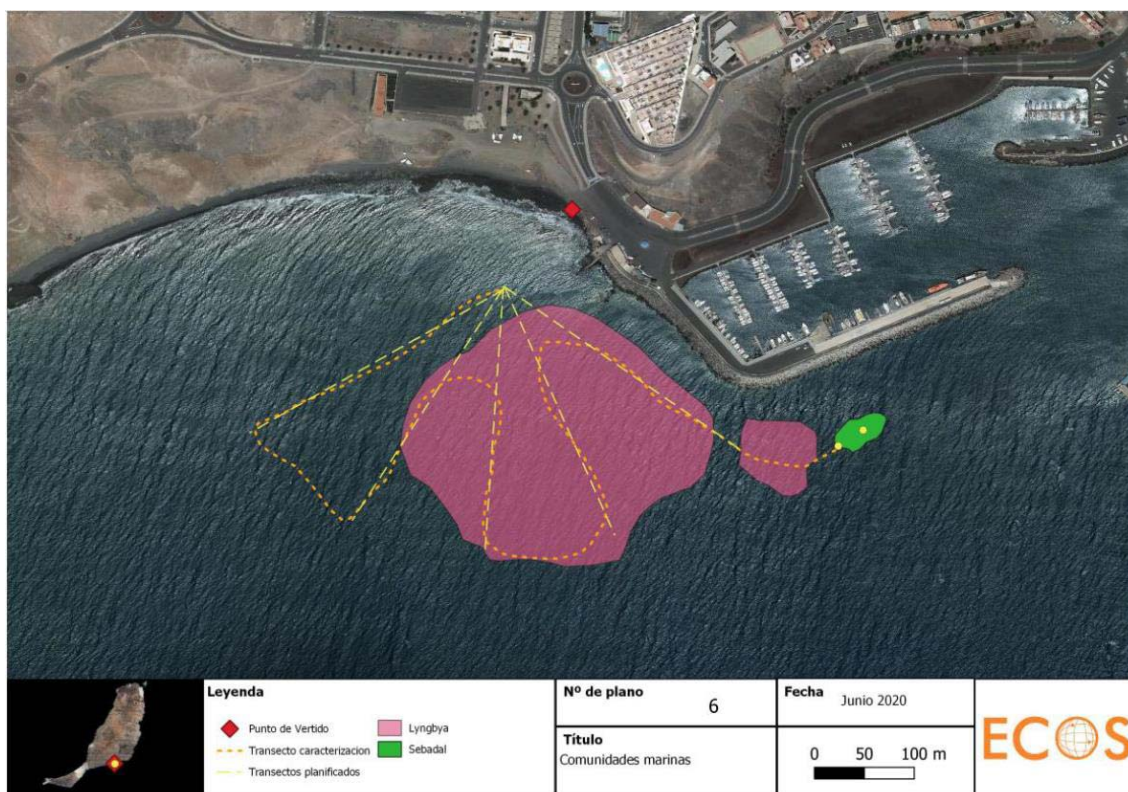


Figura 5. Plano de Comunidades marinas. Fuente: *Evaluación del estado de la pradera de Cymodocea nodosa anexa al vertido de la Desaladora de Gran Tarajal*, junio 2020(Ecos SL).

- Por su parte, el Anexo I - Contenido de los Proyectos Técnicos para el vertido desde tierra al mar a través de CONDUCCIÓN DE DESAGÜE, el apartado 9.3.4 Estudios de variaciones estacionales del perfil de la playa indica que, si la conducción de vertido se sitúa en una playa, debe justificarse que está enterrado un 1 m de profundidad y el punto de vertido debe producirse al menos a 200 m de la línea de costa y por lo menos 2 m por debajo de la BMVE.

Se observa en la Figura 6 que la localización del punto de vertido se encuentra en el extremo este de la Playa del Aceituno, según el Estudio Ecocartográfico

recogido en la página del Sistema de Información Territorial de Canarias IDECanarias

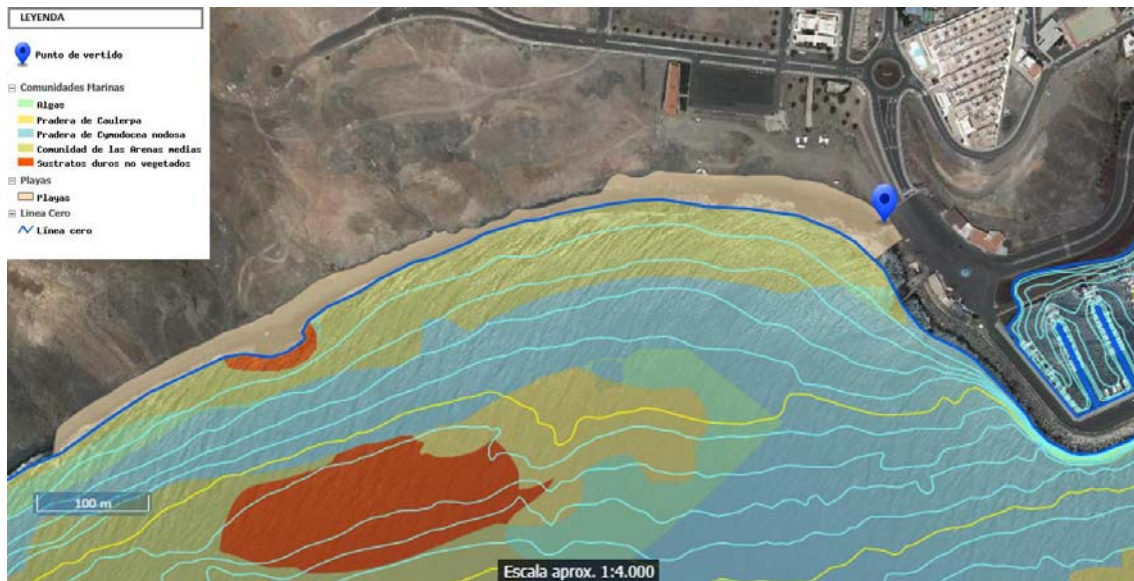


Figura 6. Localización del punto de vertido en el extremo este de la Playa del Aceituno. Fuente: Estudio Ecocartográfico de Fuerteventura (2003-2006). Visor Plataforma IDECanarias (GRAFCAN).

A partir de lo indicado anteriormente y teniendo en cuenta las características de la conducción y el comportamiento hidrodinámico del vertido de salmuera modelizado, se indican una serie de recomendaciones que tienen como objetivo el aumento de la dilución.

- Prolongar la conducción de desagüe hasta que permanezca permanentemente sumergida a 1 m por debajo de la BMVE. Esto permitiría diluciones mucho mayores en el campo cercano.
- Conseguir procesos de dilución óptimos en el campo cercano mediante la consecución de velocidades de salida del chorro a través de la boca de la conducción de entre 4-6 m/s (Palomar *et al.* 2011).

6. REFERENCIAS

- Alavian, V. (1986). "Behaviour of density current on an incline", Journal of Hydraulic Engineering, vol 112, No 1.
- Ellison, T. H; Turner, J. S. (1959). "Turbulent entrainment in Stratified Flows". Journal of Fluid Mechanics, vol. 6. pp. 423-448.
- García, M. (1985). "Experimental study of turbidity currents", Tesis de Maestría en Ingeniería Civil. Universidad de Minnesota, Minneapolis.
- García, M. (1996). "Environmental Hydrodynamics", Argentina: Publications Center, Universidad Nacional del Litoral.
- Koh, R. C. Y. (1981). "Buoyancy Driven Gravitational Spreading". Coastal Engineering, vol. 15, pp.2965 - 2975.
- Palomar, P. and I.J. Losada, "Impacts of brine discharge on the marine environment. Modelling as a predictive tool, "Desalination, trends and technologies" open book, InTech (ISBN 978-953-307-311-8), (www.intechopen.com), 2011.
- Payo, A., J.M. Cortés, R. Molina, Effect of wind and waves on a nearshore brine discharge dilution in the east coast of Spain, Desalination and Water Treatment, 18 (2010)71-79.
- Roberts, P. J. W., Toms, G. (1987). "Inclined dense jets in a flowing current". Journal of Hydraulic Engineering, vol. 113, nº 3, pp. 323 - 341.
- Roberts, P. J. W; Ferrier, A., Daviero, G. (1997)."Mixing in inclined dense jets". Journal of Hydraulic Engineering, vol. 123, No 8, pp. 693 - 699.

