

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA

Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

Maestría en Ciencias de la Ingeniería

Mención en Recursos Hídricos

**DISEÑO Y MODELACIÓN DE DESCARGA DE
COLIFORMES FECALES A TRAVÉS DE UN EMISARIO
SUBMARINO**

CASO ESPECÍFICO: MAR DEL PLATA



TESIS DE MAESTRÍA

Autor: Lic. Javier Alejandro Gómez Rojas

Director: Dr. Ing. Paolo Gyssels

Córdoba, 2019

DISEÑO Y MODELACIÓN DE DESCARGA DE COLIFORMES FECALES A TRAVÉS DE UN EMISARIO SUBMARINO CASO ESPECÍFICO: MAR DEL PLATA

Autor: Lic. Javier Alejandro Gómez Rojas

Director: Dr. Ing. Paolo Gyssels

Palabras Claves: Delft wáter quality (D-Waq), Numero más probable (NMP), emisario submarino, Coliformes fecales.

Resumen

En América latina y el caribe el 49%, tiene servicio de alcantarillado, en el cual se colecta aproximadamente 40 millones de metros cúbicos diarios que se vierten en ríos, lagos y mar. Del volumen colectado tan solo el 10% recibe algún tipo de tratamiento previo a la descarga en agua de forma superficial (Suematsu, 2010). Además, en los últimos informes de la ONU y OMS casi 2,000 millones de personas utilizan a diario agua contaminada, principalmente por heces, cuestión que representa un riesgo para la salud mundial. En ese sentido un emisario submarino es una conducción para realizar vertidos de origen urbano o industrial en el mar a cierta distancia de la costa. Por lo tanto, en la actualidad es indispensable poseer herramientas de modelación que permitan predecir y gestionar posibles riesgos para la salud pública. A finales del 2014 el software Delft3D introduce un modelo de calidad de agua de coliformes (Delft Water Quality ó D-Waq), debido a que propone una gran utilidad como herramienta de modelación en descargas de afluentes cloacales ya sea en ríos o aquellos que utilizan un emisario submarino. Se utilizó esta herramienta de modelación, utilizando información recolectada del emisario submarino de Mar del Plata (Argentina) y leyes ambientales, para generar escenarios de calibración y escenarios críticos de vertidos en base al estudio de mareas, vientos, parámetros ambientales, y de descarga para evaluar posible afectación de E. Coli en playas cercanas.

El principal objetivo de los emisarios submarinos es minimizar el impacto que puede tener el vertido de aguas residuales al mar o lo que es lo mismo, garantizar una buena dilución de manera que la mezcla de aguas residuales y agua de mar no altere de forma alguna el aspecto natural y sea inocua para el ecosistema marino, para el litoral y para la salud de los seres humanos. (CEPIS, 2000). Los objetivos particulares de este trabajo han sido: (i) Identificar los parámetros que utiliza la herramienta D-Waq para su funcionamiento, haciendo énfasis en el modelo y método que utiliza; (ii) Reproducir eventos de calibración de parámetros de diseño y modelación. Teniendo en cuenta leyes de descarga, estándares de calidad, etc.; (iii) Utilizar la herramienta D-Waq para modelar y evaluar posibles eventos que puedan afectar las playas cercanas, superando los estándares de calidad de E. Coli.

Se utilizó el modelo D-WAQ, el cual utiliza un modelo de dispersión de contaminantes, a partir de la hidrodinámica oceánica producida por el oleaje (viento), marea, resolviendo con el modelo FLOW las ecuaciones de Navier Stokes, teniendo en cuenta la turbulencia y la rugosidad del medio. Con la hidrodinámica resuelta se ha podido generar una descarga de E. Coli, teniendo en cuenta caudales y concentraciones. Se ha evaluado la pluma de

dispersión en el campo lejano teniendo en cuenta la salinidad del medio, la radiación solar y la tasa de decaimiento de la temperatura, utilizando el modelo de Mancini (1978). Se han producido los eventos críticos para evaluar los parámetros de calidad agua en zonas de baño.