ANEXOS

ANEXO 1. SIMULACIÓN E1C1. Caudal habitual en la BMVE

Informe de ejecución brIHne_PLUME3D (Versión 1.0) - Proyecto 'E1C1'

Caudal medio en BMVE

Parámetros de entrada

Condiciones del medio receptor	Profundidad media en la zona de vertido [Ha (m)]	0.1
	Salinidad [Ca (psu)]	37
	Densidad [ρ_a (Kg/m ³)]	1030
	Coefficiente de rozamiento [Cd (.)]	0.015
	Pendiente del fondo [So (tanto por uno)]	0.02
Características del comienzo del campo lejano (pluma)	Caudal inicial de la pluma [Qo1 (m ³ /s)]	0.0644444
	Densidad efluente [ρ_o_ini (Kg/m ³)]	1050
	Concentración salina efluente [C_o (psu)]	63.6
	Espesor inicial de la pluma [yo (m)]	0.02
	Ancho inicial de la pluma [bo (m)]	2
Longitud / Distancia de estudio	Longitud de estudio de la pluma (distancia desde el punto de vertido) [x_fin (m)]	1000

Flujos y adimensionales

Qo, Flujo de caudal	0.06 m ³ /s
Bof, Flujo de flotabilidad	0.01 m ⁴ /s ³
Mo, Flujo de cantidad de movimiento	0.10 m ⁴ /s ²
Ri_o, Número de Richardson inicial	0.00
Fo, Número de Froude densimétrico inicial	26.12

Características de la pluma

X_fin, distancia de estudio de la evolución de la pluma de salmuera	1000.0 m
h_fin, espesor de la pluma de salmuera al final de la zona de estudio	3.82 m
b_fin, ancho de la pluma de salmuera al final de la zona de estudio	11.52 m
Ueje_fin, velocidad en el eje de la pluma de salmuera al final de la zona de estudio	0.10 m/s
Seje_fin, dilución en el eje de la pluma de salmuera al final de la zona de estudio	70.0
Ceje_fin, concentración salina en el eje de la pluma de salmuera al final de la zona de estudio	37.38 psu
ρ_o_fin , densidad en el eje de la pluma de salmuera al final de la zona de estudio	1030.29 Kg/m ³
Ri_fin, Número de Richardson de la pluma de salmuera al final de la zona de estudio	0.99

Gráficas de Evolución de Variables

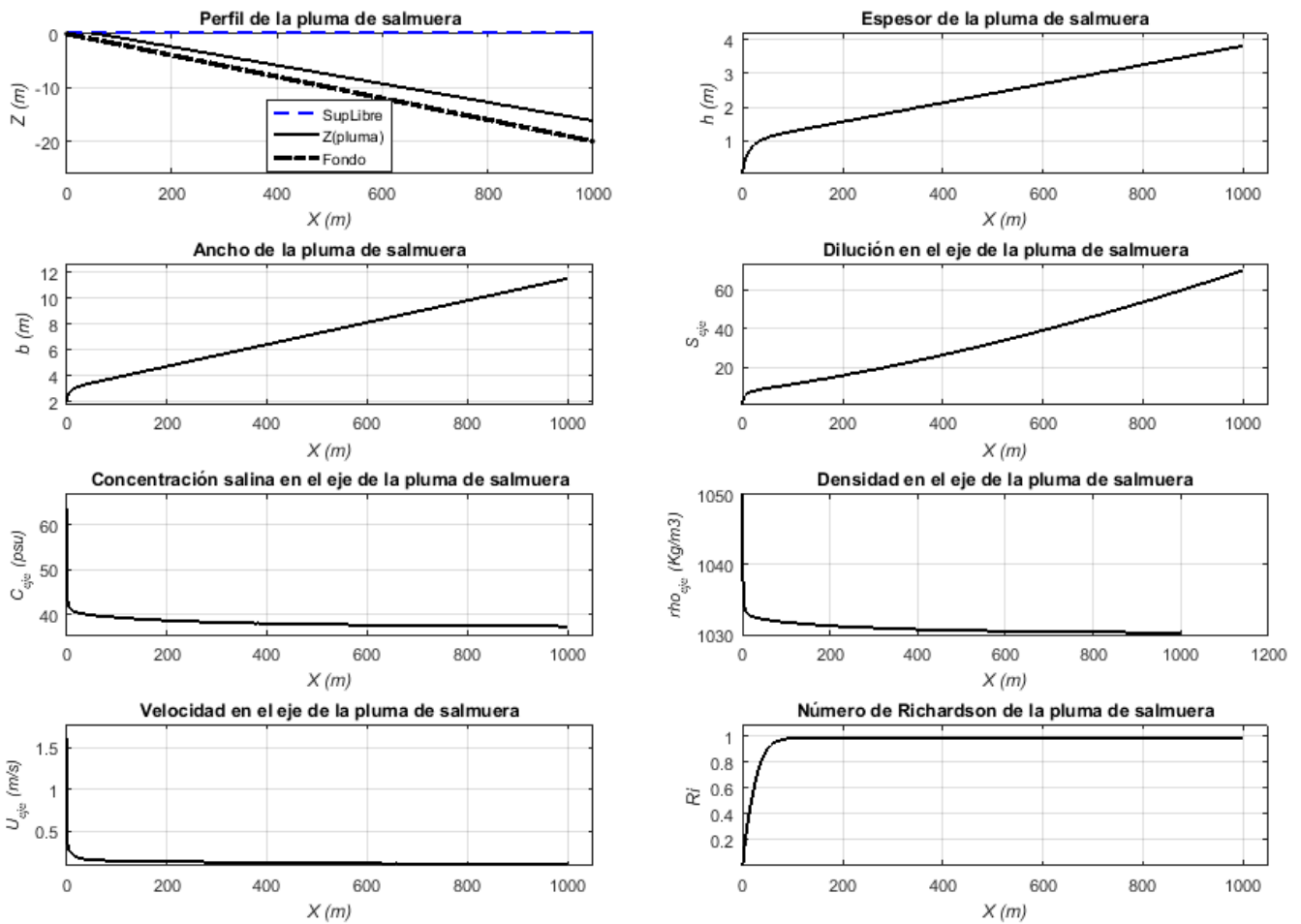


Tabla de Resultados Numéricos

X	h	b	Q	Ueje	rho_eje	Seje	Ceje	Ri_eje
0.00	0.02	2.00	0.06	1.61	1050.00	1.00	63.60	0.00
13.35	0.70	2.93	0.44	0.22	1032.90	6.89	40.86	0.41
26.70	0.91	3.17	0.52	0.18	1032.50	8.01	40.32	0.67
40.05	1.03	3.33	0.56	0.16	1032.29	8.73	40.05	0.84
53.40	1.11	3.46	0.60	0.16	1032.14	9.33	39.85	0.92
66.75	1.16	3.58	0.64	0.15	1032.02	9.89	39.69	0.96
80.10	1.21	3.69	0.67	0.15	1031.92	10.43	39.55	0.98
93.45	1.25	3.81	0.71	0.15	1031.82	10.99	39.42	0.98
106.80	1.29	3.92	0.74	0.15	1031.73	11.54	39.30	0.99
120.15	1.33	4.04	0.78	0.15	1031.65	12.11	39.20	0.99
133.50	1.37	4.15	0.82	0.14	1031.58	12.69	39.10	0.99
146.85	1.41	4.26	0.86	0.14	1031.51	13.27	39.00	0.99
160.20	1.44	4.38	0.89	0.14	1031.44	13.87	38.92	0.99
173.55	1.48	4.49	0.93	0.14	1031.38	14.48	38.84	0.99
186.90	1.52	4.60	0.97	0.14	1031.32	15.10	38.76	0.99
200.25	1.56	4.72	1.01	0.14	1031.27	15.73	38.69	0.99
213.60	1.60	4.83	1.05	0.14	1031.22	16.36	38.63	0.99
226.95	1.63	4.94	1.10	0.14	1031.18	17.01	38.56	0.99
240.30	1.67	5.06	1.14	0.13	1031.13	17.67	38.51	0.99
253.65	1.71	5.17	1.18	0.13	1031.09	18.34	38.45	0.99

X	h	b	Q	Ueje	rho_eje	Seje	Ceje	Ri_eje
267.00	1.75	5.28	1.23	0.13	1031.05	19.02	38.40	0.99
280.35	1.78	5.40	1.27	0.13	1031.01	19.71	38.35	0.99
293.70	1.82	5.51	1.32	0.13	1030.98	20.41	38.30	0.99
307.05	1.86	5.62	1.36	0.13	1030.95	21.12	38.26	0.99
320.40	1.90	5.74	1.41	0.13	1030.92	21.83	38.22	0.99
333.75	1.94	5.85	1.45	0.13	1030.89	22.56	38.18	0.99
347.10	1.97	5.96	1.50	0.13	1030.86	23.30	38.14	0.99
360.45	2.01	6.08	1.55	0.13	1030.83	24.04	38.11	0.99
373.80	2.05	6.19	1.60	0.13	1030.81	24.80	38.07	0.99
387.15	2.09	6.31	1.65	0.13	1030.78	25.57	38.04	0.99
400.50	2.13	6.42	1.70	0.12	1030.76	26.34	38.01	0.99
413.85	2.16	6.53	1.75	0.12	1030.74	27.12	37.98	0.99
427.20	2.20	6.65	1.80	0.12	1030.72	27.92	37.95	0.99
440.55	2.24	6.76	1.85	0.12	1030.70	28.72	37.93	0.99
453.90	2.28	6.87	1.90	0.12	1030.68	29.53	37.90	0.99
467.25	2.31	6.99	1.96	0.12	1030.66	30.35	37.88	0.99
480.60	2.35	7.10	2.01	0.12	1030.64	31.18	37.85	0.99
493.95	2.39	7.21	2.06	0.12	1030.62	32.02	37.83	0.99
507.30	2.43	7.33	2.12	0.12	1030.61	32.86	37.81	0.99
520.65	2.47	7.44	2.17	0.12	1030.59	33.72	37.79	0.99
534.00	2.50	7.55	2.23	0.12	1030.58	34.58	37.77	0.99
547.35	2.54	7.67	2.29	0.12	1030.56	35.46	37.75	0.99
560.70	2.58	7.78	2.34	0.12	1030.55	36.34	37.73	0.99
574.05	2.62	7.89	2.40	0.12	1030.54	37.23	37.71	0.99
587.40	2.65	8.01	2.46	0.12	1030.52	38.13	37.70	0.99
600.75	2.69	8.12	2.52	0.12	1030.51	39.04	37.68	0.99
614.10	2.73	8.23	2.57	0.11	1030.50	39.95	37.67	0.99
627.45	2.77	8.35	2.63	0.11	1030.49	40.88	37.65	0.99
640.80	2.81	8.46	2.69	0.11	1030.48	41.81	37.64	0.99
654.15	2.84	8.57	2.76	0.11	1030.47	42.75	37.62	0.99
667.50	2.88	8.69	2.82	0.11	1030.46	43.70	37.61	0.99
680.85	2.92	8.80	2.88	0.11	1030.45	44.66	37.60	0.99
694.20	2.96	8.92	2.94	0.11	1030.44	45.63	37.58	0.99
707.55	2.99	9.03	3.00	0.11	1030.43	46.60	37.57	0.99
720.90	3.03	9.14	3.07	0.11	1030.42	47.59	37.56	0.99
734.25	3.07	9.26	3.13	0.11	1030.41	48.58	37.55	0.99
747.60	3.11	9.37	3.20	0.11	1030.40	49.58	37.54	0.99
760.95	3.15	9.48	3.26	0.11	1030.40	50.59	37.53	0.99
774.30	3.18	9.60	3.33	0.11	1030.39	51.60	37.52	0.99
787.65	3.22	9.71	3.39	0.11	1030.38	52.63	37.51	0.99
801.00	3.26	9.82	3.46	0.11	1030.37	53.66	37.50	0.99
814.35	3.30	9.94	3.53	0.11	1030.37	54.70	37.49	0.99
827.70	3.34	10.05	3.59	0.11	1030.36	55.75	37.48	0.99
841.05	3.37	10.16	3.66	0.11	1030.35	56.80	37.47	0.99
854.40	3.41	10.28	3.73	0.11	1030.35	57.87	37.46	0.99
867.75	3.45	10.39	3.80	0.11	1030.34	58.94	37.45	0.99
881.10	3.49	10.50	3.87	0.11	1030.33	60.02	37.44	0.99
894.45	3.52	10.62	3.94	0.11	1030.33	61.11	37.44	0.99
907.80	3.56	10.73	4.01	0.10	1030.32	62.20	37.43	0.99
921.15	3.60	10.84	4.08	0.10	1030.32	63.30	37.42	0.99
934.50	3.64	10.96	4.15	0.10	1030.31	64.42	37.41	0.99
947.85	3.68	11.07	4.22	0.10	1030.31	65.53	37.41	0.99
961.20	3.71	11.19	4.30	0.10	1030.30	66.66	37.40	0.99
974.55	3.75	11.30	4.37	0.10	1030.30	67.79	37.39	0.99
987.90	3.79	11.41	4.44	0.10	1030.29	68.94	37.39	0.99

Observaciones:

El modelo ha sido desarrollado por el Instituto de Hidráulica Ambiental.

Para dudas, consultas y más información sobre el modelo: brIHnesupport@ihcantabria.com

Calibración del modelo:

El modelo simula el comportamiento de una pluma hipersalina tridimensional, característica del comportamiento en la región de campo lejano del efluente salmuera, desplazándose en un medio receptor ilimitado. Las ecuaciones de gobierno se resuelven mediante la aproximación numérica propuesta en [1], que supone la integración de las ecuaciones diferenciales en la sección transversal de la pluma, resolviendo numéricamente el sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias resultante.

La mezcla entre la pluma y se resuelve aplicando la ecuación de entrainment publicada en [2].

Variables:

Leyenda de la tabla de resultados numéricos:

X: coordenada horizontal.

h: espesor de la pluma de salmuera.

b: ancho de la pluma de salmuera

Q: caudal de efluente salmuera.

U_{eje}: velocidad en el eje de la pluma de salmuera.

Rho_{eje}: densidad del efluente salmuera.

Se_{eje}: dilución del efluente salmuera, por mezcla con agua del medio receptor.

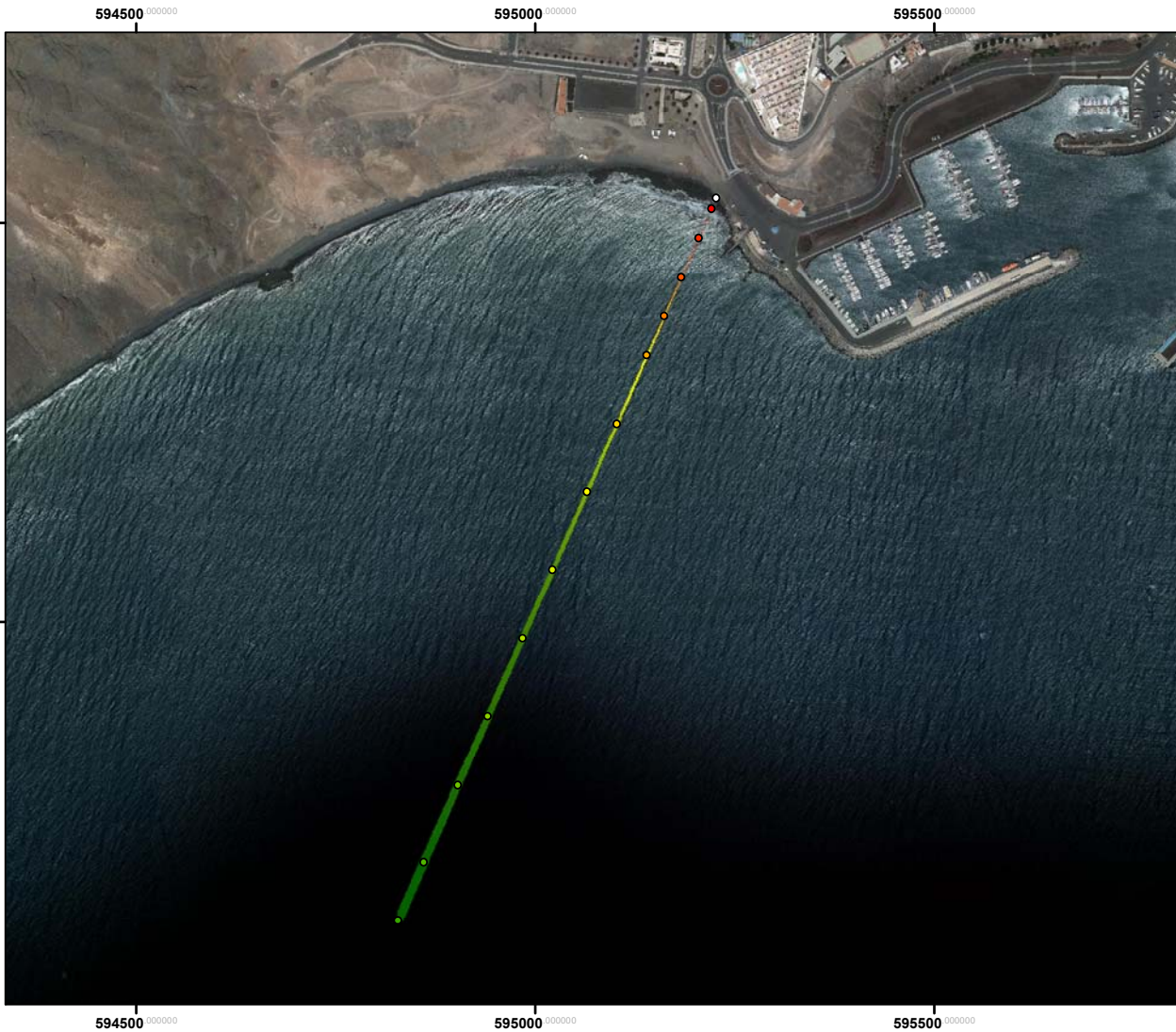
Ce_{eje}: concentración salina del efluente salmuera.

Ri_{eje}: número de Richardson.

Referencias

[1] Alavian, V. (1986). "Behavior of Density Currents on an Incline". Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 112, No. 1, pp. 27-42.

[2] García, M. (1985). "Experimental study of turbidity currents", Tesis de Maestría en Ingeniería Civil. Universidad de Minnesota, Minneapolis.



PROYECTO

Modelización del Vertido de Salmuera de la IDAM Gran Tarajal

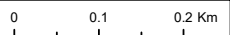
ESCENARIO

E1C1
Caudal Habitual en la BMVE

LEYENDA

- Punto de vertido
- E1C1 - Salinidad (psu)**
- 40.86
- 39.85
- 39.3
- 38.92
- 38.63
- 38.26
- 38.01
- 37.81
- 37.68
- 37.57
- 37.5
- 37.43
- 37.39

ESCALA



PROMOTOR

Gobierno de Canarias
D.G. de Agricultura

AUTOR

elitoral S.L.N.E.