En este trabajo se recolectó información del pliego licitatorio y de construcción del Emisario submarino de Mar del Plata, en los cuales se tenía en cuenta la descarga de coliformes fecales totales, mas no se tenía específicamente la modelación y diseño de la descarga de Escherichia Coli, que a pesar de encontrarse dentro del grupo de los coliformes fecales totales, posee una tasa de decaimiento menor, según el modelo de Mancini (1978). Por lo cual para poder utilizar el D-WAQ, se recolectó información y se calibraron diferentes parámetros (salinidad, temperatura, radiación, marea, viento, corriente submarina, etc.). a partir de dicha investigación se encontraron 5 escenarios críticos:

Escenario 1: Durante el 9/7/1996 se registra fuerte oleaje con una velocidad de viento promedio de 80 Km/h del norte, con caudal de descarga medio de $6\text{m}^3/\text{s}$. (critico)

Escenario 2: Durante el 20/7/1996 se registra fuertes vientos con una velocidad promedio de 70 Km/h del sur, con caudal de descarga medio de $6\text{m}^3/\text{s}$. (critico)

Escenario 3: Condiciones medias: marea típica, oleaje típico, con caudal de descarga medio. (típico)

Escenario 4: Máximo viento registrado directo hacia costa (4m/s), con máxima descarga del emisario $9\text{m}^3/\text{s}$ (consideración critica).

Escenario 5: Evento critico por viento considerable de 7.4 m/s con 67° , con la marea típica, condiciones de descarga medias ($6\text{m}^3/\text{s}$) y máximas ($9\text{m}^3/\text{s}$).

Los resultados obtenidos, han evidenciado una gran dependencia de la mancha de E. Coli al viento, prevaleciendo sobre la corriente típica local. Por lo cual los escenarios dependen básicamente de los niveles de descarga y de los posibles vientos locales.

El escenario 1 y 2 han permitido contrastar resultados con los del pliego licitatorio y de construcción del Emisario submarino, generando gran concordancia. Por otro lado, el emisario posee caudales medios de funcionamiento de $6\text{m}^3/\text{s}$, si dichas descargas se mantienen dentro los límites permitidos de $1\text{E}+12$ NMP/ m^3 .

En el escenario 3 promueve una zona de disolución estable lejos de la costa. El escenario 4 lograría ser un riesgo siempre y cuando el viento se mantuviese 2 días continuos, esto sería imposible debido a la variación de vientos que se tiene en la zona. Y en escenario 5 la zona de disolución tampoco se acerca lo suficientemente para ser considerado un peligro. Por otro lado, al aumentar la descarga máxima ($9\text{m}^3/\text{s}$) en los 5 escenarios. tampoco demostró algún para salud pública

A su vez se resalta que, a través de los modelos de predicción de oleaje y viento actuales, D-Waq es una herramienta poderosa para predicción y toma de decisión.

DESIGN AND MODELING OF DISCHARGE OF FECAL COLIFORMS THROUGH A SUBMARINE OUTFALL SPECIFIC CASE: MAR DEL PLATA

Autor: Lic. Javier Alejandro Gómez Rojas

Director: Dr. Ing. Paolo Gyssels

keywords: Delft water quality (D-Waq), Most probable number (MNP), submarine outfall, Fecal coliforms.

ABSTRACT

In Latin America and the Caribbean, 49% have sewerage service, in which approximately 40 million cubic meters are daily collected and poured into rivers, lakes and the sea. Of the volume collected, only 10% receive some type of treatment prior to the superficial discharge of water (Suematsu, 2010). In addition, in the latest reports UN and WHO, almost 2 billion people use contaminated water every day, mainly due to feces, which poses a risk to global health. In this sense, an underwater outfall is a conduit for discharges of urban or industrial origin to the sea in a certain distance from the coast. Therefore, it is currently essential to have modeling tools that allow predicting and managing possible risks to public health. At the end of 2014 Delft3D introduced a coliform water quality model (Deltares, 2014), because it proposes a great utility to be used as a modeling tool in discharges of sewage affluents either in rivers or those that use an underwater outfall. This modeling tool was used, using information collected from the submarine outfall of Mar del Plata (Argentina) and environmental laws, to generate calibration scenarios and critical dumping scenarios based on the study of tides, winds, environmental parameters, and discharge for evaluate possible involvement of *E. coli* in nearby beaches.

The main objective of the submarine outfalls is to minimize the impact that the discharge of wastewater into the sea can have, which is the same, to ensure a good dilution so that the mixture of wastewater and seawater does not alter in any way the natural aspect and be innocuous for the marine ecosystem, for the coast and for the health of human beings. (Pan-American Center for Sanitary Engineering (CEPIS), 2000). The particular objectives of this work have been: (i) To identify the parameters used by the tool, the operation of the D-Waq tool, emphasizing the model and the method it uses; (ii) To reproduce calibration events of design and modeling parameters, taking into account discharge laws, quality standards, etc.; (iii) To use the D-Waq tool to assess and evaluate events that may affect nearby beaches, exceeding the quality standards of *E. coli*.