ANEXO 2. SIMULACIÓN E1C2. Caudal habitual en la PMVE

Informe de ejecución brIHne_PLUME3D (Versión 1.0) - Proyecto 'E1C2'

Caudal maximo en BMVE

Parámetros de entrada

Condiciones del medio receptor	Profundidad media en la zona de vertido [Ha (m)]	0.1
	Salinidad [Ca (psu)]	37
	Densidad [ρ_a (Kg/m ³)]	1030
	Coefficiente de rozamiento [Cd ()]	0.015
	Pendiente del fondo [So (tanto por uno)]	0.02
Características del comienzo del campo lejano (pluma)	Caudal inicial de la pluma [Qo1 (m ³ /s)]	0.1
	Densidad efluente [ρ_o_ini (Kg/m ³)]	1050
	Concentración salina efluente [C_o (psu)]	63.6
	Espesor inicial de la pluma [yo (m)]	0.1
	Ancho inicial de la pluma [bo (m)]	2.4
Longitud / Distancia de estudio	Longitud de estudio de la pluma (distancia desde el punto de vertido) [x_fin (m)]	1000

Flujos y adimensionales

Qo, Flujo de caudal	0.10 m ³ /s
Bof, Flujo de flotabilidad	0.02 m ⁴ /s ³
Mo, Flujo de cantidad de movimiento	0.04 m ⁴ /s ²
Ri_o, Número de Richardson inicial	0.11
Fo, Número de Froude densimétrico inicial	3.02

Características de la pluma

X_fin, distancia de estudio de la evolución de la pluma de salmuera	1000.0 m
h_fin, espesor de la pluma de salmuera al final de la zona de estudio	2.97 m
b_fin, ancho de la pluma de salmuera al final de la zona de estudio	10.64 m
Ueje_fin, velocidad en el eje de la pluma de salmuera al final de la zona de estudio	0.12 m/s
Seje_fin, dilución en el eje de la pluma de salmuera al final de la zona de estudio	38.2
Ceje_fin, concentración salina en el eje de la pluma de salmuera al final de la zona de estudio	37.70 psu
ρ_o_fin , densidad en el eje de la pluma de salmuera al final de la zona de estudio	1030.52 Kg/m ³
Ri_fin, Número de Richardson de la pluma de salmuera al final de la zona de estudio	1.01

Gráficas de Evolución de Variables

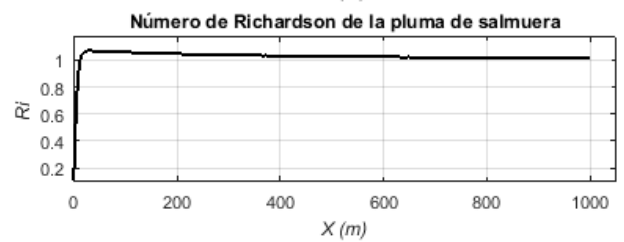
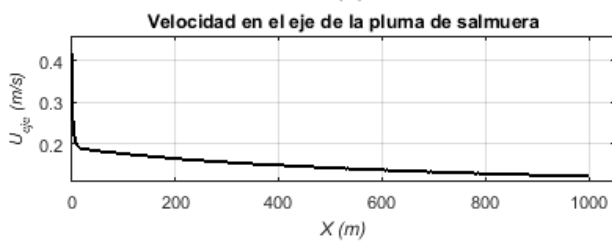
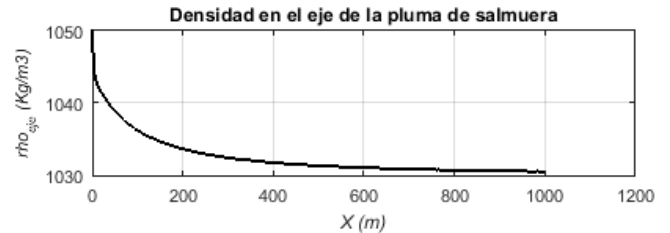
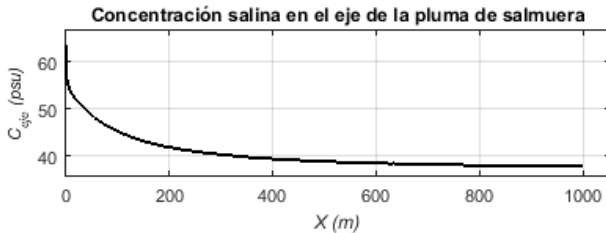
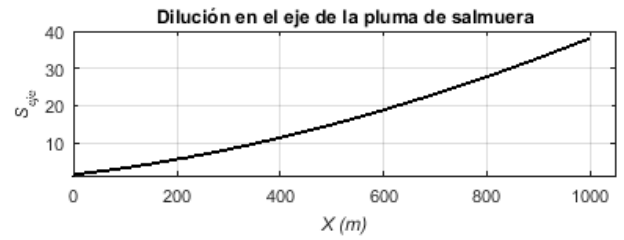
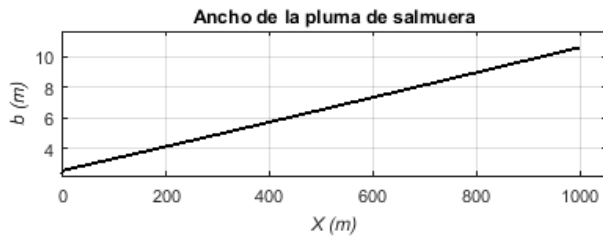
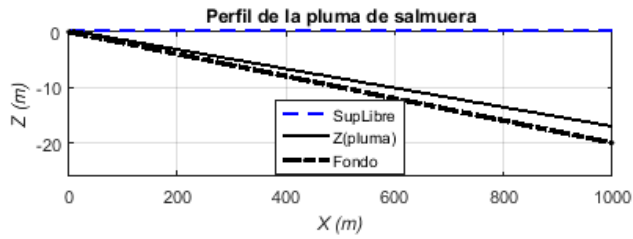


Tabla de Resultados Numéricos

X	h	b	Q	Ueje	rho_eje	Seje	Ceje	Ri_eje
0.00	0.10	2.40	0.10	0.42	1050.00	1.00	63.60	0.11
13.35	0.32	2.65	0.16	0.19	1042.14	1.65	53.14	1.01
26.70	0.37	2.75	0.19	0.19	1040.68	1.87	51.21	1.07
40.05	0.40	2.86	0.21	0.18	1039.52	2.10	49.67	1.07
53.40	0.43	2.96	0.23	0.18	1038.56	2.34	48.38	1.07
66.75	0.47	3.06	0.26	0.18	1037.74	2.58	47.30	1.06
80.10	0.50	3.17	0.28	0.18	1037.05	2.84	46.38	1.06
93.45	0.54	3.27	0.31	0.18	1036.45	3.10	45.58	1.06
106.80	0.57	3.38	0.34	0.17	1035.93	3.37	44.89	1.06
120.15	0.61	3.48	0.37	0.17	1035.48	3.65	44.28	1.06
133.50	0.64	3.59	0.39	0.17	1035.08	3.94	43.75	1.05
146.85	0.68	3.69	0.42	0.17	1034.72	4.24	43.28	1.05
160.20	0.71	3.80	0.45	0.17	1034.40	4.54	42.86	1.05
173.55	0.75	3.90	0.49	0.17	1034.12	4.86	42.48	1.05
186.90	0.78	4.01	0.52	0.17	1033.86	5.18	42.14	1.05
200.25	0.82	4.12	0.55	0.16	1033.63	5.51	41.83	1.05
213.60	0.85	4.22	0.58	0.16	1033.42	5.85	41.55	1.05
226.95	0.89	4.33	0.62	0.16	1033.23	6.19	41.30	1.04
240.30	0.92	4.44	0.65	0.16	1033.06	6.55	41.06	1.04
253.65	0.96	4.54	0.69	0.16	1032.90	6.91	40.85	1.04

X	h	b	Q	Ueje	rho_eje	Seje	Ceje	Ri_eje
267.00	0.99	4.65	0.73	0.16	1032.75	7.28	40.66	1.04
280.35	1.03	4.76	0.77	0.16	1032.61	7.65	40.48	1.04
293.70	1.06	4.86	0.80	0.16	1032.49	8.04	40.31	1.04
307.05	1.10	4.97	0.84	0.15	1032.37	8.43	40.16	1.04
320.40	1.13	5.08	0.88	0.15	1032.27	8.83	40.01	1.04
333.75	1.17	5.19	0.92	0.15	1032.17	9.24	39.88	1.04
347.10	1.20	5.29	0.97	0.15	1032.07	9.65	39.76	1.04
360.45	1.24	5.40	1.01	0.15	1031.99	10.07	39.64	1.03
373.80	1.28	5.51	1.05	0.15	1031.90	10.50	39.53	1.03
387.15	1.31	5.62	1.09	0.15	1031.83	10.94	39.43	1.03
400.50	1.35	5.72	1.14	0.15	1031.76	11.38	39.34	1.03
413.85	1.38	5.83	1.18	0.15	1031.69	11.83	39.25	1.03
427.20	1.42	5.94	1.23	0.15	1031.63	12.29	39.16	1.03
440.55	1.45	6.05	1.28	0.15	1031.57	12.76	39.09	1.03
453.90	1.49	6.16	1.32	0.14	1031.51	13.23	39.01	1.03
467.25	1.53	6.27	1.37	0.14	1031.46	13.71	38.94	1.03
480.60	1.56	6.37	1.42	0.14	1031.41	14.20	38.87	1.03
493.95	1.60	6.48	1.47	0.14	1031.36	14.69	38.81	1.03
507.30	1.63	6.59	1.52	0.14	1031.32	15.19	38.75	1.03
520.65	1.67	6.70	1.57	0.14	1031.27	15.70	38.69	1.03
534.00	1.71	6.81	1.62	0.14	1031.23	16.21	38.64	1.03
547.35	1.74	6.92	1.67	0.14	1031.20	16.73	38.59	1.03
560.70	1.78	7.03	1.73	0.14	1031.16	17.26	38.54	1.03
574.05	1.81	7.13	1.78	0.14	1031.12	17.79	38.49	1.02
587.40	1.85	7.24	1.83	0.14	1031.09	18.33	38.45	1.02
600.75	1.89	7.35	1.89	0.14	1031.06	18.88	38.41	1.02
614.10	1.92	7.46	1.94	0.14	1031.03	19.44	38.37	1.02
627.45	1.96	7.57	2.00	0.13	1031.00	20.00	38.33	1.02
640.80	1.99	7.68	2.06	0.13	1030.97	20.57	38.29	1.02
654.15	2.03	7.79	2.11	0.13	1030.95	21.14	38.26	1.02
667.50	2.07	7.90	2.17	0.13	1030.92	21.72	38.22	1.02
680.85	2.10	8.01	2.23	0.13	1030.90	22.31	38.19	1.02
694.20	2.14	8.12	2.29	0.13	1030.87	22.90	38.16	1.02
707.55	2.17	8.23	2.35	0.13	1030.85	23.50	38.13	1.02
720.90	2.21	8.34	2.41	0.13	1030.83	24.11	38.10	1.02
734.25	2.25	8.45	2.47	0.13	1030.81	24.72	38.08	1.02
747.60	2.28	8.56	2.53	0.13	1030.79	25.34	38.05	1.02
760.95	2.32	8.67	2.60	0.13	1030.77	25.96	38.02	1.02
774.30	2.36	8.78	2.66	0.13	1030.75	26.60	38.00	1.02
787.65	2.39	8.89	2.72	0.13	1030.73	27.23	37.98	1.02
801.00	2.43	9.00	2.79	0.13	1030.72	27.88	37.95	1.02
814.35	2.47	9.11	2.85	0.13	1030.70	28.53	37.93	1.02
827.70	2.50	9.22	2.92	0.13	1030.69	29.18	37.91	1.02
841.05	2.54	9.33	2.98	0.13	1030.67	29.85	37.89	1.02
854.40	2.57	9.44	3.05	0.13	1030.66	30.52	37.87	1.02
867.75	2.61	9.55	3.12	0.13	1030.64	31.19	37.85	1.02
881.10	2.65	9.66	3.19	0.12	1030.63	31.87	37.83	1.02
894.45	2.68	9.77	3.26	0.12	1030.61	32.56	37.82	1.02
907.80	2.72	9.88	3.33	0.12	1030.60	33.25	37.80	1.02
921.15	2.76	9.99	3.40	0.12	1030.59	33.95	37.78	1.02
934.50	2.79	10.10	3.47	0.12	1030.58	34.66	37.77	1.02
947.85	2.83	10.21	3.54	0.12	1030.57	35.37	37.75	1.02
961.20	2.87	10.32	3.61	0.12	1030.55	36.08	37.74	1.01
974.55	2.90	10.43	3.68	0.12	1030.54	36.81	37.72	1.01
987.90	2.94	10.54	3.75	0.12	1030.53	37.53	37.71	1.01

Observaciones:

El modelo ha sido desarrollado por el Instituto de Hidráulica Ambiental.

Para dudas, consultas y más información sobre el modelo: brIHnesupport@ihcantabria.com

Calibración del modelo:

El modelo simula el comportamiento de una pluma hipersalina tridimensional, característica del comportamiento en la región de campo lejano del efluente salmuera, desplazándose en un medio receptor ilimitado. Las ecuaciones de gobierno se resuelven mediante la aproximación numérica propuesta en [1], que supone la integración de las ecuaciones diferenciales en la sección transversal de la pluma, resolviendo numéricamente el sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias resultante.

La mezcla entre la pluma y se resuelve aplicando la ecuación de entrainment publicada en [2].

Variables:

Leyenda de la tabla de resultados numéricos:

X: coordenada horizontal.

h: espesor de la pluma de salmuera.

b: ancho de la pluma de salmuera

Q: caudal de efluente salmuera.

U_{eje}: velocidad en el eje de la pluma de salmuera.

Rho_{eje}: densidad del efluente salmuera.

Se_{eje}: dilución del efluente salmuera, por mezcla con agua del medio receptor.

Ce_{eje}: concentración salina del efluente salmuera.

Ri_{eje}: número de Richardson.

Referencias

[1] Alavian, V. (1986). "Behavior of Density Currents on an Incline". Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 112, No. 1, pp. 27-42.

[2] García, M. (1985). "Experimental study of turbidity currents", Tesis de Maestría en Ingeniería Civil. Universidad de Minnesota, Minneapolis.



PROYECTO

Modelización del Vertido de Salmuera de la IDAM Gran Tarajal

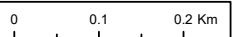
ESCENARIO

E1C2
Caudal Máximo en la BMVE

LEYENDA

- Punto de vertido
- E1C2 - Salinidad (psu)**
- 53.14
- 48.38
- 44.89
- 42.86
- 41.55
- 40.16
- 39.34
- 38.75
- 38.41
- 38.13
- 37.95
- 37.8
- 37.71

ESCALA



PROMOTOR

Gobierno de Canarias
D.G. de Agricultura

AUTOR

elitoral S.L.N.E.

ANEXO 3. SIMULACIÓN E2C1. Caudal máximo en la BMVE

Informe de ejecución brIHne_PLUME3D (Versión 1.0) - Proyecto 'E2C1'

Caudal medio en PMVE

Parámetros de entrada

Condiciones del medio receptor	Profundidad media en la zona de vertido [Ha (m)]	1.8
	Salinidad [Ca (psu)]	37
	Densidad [ρ_a (Kg/m ³)]	1030
	Coefficiente de rozamiento [Cd ()]	0.015
	Pendiente del fondo [So (tanto por uno)]	0.02
Características del comienzo del campo lejano (pluma)	Caudal inicial de la pluma [Qo1 (m ³ /s)]	0.0644444
	Densidad efluente [ρ_o_ini (Kg/m ³)]	1050
	Concentración salina efluente [C_o (psu)]	63.6
	Espesor inicial de la pluma [yo (m)]	0.06
	Ancho inicial de la pluma [bo (m)]	1.03
Longitud / Distancia de estudio	Longitud de estudio de la pluma (distancia desde el punto de vertido) [x_fin (m)]	1000

Flujos y adimensionales

Qo, Flujo de caudal	0.06 m ³ /s
Bof, Flujo de flotabilidad	0.01 m ⁴ /s ³
Mo, Flujo de cantidad de movimiento	0.07 m ⁴ /s ²
Ri_o, Número de Richardson inicial	0.01
Fo, Número de Froude densimétrico inicial	9.76

Características de la pluma

X_fin, distancia de estudio de la evolución de la pluma de salmuera	1000.0 m
h_fin, espesor de la pluma de salmuera al final de la zona de estudio	4.11 m
b_fin, ancho de la pluma de salmuera al final de la zona de estudio	11.15 m
Ueje_fin, velocidad en el eje de la pluma de salmuera al final de la zona de estudio	0.10 m/s
Seje_fin, dilución en el eje de la pluma de salmuera al final de la zona de estudio	74.1
Ceje_fin, concentración salina en el eje de la pluma de salmuera al final de la zona de estudio	37.36 psu
ρ_o_fin , densidad en el eje de la pluma de salmuera al final de la zona de estudio	1030.27 Kg/m ³
Ri_fin, Número de Richardson de la pluma de salmuera al final de la zona de estudio	0.97