The model D-WAQ was used, which uses a pollutant dispersion model, from the oceanic hydrodynamics produced by the waves (wind), tide, resolving with the FLOW model the Navier Stokes equations, and taking into account the turbulence and the roughness of the environment. With the hydrodynamics resolved it has been possible to generate a discharge of

E. coli, considering flow rates and concentrations. The dispersion quill in the far field has been evaluated taking into account the salinity of the environment, the solar radiation and the rate of decay of the temperature, and using the Mancini model (1978). Critical events have occurred to evaluate water quality parameters in bathing areas.

In this work, information was collected on the specifications and construction of the submarine outfall of Mar del Plata, which took into account the discharge of total fecal coliforms, but did not specifically have the modeling and design of the Escherichia Coli discharge, that despite being within the group of total fecal coliforms, has a lower decay rate, according to the Mancini model (1978). Therefore, in order to use the D-WAQ, information was collected and different parameters were calibrated (salinity, temperature, radiation, tide, wind, submarine current, etc.), from this investigation, 5 critical scenarios were found:

Scenario 1: On 9/7/1996 strong swell was recorded with an average wind speed of 80 km / h from the north, with average discharge flow of $6\text{m}^3/\text{s}$. (Critical).

Scenario 2: During 20/7/1996 strong winds were recorded with an average speed of 70 km / h from the south, with average discharge flow of $6\text{m}^3/\text{s}$. (Critical).

Scenario 3: Average conditions: typical tide, typical swell, with average discharge flow of $6\text{m}^3/\text{s}$. (Typical).

Scenario 4: Maximum wind recorded directly towards coast , with maximum discharge allowed $6\text{m}^3/\text{s}$ and maxim $9\text{m}^3/\text{s}$. (Critical).

Scenario 5: Critical wind event of $7.4\text{m} / \text{s}$ with 67° . With the typical tide ($6\text{m}^3/\text{s}$), average and maximum discharge conditions $9\text{m}^3/\text{s}$.

The results obtained have shown a great dependence on the E. coli spot to the wind, prevailing over the typical local current. Therefore, the scenarios depend basically on the discharge levels and the possible local winds.

Scenarios 1 and 2 have allowed us to compare results with those of the tender specifications and construction of the submarine outfall, generating great agreement. On the other hand, the outfall has average flow rates of $6\text{m}^3 / \text{s}$, if said discharges are within the permitted limits of $1\text{E} + 12 \text{NMP} / \text{m}^3$.

Scenario 3, promotes a zone of stable dissolution far from the coast. Scenario 4 would be a risk as long as the wind stayed 2 continuous days and due to the variation of typical winds, this would be unfeasible. And, Scenario 5, it is not close enough to be considered a danger.

On the other hand, when increasing the maximum discharge ($9\text{m}^3 / \text{s}$) in the 5 scenarios, it also did not show any damage to public health. At the same time, it is highlighted that through the current wave and wind prediction models, D-waq is a powerful tool for prediction and decision making.

DEDICATORIA

Primero quiero agradecer a Dios, a la vida y a mi familia por apoyarme este largo viaje que decidí realizar.

El viaje fue más largo de lo pensado, viaje más de lo pensado, viví más soledad lo pensado, se gastó más dinero de pensado... el estudio fue más difícil de lo pensado...y tal vez sea lo más difícil que he afrontado en mi vida. Y tal vez esos momentos hagan que esto valga la pena.

Quisiera agradecer a la Universidad Nacional de Córdoba por aceptarme en la maestría y darme la oportunidad de aprender y realizar este sueño.

A todos y cada uno de los profesores que tuve...mil gracias por compartir su conocimiento.

A todos los integrantes del Laboratorio de Hidráulica, gracias por acogerme y hacerme sentir uno más de sus integrantes...

Gracias a este viaje conocí personas maravillosas y que me ayudaron en los momentos más difíciles como Anita, Polo, Guillen, Pipa, Matti, Tommy, El guate.... Siempre los llevare en mi corazón.

A Paolo, solo tengo palabras de agradecimiento... mil gracias, siempre recordare cada consejo y regaño que me dio.

A Anita, infinitas gracias, por permitir que esta amistad permanezca a pesar de la distancia.