Gráficas de Evolución de Variables

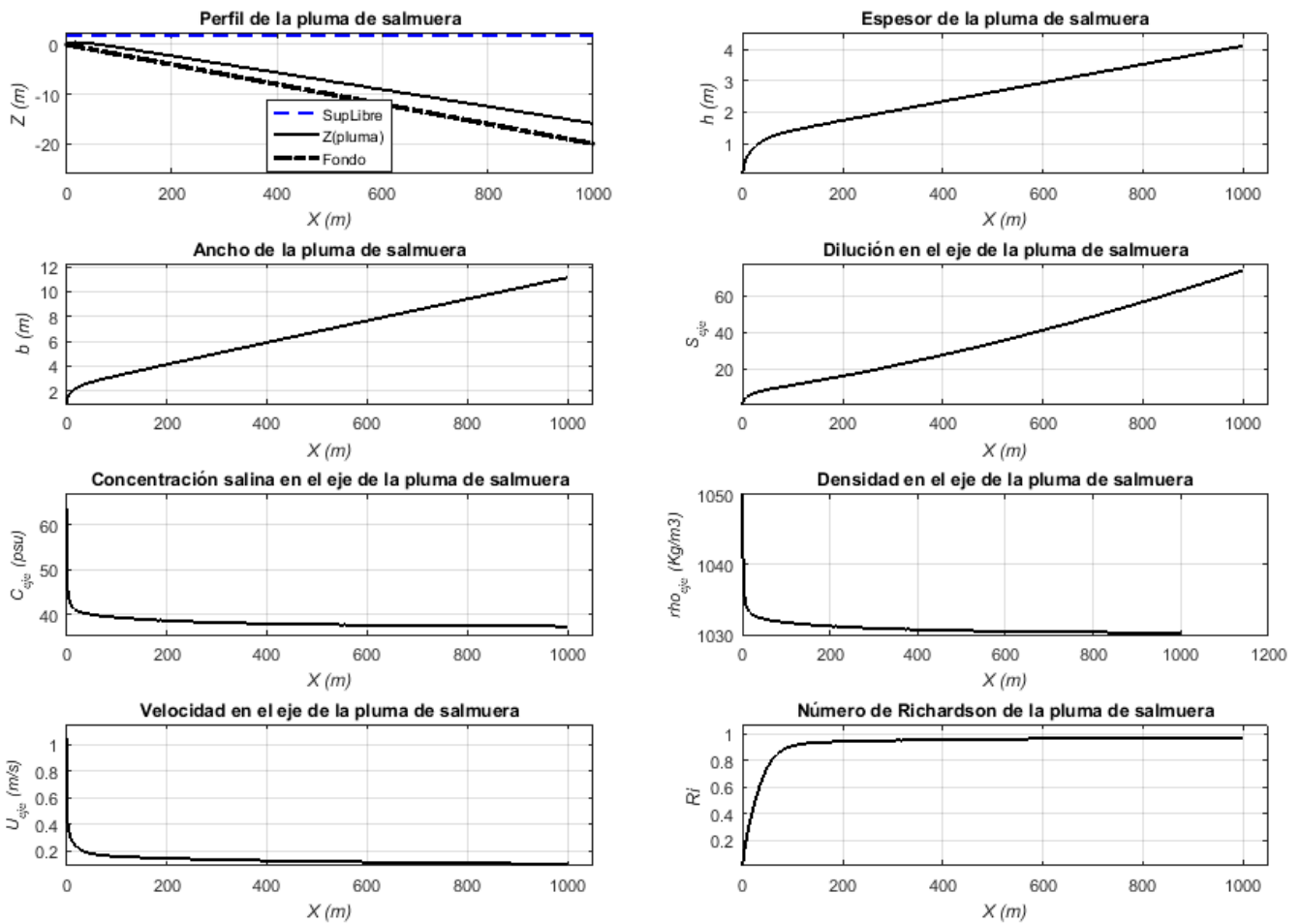


Tabla de Resultados Numéricos

X	h	b	Q	Ueje	rho_eje	Seje	Ceje	Ri_eje
0.00	0.06	1.03	0.06	1.04	1050.00	1.00	63.60	0.01
13.35	0.69	2.04	0.37	0.27	1033.44	5.81	41.58	0.32
26.70	0.93	2.36	0.47	0.22	1032.73	7.32	40.63	0.52
40.05	1.08	2.57	0.54	0.19	1032.41	8.31	40.20	0.67
53.40	1.19	2.74	0.59	0.18	1032.20	9.09	39.93	0.78
66.75	1.27	2.88	0.63	0.17	1032.05	9.78	39.72	0.84
80.10	1.34	3.02	0.67	0.17	1031.92	10.43	39.55	0.88
93.45	1.39	3.14	0.71	0.16	1031.81	11.06	39.40	0.90
106.80	1.44	3.27	0.75	0.16	1031.71	11.70	39.27	0.92
120.15	1.49	3.39	0.79	0.16	1031.62	12.33	39.16	0.93
133.50	1.53	3.52	0.84	0.16	1031.54	12.97	39.05	0.93
146.85	1.57	3.64	0.88	0.15	1031.47	13.62	38.95	0.94
160.20	1.62	3.76	0.92	0.15	1031.40	14.28	38.86	0.94
173.55	1.66	3.88	0.96	0.15	1031.34	14.95	38.78	0.94
186.90	1.70	4.00	1.01	0.15	1031.28	15.63	38.70	0.94
200.25	1.74	4.12	1.05	0.15	1031.23	16.32	38.63	0.94
213.60	1.78	4.24	1.10	0.15	1031.18	17.01	38.56	0.95
226.95	1.82	4.36	1.14	0.14	1031.13	17.72	38.50	0.95
240.30	1.86	4.48	1.19	0.14	1031.08	18.44	38.44	0.95
253.65	1.90	4.60	1.24	0.14	1031.04	19.17	38.39	0.95

X	h	b	Q	Ueje	rho_eje	Seje	Ceje	Ri_eje
267.00	1.94	4.72	1.28	0.14	1031.00	19.90	38.34	0.95
280.35	1.98	4.84	1.33	0.14	1030.97	20.65	38.29	0.95
293.70	2.02	4.96	1.38	0.14	1030.93	21.41	38.24	0.95
307.05	2.07	5.08	1.43	0.14	1030.90	22.18	38.20	0.95
320.40	2.11	5.20	1.48	0.14	1030.87	22.95	38.16	0.95
333.75	2.15	5.31	1.53	0.13	1030.84	23.74	38.12	0.96
347.10	2.19	5.43	1.58	0.13	1030.82	24.53	38.08	0.96
360.45	2.23	5.55	1.63	0.13	1030.79	25.34	38.05	0.96
373.80	2.27	5.67	1.69	0.13	1030.76	26.15	38.02	0.96
387.15	2.31	5.79	1.74	0.13	1030.74	26.98	37.99	0.96
400.50	2.35	5.91	1.79	0.13	1030.72	27.81	37.96	0.96
413.85	2.39	6.02	1.85	0.13	1030.70	28.65	37.93	0.96
427.20	2.43	6.14	1.90	0.13	1030.68	29.50	37.90	0.96
440.55	2.46	6.26	1.96	0.13	1030.66	30.36	37.88	0.96
453.90	2.50	6.38	2.01	0.13	1030.64	31.23	37.85	0.96
467.25	2.54	6.49	2.07	0.13	1030.62	32.11	37.83	0.96
480.60	2.58	6.61	2.13	0.12	1030.61	33.00	37.81	0.96
493.95	2.62	6.73	2.18	0.12	1030.59	33.89	37.78	0.96
507.30	2.66	6.85	2.24	0.12	1030.57	34.80	37.76	0.96
520.65	2.70	6.97	2.30	0.12	1030.56	35.71	37.74	0.96
534.00	2.74	7.08	2.36	0.12	1030.55	36.63	37.73	0.96
547.35	2.78	7.20	2.42	0.12	1030.53	37.57	37.71	0.96
560.70	2.82	7.32	2.48	0.12	1030.52	38.51	37.69	0.96
574.05	2.86	7.43	2.54	0.12	1030.51	39.46	37.67	0.97
587.40	2.90	7.55	2.60	0.12	1030.49	40.41	37.66	0.97
600.75	2.94	7.67	2.67	0.12	1030.48	41.38	37.64	0.97
614.10	2.98	7.79	2.73	0.12	1030.47	42.35	37.63	0.97
627.45	3.02	7.90	2.79	0.12	1030.46	43.34	37.61	0.97
640.80	3.06	8.02	2.86	0.12	1030.45	44.33	37.60	0.97
654.15	3.10	8.14	2.92	0.12	1030.44	45.33	37.59	0.97
667.50	3.14	8.25	2.99	0.12	1030.43	46.34	37.57	0.97
680.85	3.18	8.37	3.05	0.11	1030.42	47.35	37.56	0.97
694.20	3.21	8.49	3.12	0.11	1030.41	48.38	37.55	0.97
707.55	3.25	8.60	3.18	0.11	1030.40	49.41	37.54	0.97
720.90	3.29	8.72	3.25	0.11	1030.40	50.45	37.53	0.97
734.25	3.33	8.84	3.32	0.11	1030.39	51.50	37.52	0.97
747.60	3.37	8.95	3.39	0.11	1030.38	52.56	37.51	0.97
760.95	3.41	9.07	3.46	0.11	1030.37	53.62	37.50	0.97
774.30	3.45	9.19	3.52	0.11	1030.37	54.70	37.49	0.97
787.65	3.49	9.30	3.59	0.11	1030.36	55.78	37.48	0.97
801.00	3.53	9.42	3.66	0.11	1030.35	56.87	37.47	0.97
814.35	3.57	9.54	3.74	0.11	1030.35	57.97	37.46	0.97
827.70	3.61	9.65	3.81	0.11	1030.34	59.07	37.45	0.97
841.05	3.65	9.77	3.88	0.11	1030.33	60.19	37.44	0.97
854.40	3.68	9.88	3.95	0.11	1030.33	61.31	37.43	0.97
867.75	3.72	10.00	4.02	0.11	1030.32	62.44	37.43	0.97
881.10	3.76	10.12	4.10	0.11	1030.31	63.58	37.42	0.97
894.45	3.80	10.23	4.17	0.11	1030.31	64.72	37.41	0.97
907.80	3.84	10.35	4.25	0.11	1030.30	65.87	37.40	0.97
921.15	3.88	10.47	4.32	0.11	1030.30	67.04	37.40	0.97
934.50	3.92	10.58	4.40	0.11	1030.29	68.20	37.39	0.97
947.85	3.96	10.70	4.47	0.11	1030.29	69.38	37.38	0.97
961.20	4.00	10.81	4.55	0.11	1030.28	70.56	37.38	0.97
974.55	4.03	10.93	4.62	0.10	1030.28	71.76	37.37	0.97
987.90	4.07	11.05	4.70	0.10	1030.27	72.96	37.36	0.97

Observaciones:

El modelo ha sido desarrollado por el Instituto de Hidráulica Ambiental.

Para dudas, consultas y más información sobre el modelo: brIHnesupport@ihcantabria.com

Calibración del modelo:

El modelo simula el comportamiento de una pluma hipersalina tridimensional, característica del comportamiento en la región de campo lejano del efluente salmuera, desplazándose en un medio receptor ilimitado. Las ecuaciones de gobierno se resuelven mediante la aproximación numérica propuesta en [1], que supone la integración de las ecuaciones diferenciales en la sección transversal de la pluma, resolviendo numéricamente el sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias resultante.

La mezcla entre la pluma y se resuelve aplicando la ecuación de entrainment publicada en [2].

Variables:

Leyenda de la tabla de resultados numéricos:

X: coordenada horizontal.

h: espesor de la pluma de salmuera.

b: ancho de la pluma de salmuera

Q: caudal de efluente salmuera.

U_{eje}: velocidad en el eje de la pluma de salmuera.

Rho_{eje}: densidad del efluente salmuera.

Se_{eje}: dilución del efluente salmuera, por mezcla con agua del medio receptor.