A mi sobrino Nicolás Gómez, que esto sea una muestra que los sueños se pueden cumplir...

A mi amada Mónica ... mil gracias por tus palabras de apoyo y por creer en mí.

A Polo, gracias por ofrecerme tu ayuda, amistad y apoyo sin ni siquiera conocerme.

A Guate, gracias por las chelas y tus pavadas.

A mi tío Uriel, a mi tía Rosa, a mi abuela, a Diana y mi primo Uriel. Mil gracias por su apoyo en la distancia.

Este sueño, este viaje no lo hubiera podido lograr sin el apoyo de mi familia... este logro y este triunfo fue gracias a ustedes... pase lo que pase, siempre estarán conmigo hasta el último día y respiro.

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	13
2. OBJETIVOS	16
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	16
3. METODOLOGÍA.....	18
4. ZONA DE ESTUDIO.....	20
5. ANTECEDENTES	22
5.1. Definición de emisario:.....	22
5.2. Factores físicos y ambientales del emisario.....	23
5.2.1. Ubicación del emisario submarino	23
5.2.2. Profundidad de la descarga.....	24
5.2.3 Longitud del emisario	25
5.2.4 Dilución inicial y difusores.....	26
5.2.5 Número y tamaño difusores.....	26
5.2.6 Tipos de difusores.....	27
5.2.7 Corrientes marinas	29
5.3 Características de las aguas costeras.....	30
5.3.1 Estratificación de la densidad	31
5.3.2 Mareas y corrientes marinas	31
5.3.3. Corrientes oceánicas	32
5.3.4. Corrientes Litorales (Por oleaje).....	33
5.3.5 Corrientes de densidad.....	33
5.3.6 Corrientes locales	34
5.3.7 Purificación natural (límite de descontaminación)	34
5.4 Aguas Residuales (AR).....	36
5.4.1 Caracterización de los líquidos cloacales	36
5.4.2 El líquido cloacal: características según su origen	37
5.4.3 Caracterización bacteriológica.....	38
5.4.4 Caracterización físico-química del agua.....	38
5.5 Vertidos de AR en Latinoamérica y el caribe	39
5.6 Coliformes como indicador de calidad de agua.....	42
5.7 Afectación por coliformes en américa latina	43
5.8 Legislación sobre aguas residuales	44

5.9 Legislación Argentina sobre afluentes.....	44
5.10 Problemática en Mar del Plata:.....	46
5.11 Fenómenos físicos en un emisario submarino (campo cercano y campo lejano).....	49
6. MODELOS EMPLEADOS.....	56
6.1 Modelo Flow (hidrodinámica).....	56
6.2 Modelo D-Waq (calidad de agua).....	60
6.2.1 Ecuación de advección-difusión-reacción en D-Waq.....	60
6.2.2 Discretización en las ecuaciones D-Waq.....	64
6.2.3 Criterio de estabilidad.....	64
6.2.4 Discretización numérica en transporte y difusión.....	65
6.2.5 Modelo de decaimiento bacteriano D-Waq.....	67
6.2.6 Modelo de Mancini.....	67
6.2.7 Implementación del modelo Mancini en D-Waq.....	69
6.2.8 Pasos de tiempo – Numero de Courant y Numero de Péclet.....	71
7. DATOS UTILIZADOS.....	74
7.1 Radiación solar en la zona.....	74
7.2 Perfiles de temperatura y salinidad.....	75
7.3 Vientos críticos y típicos registrados en la zona.....	75
7.4 Corriente Litoral.....	78
7.4 Marea en Mar del Plata.....	80
7.5 Suelo marino (geomorfología y mineralogía) y n de Manning:.....	82
8. DISEÑO DEL MODELO.....	87
8.1 Dominio de la malla de cálculo.....	87
8.2 Calibración.....	88
8.2.1 Calibración de la Hidrodinámica (malla N°1).....	88
8.2.2 Calibración de la Hidrodinámica (malla 2).....	89
8.2.3 Calibración de la Hidrodinámica (malla 3).....	90
8.2.4 Paso de tiempo y estabilidad.....	92
8.3 Resumen de datos del modelo.....	96
9. DEFINICIÓN ESCENARIOS DE SIMULACIÓN.....	98
9.1.1 Diseño: Caso 1.....	98
9.1.2 Diseño: Caso 2.....	99
9.1.3 Diseño: Caso 3.....	100
9.1.4 Diseño: Caso 4.....	101
9.1.5 Diseño: Caso 5.....	102
10. Resultados.....	105