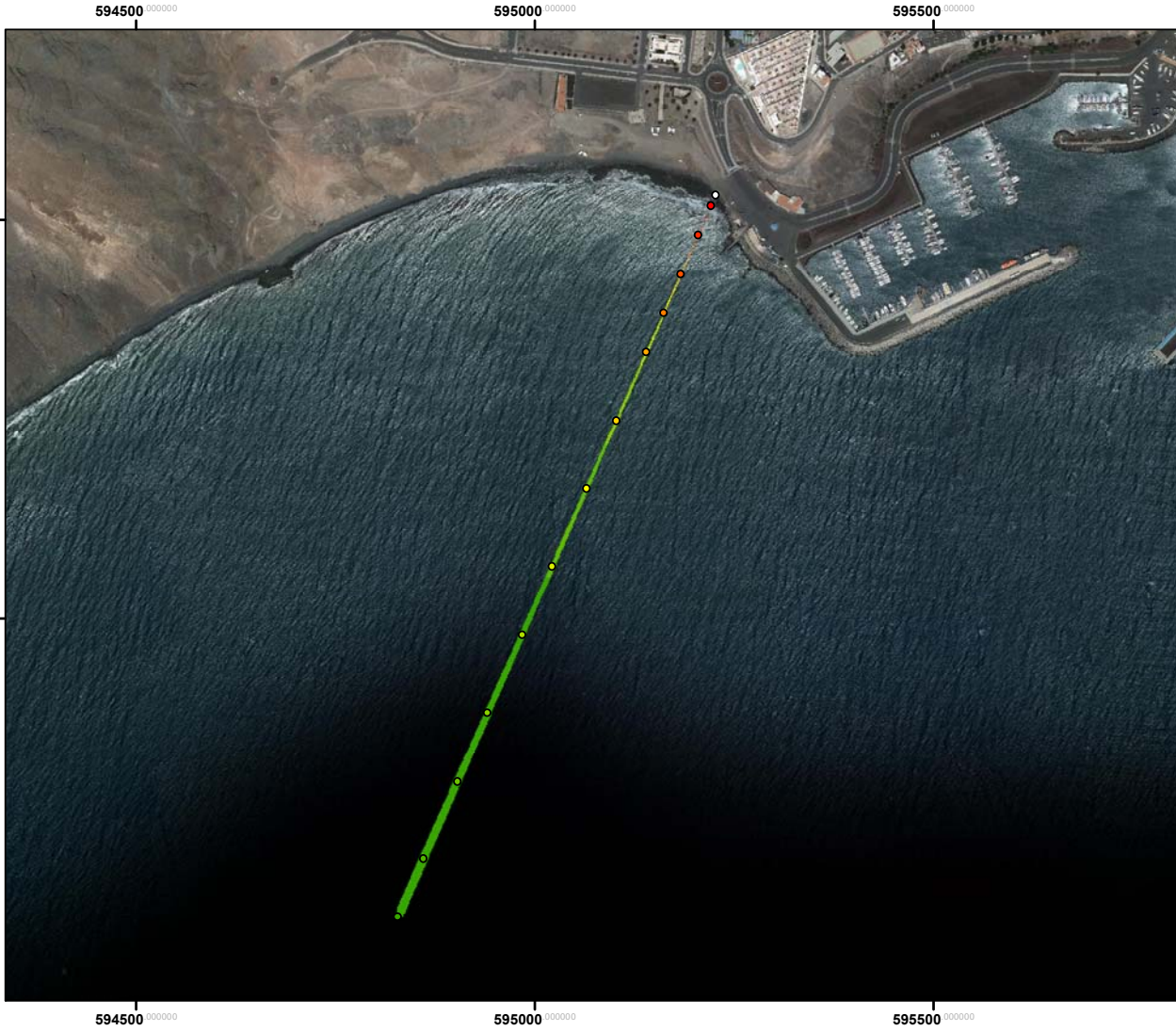
Ce_{eje}: concentración salina del efluente salmuera.

Ri_{eje}: número de Richardson.

Referencias

[1] Alavian, V. (1986). "Behavior of Density Currents on an Incline". Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 112, No. 1, pp. 27-42.

[2] García, M. (1985). "Experimental study of turbidity currents", Tesis de Maestría en Ingeniería Civil. Universidad de Minnesota, Minneapolis.



PROYECTO

Modelización del Vertido de Salmuera de la IDAM Gran Tarajal

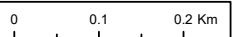
ESCENARIO

E2C1
Caudal Habitual en la PMVE

LEYENDA

- Punto de vertido
- E2C1 - Salinidad (psu)**
- 41.58
- 39.93
- 39.27
- 38.86
- 38.56
- 38.2
- 37.96
- 37.76
- 37.64
- 37.54
- 37.47
- 37.4
- 37.36

ESCALA



PROMOTOR

Gobierno de Canarias
D.G. de Agricultura

AUTOR

elitoral S.L.N.E.

ANEXO 4. SIMULACIÓN E2C2. Caudal máximo en la PMVE

Informe de ejecución brIHne_PLUME3D (Versión 1.0) - Proyecto 'E2C2'

Caudal máximo en PMVE

Parámetros de entrada

Condiciones del medio receptor	Profundidad media en la zona de vertido [Ha (m)]	1.8
	Salinidad [Ca (psu)]	37
	Densidad [ρ_a (Kg/m ³)]	1030
	Coefficiente de rozamiento [Cd (.)]	0.015
	Pendiente del fondo [So (tanto por uno)]	0.02
Características del comienzo del campo lejano (pluma)	Caudal inicial de la pluma [Qo1 (m ³ /s)]	0.1
	Densidad efluente [ρ_o_ini (Kg/m ³)]	1050
	Concentración salina efluente [C_o (psu)]	63.6
	Espesor inicial de la pluma [yo (m)]	0.3
	Ancho inicial de la pluma [bo (m)]	0.8
Longitud / Distancia de estudio	Longitud de estudio de la pluma (distancia desde el punto de vertido) [x_fin (m)]	1000

Flujos y adimensionales

Qo, Flujo de caudal	0.10 m ³ /s
Bof, Flujo de flotabilidad	0.02 m ⁴ /s ³
Mo, Flujo de cantidad de movimiento	0.04 m ⁴ /s ²
Ri_o, Número de Richardson inicial	0.33
Fo, Número de Froude densimétrico inicial	1.74

Características de la pluma

X_fin, distancia de estudio de la evolución de la pluma de salmuera	1000.0 m
h_fin, espesor de la pluma de salmuera al final de la zona de estudio	3.45 m
b_fin, ancho de la pluma de salmuera al final de la zona de estudio	9.74 m
Ueje_fin, velocidad en el eje de la pluma de salmuera al final de la zona de estudio	0.13 m/s
Seje_fin, dilución en el eje de la pluma de salmuera al final de la zona de estudio	42.3
Ceje_fin, concentración salina en el eje de la pluma de salmuera al final de la zona de estudio	37.63 psu
ρ_o_fin , densidad en el eje de la pluma de salmuera al final de la zona de estudio	1030.47 Kg/m ³
Ri_fin, Número de Richardson de la pluma de salmuera al final de la zona de estudio	0.98

Gráficas de Evolución de Variables

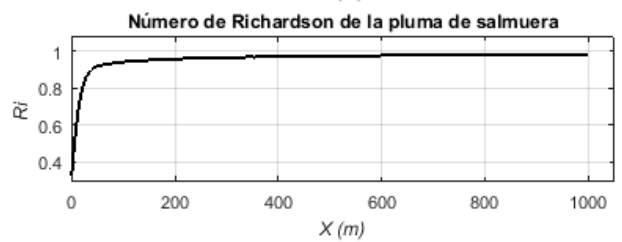
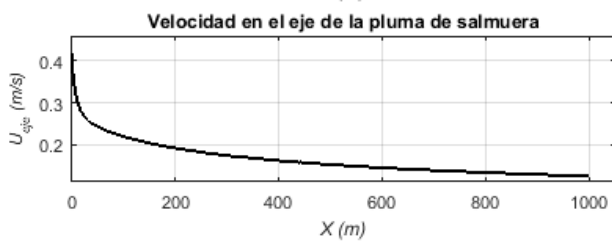
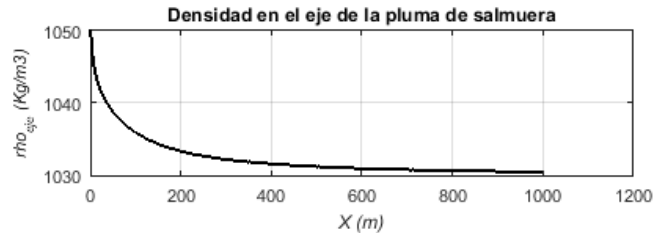
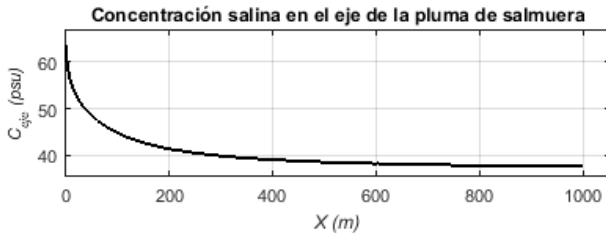
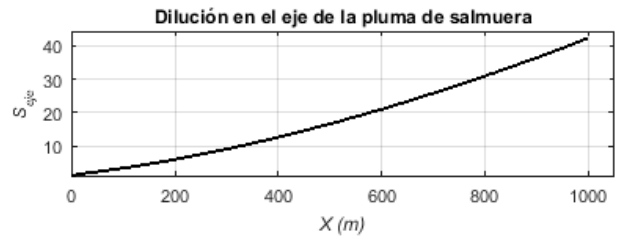
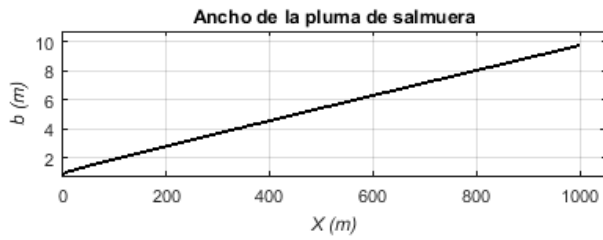
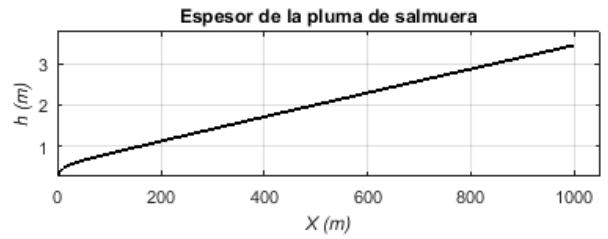
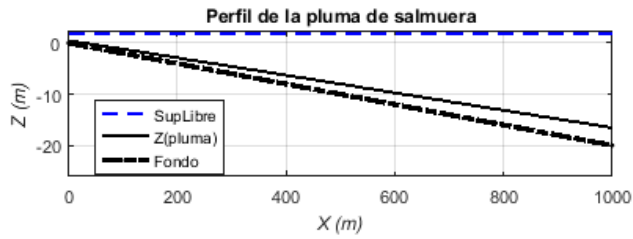