10.1 Hidrodinámica	105
10.1.1 Hidrodinámica: Caso 1	105
10.1.2 Hidrodinámica: Caso 2	107
10.1.3 Hidrodinámica: Caso 3	108
10.1.4 Hidrodinámica: Caso 4	112
10.1.5 Hidrodinámica: Caso 5:.....	114
10.2 Resultados de dispersión:.....	116
10.2.1 Dispersión: Caso 1	116
10.2.2 Dispersión: Caso 2	117
10.2.3 Dispersión: Caso 3	118
10.2.4 Dispersión: Caso 4	121
10.2.5 Dispersión: Caso 5	123
10.3 RESUMEN DE RESULTADOS	124
11. CONCLUSIONES.....	127
Bibliografía.....	131

Índice de ilustraciones

<i>Ilustración 1: Google (2016). [Mapa de Mar del Plata - Zona de estudio]. Adaptado de google maps, el 3 de octubre de 2016, de: https://www.google.com.co/maps.....</i>	<i>20</i>
<i>Ilustración 2: Campo ascendente y sumergido de aguas negras en agua marina. (CEPIS, 2000).</i>	<i>24</i>
<i>Ilustración 3: Diseño típico en la longitud del emisario submarino - Tomado del anexo 1 (CEPIS, 2000)</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 4. Blogplastics, (2016). Tipos de difusores. Superior: Tipo pico de pato- difusor simple. Abajo: Venturi- doble. Tomado de: http://blogplastics.com/wp-content</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 5: Configuración de difusores. Emisario de Mar del Plata (Halcrow, 2008).</i>	<i>29</i>
<i>Ilustración 6: Afectación de la corriente marina a la pluma de descarga .(CEPIS, 2000).</i>	<i>30</i>
<i>. Ilustración 7: Geomorfología 4º Eso (2016).Mapa de corrientes marinas; Recuperado el 10 de octubre, de http://geomorfologia4escol.blogspot.com.ar.....</i>	<i>32</i>
<i>Ilustración 8: MetEd (2016) Corriente por oleaje. Recuperado el 10 de octubre de 2016, de www.meted.ucar.edu.....</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 9: MetEd (2016). Corrientes por densidad. Recuperado 10 de octubre de 2016 de www.meted.ucar.edu.....</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 10: MetEd (2016). Corrientes locales de viento. Recuperado 10 de octubre de 2016 de, www.meted.ucar.edu.....</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 11: Composición típica del agua residual.</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 12: World Resorce Institute (2016). Población costera y degradación del litoral. Recuperado el 20 de octubre de 2016, de https://www.wri.org.</i>	<i>40</i>
<i>. Ilustración 13: World resorce institute (2016). Áreas costeras eutróficas y con poco oxígeno. Recuperado el 20 de octubre de 2016, de https://www.wri.org/.....</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 14: Foto satelital- Google Earth (2009). Playa las Delicias en Mar del Plata- Mancha de contaminación. Recuperado septiembre de 2009</i>	<i>46</i>
<i>Ilustración 15: :, Veysiére, I. (2015, junio 23) [Ignacio Dignani Veysiére]. Vertido de aguas negras en mar del Plata). [Archivo de video]. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=Xylx6dfQttA</i>	<i>47</i>
<i>Ilustración 16: Labaronnie, F [FERNANDO LABARONNIE]. (2014, abril 27). Contaminación costera en la ciudad de Mar del Plata. [Archivo de video]. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=ZxCgtayMS3k.....</i>	<i>47</i>
<i>Ilustración 17: Feickmann, L [Lucas Frickmann].(2013, diciembre 2) Contaminación del litoral marítimo de la ciudad de Mar del Plata. Causas y consecuencias. [Archivo d video]. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=cFBZ-tVka5M</i>	<i>47</i>
<i>Ilustración 18: Di, M. [Maria Cristina Di Croce].(2013, enero 13). Mar del Plata desperdicios, sin control. [Archivo de video]. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=ZrdcNd_j0M</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 19: Anónimo. [mardelplatabasecero]. (2009, diciembre 4). Contaminación en Playa las Delicias. [Archivo de video]. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=K81t70V0m_g</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 20: Google (2019). Generado por Google My maps. Ubicación de puntos de descarga cloacal directo a playa, antes de entrar en funcionamiento el emisario submarino.</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 21: Gráfico de OSSE- Posterior a la puesta en marcha del emisario submarino. (Periódico virtual Zona 54, 2016).....</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 22: Difusión molecular- tomado YouTube - Luisa Lozano 2015.....</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 23: Mecanismos que gobiernan el proceso de mezcla en un emisario submarino. (Metroagua, 2010)</i>	<i>52</i>
<i>Ilustración 24: Esquema de dispersión en campo cercano (Zorrilla, 2014).</i>	<i>52</i>
<i>Ilustración 25: Definición de profundidad - Delft (2012)</i>	<i>57</i>
<i>Ilustración 26: Modelo Z- Discretización (Delft 2012)</i>	<i>58</i>
<i>Ilustración 27: Ejemplo discretización espacial 3D (Delft 2012).....</i>	<i>61</i>
<i>Ilustración 28: Modelado en 1-D en estuario (Delft 2012)</i>	<i>61</i>
<i>Ilustración 29: Valores K_b para virus y bacterias. (Mueller & Thoman, 1987).....</i>	<i>68</i>
<i>Ilustración 30: Variación de la radiación solar respecto a la profundidad. (Delft 3D, 2012).</i>	<i>70</i>
<i>Ilustración 31: Medidas con correntómetro en Mar del plata. Julio – Septiembre de 1996. (UNdMDP, 1999) ...</i>	<i>76</i>
<i>Ilustración 32: Porcentaje de frecuencias de viento en 1998. en la ciudad de Mar del plata (Halcrow, 2008)....</i>	<i>77</i>

<i>Ilustración 33: Estadística de vientos registradas en 30 años (1961-1990). Frecuencias y velocidades (Halcrow, 2008).</i>	78
<i>Ilustración 34: Estadística de direcciones de viento y velocidades sobre una frecuencia de mil. (Halcrow, 2008).</i>	78
<i>Ilustración 35: Suelo marino georreferenciado (Obras sanitarias Mar del Plata sociedad de estado OSSE, 1998)</i>	84
<i>Ilustración 36: Malla N°1 – Dimensionamiento del Grid 98 x 50.</i>	87
<i>Ilustración 37: Malla N°2 - Dimensionamiento del Grid 190 x 146.</i>	89
<i>Ilustración 38: Malla N°3 – Dimensionamiento del Grid 488 x 245.</i>	91
<i>Ilustración 39: Rango posible del coeficiente de dispersión. (Deltares, 2013).</i>	93
<i>Ilustración 40: Descarga Plumes 3D (izquierda) - Campo de velocidades en m/s (derecha), corriente máxima hacia el Sur 09-07-1996 . (UNMdP, 1998)</i>	93
<i>Ilustración 41: Calibración coeficiente de dispersión. Izquierda simulación Plumes 3d (UNMdP, 1998) - Derecha resultados Delft</i>	95
<i>Ilustración 42: Caso 1 - Hidrodinámica superficial con 80km/h del norte - 6h de simulación.</i>	105
<i>Ilustración 43: Caso 1 al cabo de 30h de simulación</i>	106
<i>Ilustración 44: Caso 2- hidrodinámica al cabo de 30h.</i>	107
<i>Ilustración 45: Caso 3- 10h de simulación.</i>	108
<i>Ilustración 46: Caso 3 - 14 h de simulación.</i>	109
<i>Ilustración 47: Caso 3 al cabo de 16h</i>	110
<i>Ilustración 48: Caso 3 al cabo de 21:50h de simulación.</i>	111
<i>Ilustración 49: Caso 3 al cabo de 23:50 h de simulación.</i>	112
<i>Ilustración 50: Caso 4 al cabo de 10h de simulación.</i>	113
<i>Ilustración 51: Caso 4 al cabo de 48h de simulación</i>	114
<i>Ilustración 52: Caso 5 - 6h de simulación.</i>	115
<i>Ilustración 53: Caso 1 al cabo de 9 horas de descarga.</i>	116
<i>Ilustración 54: Caso 2 al cabo de 12 horas de descarga.</i>	117
<i>Ilustración 55: Caso 3 al cabo de 10h de descarga.</i>	118
<i>Ilustración 56: Caso 3 al cabo de 16 h de descarga.</i>	119
<i>Ilustración 57: Caso 3 al cabo de 21 h de simulación.</i>	120
<i>Ilustración 58: Caso 3 al cabo de 23h de simulación</i>	121
<i>Ilustración 59: Caso 4 al cabo de 6h</i>	122
<i>Ilustración 60: Caso 4 al cabo de 24h. de simulación.</i>	122
<i>Ilustración 61: Caso 5 al cabo de 12h de simulación</i>	123
<i>Ilustración 62: Optimización núcleos para simulación de Delft 3D</i>	129