Tabla de Resultados Numéricos

X	h	b	Q	Ueje	rho_eje	Seje	Ceje	Ri_eje
0.00	0.30	0.80	0.10	0.42	1050.00	1.00	63.60	0.33
13.35	0.48	1.06	0.15	0.30	1043.31	1.50	54.70	0.69
26.70	0.57	1.21	0.18	0.26	1041.05	1.81	51.70	0.85
40.05	0.62	1.34	0.21	0.25	1039.59	2.09	49.75	0.90
53.40	0.67	1.46	0.24	0.24	1038.47	2.36	48.26	0.92
66.75	0.71	1.59	0.26	0.23	1037.56	2.65	47.05	0.93
80.10	0.75	1.71	0.29	0.23	1036.80	2.94	46.05	0.93
93.45	0.79	1.83	0.32	0.22	1036.17	3.24	45.20	0.94
106.80	0.84	1.95	0.36	0.22	1035.62	3.56	44.48	0.94
120.15	0.88	2.07	0.39	0.21	1035.16	3.88	43.86	0.94
133.50	0.92	2.19	0.42	0.21	1034.75	4.21	43.32	0.95
146.85	0.96	2.31	0.46	0.21	1034.39	4.55	42.84	0.95
160.20	1.00	2.43	0.49	0.20	1034.08	4.90	42.43	0.95
173.55	1.04	2.55	0.53	0.20	1033.80	5.26	42.05	0.95
186.90	1.08	2.67	0.56	0.20	1033.55	5.63	41.72	0.95
200.25	1.12	2.79	0.60	0.19	1033.33	6.01	41.43	0.96
213.60	1.16	2.91	0.64	0.19	1033.13	6.40	41.16	0.96
226.95	1.20	3.02	0.68	0.19	1032.94	6.79	40.92	0.96
240.30	1.24	3.14	0.72	0.18	1032.78	7.20	40.70	0.96
253.65	1.28	3.26	0.76	0.18	1032.63	7.61	40.50	0.96

X	h	b	Q	Ueje	rho_eje	Seje	Ceje	Ri_eje
267.00	1.32	3.38	0.80	0.18	1032.49	8.03	40.31	0.96
280.35	1.36	3.49	0.85	0.18	1032.36	8.46	40.15	0.96
293.70	1.40	3.61	0.89	0.18	1032.25	8.89	39.99	0.96
307.05	1.44	3.73	0.93	0.17	1032.14	9.34	39.85	0.96
320.40	1.48	3.85	0.98	0.17	1032.04	9.79	39.72	0.97
333.75	1.52	3.96	1.03	0.17	1031.95	10.26	39.59	0.97
347.10	1.56	4.08	1.07	0.17	1031.86	10.72	39.48	0.97
360.45	1.59	4.20	1.12	0.17	1031.79	11.20	39.37	0.97
373.80	1.63	4.31	1.17	0.17	1031.71	11.69	39.28	0.97
387.15	1.67	4.43	1.22	0.16	1031.64	12.18	39.18	0.97
400.50	1.71	4.55	1.27	0.16	1031.58	12.68	39.10	0.97
413.85	1.75	4.66	1.32	0.16	1031.52	13.19	39.02	0.97
427.20	1.79	4.78	1.37	0.16	1031.46	13.70	38.94	0.97
440.55	1.83	4.90	1.42	0.16	1031.41	14.23	38.87	0.97
453.90	1.87	5.01	1.48	0.16	1031.36	14.76	38.80	0.97
467.25	1.91	5.13	1.53	0.16	1031.31	15.30	38.74	0.97
480.60	1.95	5.25	1.58	0.16	1031.26	15.84	38.68	0.97
493.95	1.99	5.36	1.64	0.15	1031.22	16.39	38.62	0.97
507.30	2.02	5.48	1.70	0.15	1031.18	16.95	38.57	0.97
520.65	2.06	5.59	1.75	0.15	1031.14	17.52	38.52	0.97
534.00	2.10	5.71	1.81	0.15	1031.11	18.09	38.47	0.97
547.35	2.14	5.83	1.87	0.15	1031.07	18.68	38.42	0.97
560.70	2.18	5.94	1.93	0.15	1031.04	19.26	38.38	0.97
574.05	2.22	6.06	1.99	0.15	1031.01	19.86	38.34	0.97
587.40	2.26	6.17	2.05	0.15	1030.98	20.46	38.30	0.97
600.75	2.30	6.29	2.11	0.15	1030.95	21.07	38.26	0.97
614.10	2.34	6.40	2.17	0.14	1030.92	21.69	38.23	0.98
627.45	2.37	6.52	2.23	0.14	1030.90	22.31	38.19	0.98
640.80	2.41	6.64	2.29	0.14	1030.87	22.94	38.16	0.98
654.15	2.45	6.75	2.36	0.14	1030.85	23.57	38.13	0.98
667.50	2.49	6.87	2.42	0.14	1030.83	24.22	38.10	0.98
680.85	2.53	6.98	2.49	0.14	1030.80	24.87	38.07	0.98
694.20	2.57	7.10	2.55	0.14	1030.78	25.52	38.04	0.98
707.55	2.61	7.21	2.62	0.14	1030.76	26.18	38.02	0.98
720.90	2.65	7.33	2.69	0.14	1030.74	26.85	37.99	0.98
734.25	2.68	7.44	2.75	0.14	1030.73	27.53	37.97	0.98
747.60	2.72	7.56	2.82	0.14	1030.71	28.21	37.94	0.98
760.95	2.76	7.68	2.89	0.14	1030.69	28.90	37.92	0.98
774.30	2.80	7.79	2.96	0.14	1030.68	29.60	37.90	0.98
787.65	2.84	7.91	3.03	0.14	1030.66	30.30	37.88	0.98
801.00	2.88	8.02	3.10	0.13	1030.65	31.01	37.86	0.98
814.35	2.92	8.14	3.17	0.13	1030.63	31.72	37.84	0.98
827.70	2.95	8.25	3.24	0.13	1030.62	32.44	37.82	0.98
841.05	2.99	8.37	3.32	0.13	1030.60	33.17	37.80	0.98
854.40	3.03	8.48	3.39	0.13	1030.59	33.90	37.78	0.98
867.75	3.07	8.60	3.46	0.13	1030.58	34.64	37.77	0.98
881.10	3.11	8.71	3.54	0.13	1030.57	35.39	37.75	0.98
894.45	3.15	8.83	3.61	0.13	1030.55	36.14	37.74	0.98
907.80	3.19	8.94	3.69	0.13	1030.54	36.90	37.72	0.98
921.15	3.22	9.06	3.77	0.13	1030.53	37.66	37.71	0.98
934.50	3.26	9.17	3.84	0.13	1030.52	38.43	37.69	0.98
947.85	3.30	9.29	3.92	0.13	1030.51	39.21	37.68	0.98
961.20	3.34	9.40	4.00	0.13	1030.50	39.99	37.67	0.98
974.55	3.38	9.52	4.08	0.13	1030.49	40.78	37.65	0.98
987.90	3.42	9.63	4.16	0.13	1030.48	41.57	37.64	0.98

Observaciones:

El modelo ha sido desarrollado por el Instituto de Hidráulica Ambiental.

Para dudas, consultas y más información sobre el modelo: brIHnesupport@ihcantabria.com

Calibración del modelo:

El modelo simula el comportamiento de una pluma hipersalina tridimensional, característica del comportamiento en la región de campo lejano del efluente salmuera, desplazándose en un medio receptor ilimitado. Las ecuaciones de gobierno se resuelven mediante la aproximación numérica propuesta en [1], que supone la integración de las ecuaciones diferenciales en la sección transversal de la pluma, resolviendo numéricamente el sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias resultante.

La mezcla entre la pluma y se resuelve aplicando la ecuación de entrainment publicada en [2].

Variables:

Leyenda de la tabla de resultados numéricos:

X: coordenada horizontal.

h: espesor de la pluma de salmuera.

b: ancho de la pluma de salmuera

Q: caudal de efluente salmuera.

U_{eje}: velocidad en el eje de la pluma de salmuera.

Rho_{eje}: densidad del efluente salmuera.

Se_{eje}: dilución del efluente salmuera, por mezcla con agua del medio receptor.

Ce_{eje}: concentración salina del efluente salmuera.

Ri_{eje}: número de Richardson.

Referencias

[1] Alavian, V. (1986). "Behavior of Density Currents on an Incline". Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 112, No. 1, pp. 27-42.

[2] García, M. (1985). "Experimental study of turbidity currents", Tesis de Maestría en Ingeniería Civil. Universidad de Minnesota, Minneapolis.



PROYECTO

Modelización del Vertido de Salmuera de la IDAM Gran Tarajal

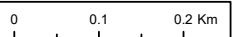
ESCENARIO

E2C2
Caudal Máximo en la PMVE

LEYENDA

- Punto de vertido
- E2C2 - Salinidad (psu)**
- 54.7
- 48.26
- 44.48
- 42.43
- 41.16
- 39.85
- 39.1
- 38.57
- 38.26
- 38.02
- 37.86
- 37.72
- 37.64

ESCALA



PROMOTOR

Gobierno de Canarias
D.G. de Agricultura

AUTOR

elitoral S.L.N.E.