Índice de tablas

<i>Tabla 1: Calidad del agua.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 2: Parámetros microbiológicos estipulados por la Unión Europea. Directiva 2006/7/CE (2006)......</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 3: Límite para la descarga de efluentes cloacales en la provincia de Buenos aires (argentina)......</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 4: Ubicación y diseño de emisarios submarinos.(Cepis,2000)</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 5: Variables, características, unidades y rangos que utiliza D-Waq.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 6: Radiación en Mar del plata (CIHE, 2015)......</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 7: Estructura de la columna de agua en época de verano . (Halcrow, 2008).</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 8: Estructura de la columna de agua en época de invierno. (Halcrow, 2008).</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 9: Condiciones medias de viento (UNdMDP, 1999)</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 10: Categoría de viento y cuadrante. (UNdMDP, 1999)</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 11: Predicción de marea 2006- Servicio de Hidrografía Naval</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 12: Predicción de marea 2007- Servicio de Hidrografía Naval</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 13: Periodos de retorno para altura significativa de ola - aguas profundas - todas las direcciones. (UNC, 2004)</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 14: Periodos de retorno para altura significativa de ola- olas locales (SEA) -sector rompeolas a 10m - todas las direcciones. (UNC, 2004)</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 15: Periodos de retorno para altura significativa de ola-olas oceánicas (Swell) - sector rompeolas a 10m - todas las direcciones (UNC, 2004).</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 16: Periodos de retorno para altura significativa de ola-olas locales + oceánicas (SEA + Swell) - sector rompeolas a 10m - todas las direcciones (UNC, 2004)</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 17: Valores tomados de la simulación Plumes 3D</i>	<i>94</i>
<i>Tabla 18: Simulaciones realizadas para encontrar el valor Dx, Dy.....</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 19: Tabla resumen de valores adoptados.....</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 20: Resumen de escenarios simulados</i>	<i>98</i>
<i>Tabla 21: Parámetros caso 1</i>	<i>99</i>
<i>Tabla 22: Parámetros caso 2</i>	<i>100</i>
<i>Tabla 23: Parámetros caso 3</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 24: Parámetros caso 4</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 25: Parámetros caso 5</i>	<i>103</i>
<i>Tabla 26: Área de concentración de Coliformes</i>	<i>124</i>
<i>Tabla 27: Distancia vs Concentración 1E6 NMP.....</i>	<i>128</i>



1. INTRODUCCIÓN.

1. INTRODUCCIÓN.

La tesis a desarrollar “DISEÑO Y MODELACIÓN DE DESCARGA DE COLIFORMES FECALES A TRAVÉS DE UN EMISARIO SUBMARINO” está enfocada en una investigación que permita determinar la utilidad del software D-Waq para el estudio de la dispersión de contaminantes procedentes del emisario submarino de Mar del Plata en el medio marino.

En la actualidad existe un problema de sanidad en ciudades costeras, ya que el mar siempre fue una fuente receptora de residuos cloacales sin previo tratamiento, generando enfermedades, muerte y daños ambientales entre otros. En ese sentido, se hace pertinente la utilización de un emisario submarino, el cual permita que las descargas cloacales tengan un proceso de dilución; los cuales mediante un proceso natural, aeróbico y anaeróbico tienden a transformarse en compuestos más estables que, finalmente, a través del reino vegetal, son reintegrados al ciclo vital.

Ahora bien, esta transformación que se realiza en el ciclo natural en las aguas marinas, se ve interrumpida por el exceso de residuos ocasionados por el mal manejo de las aguas residuales, generando una progresiva degradación en el cuerpo receptor, donde los efectos más notables son la reducción del nivel de O_2 disuelto hasta niveles en los cuales no es posible el desarrollo de vida acuática, aumenta enfermedades de piel, del sistema digestivo y afecciones en el sistema respiratorio en los pobladores y turistas.

Lo más resaltante de los coliformes, es que se ha convertido en un indicador de calidad del agua, hablando de aguas residuales, debido a que son unas bacterias propias de la materia fecal; en ese sentido, conocer los niveles permitidos o simplemente tolerables, posibilita establecer zonas de mar que no afecten directamente a las poblaciones ribereñas, disminuyendo las causantes de enfermedades de tipo bacterial.

Es importante considerar la legislación existente en torno a los límites permitidos de efluentes cloacales, ya que esto permite que el diseño y la modelación de las descargas de los emisarios cumplan con los parámetros actuales para la conservación ambiental. En la actualidad existe una variedad de softwares que modelan la dispersión de coliformes en mar abierto, favoreciendo los estudios previos a la construcción de emisarios.

Recordando que un modelo busca una representación de la realidad, el software D-Waq efectúa la modelación de coliformes teniendo en cuenta la hidrodinámica del lugar, niveles de descarga y valores propios del medio receptor y calcula la pluma de dispersión en el campo lejano para determinar la posible afectación de aguas contaminadas en playas cercanas.

En ese sentido se decide utilizar como herramienta de modelación, el software Delft 3D, ya que desde el 2012 Delft 3D lanza dentro su paquete de software un módulo para análisis de calidad de agua (D-Waq), lo que permite generar descargas de coliformes fecales y específicamente evaluar la afectación por la bacteria E. Coli. D-Waq, se basa en el modelo del decaimiento bacterial de Mancini; en este modelo se desarrolla una relación que puede ser

utilizada para generar una estimación de las tasas de mortalidad de coliformes en los cuerpos de agua receptoras. La tasa de mortalidad puede incluir los efectos individuales de temperatura, salinidad del agua, la radiación solar y el coeficiente de extinción de la luz.

Mar del Plata, por sus condiciones ambientales, ubicación geográfica, importancia turística y por tener el primer emisario submarino de Argentina, se constituye en un escenario propicio para probar el modelo D-Waq de descarga de coliformes, y así determinar posible contaminación en sus playas, evitando la propagación de enfermedades de tipo bacteriano.



2. OBJETIVOS.

2. OBJETIVOS

Para alcanzar el objetivo general, se propusieron varios objetivos específicos los cuales se desglosan a continuación.

2.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo de esta tesis es “DISEÑAR Y MODELAR LA DESCARGA DE COLIFORMES FECALES DEL EMISARIO SUBMARINO DE MAR DEL PLATA”.

Se desarrolla un panorama ambiental costero, presentando el uso de emisores submarinos como un método eficiente en la dilución de afluentes cloacales en las ciudades costeras, además se enfoca en las características de las aguas residuales e indicadores de calidad del agua para resaltar la importancia de evaluar la dispersión de coliformes fecales y de la bacteria E. Coli.

Se llega a un diseño y modelación mediante la descripción de los modelos hidrodinámicos y de transporte utilizando software DELFT3D en particular el D-WAQ como herramienta de evaluación ambiental del emisario submarino de Mar del Plata.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Hacer un análisis general del por qué se utiliza un emisario submarino como medida de saneamiento estructural en ciudades costeras.
- Obtener información que permita encontrar registros y datos de perfiles de salinidad, radiación solar, temperatura, vientos, corrientes, topografía y localización, las cuales son variables indiscutibles para la modelación.
- Identificar los parámetros que utiliza la herramienta D-Waq, haciendo énfasis en los sub-modelos que utiliza.
- Utilizar la herramienta D-Waq para determinar el campo lejano en posibles eventos de afectación de playas cercana al emisario de Mar del Plata.
- Calibrar el modelo para el caso de una dispersión de coliformes en Mar del Plata.
- Construir escenarios de dispersión con condiciones ambientales típicas y desfavorables para verificar el diseño actual del emisario.



3. METODOLOGÍA.

3. METODOLOGÍA

A continuación, se describe la metodología empleada en el desarrollo de la presente investigación:

- 1) Revisión de antecedentes sobre emisarios submarinos
- 2) Recopilación y análisis de la legislación pertinente.
- 3) Recopilación de datos y de información relevante específicamente del emisario submarino de Mar del Plata.
- 4) Simulaciones de prueba en el software D-Waq.
- 5) Determinar las variables a calibrar y cómo llevar a cabo la calibración.
- 6) Diseñar posibles escenarios tanto críticos como típicos y realizar las simulaciones respectivas.
- 7) Obtención de resultados.
- 8) Conclusiones.

Se utilizó el modelo D-WAQ, para determinar la dispersión de contaminantes, a partir de la hidrodinámica oceánica producida por el oleaje, corrientes de viento y la marea, resolviendo con el modelo FLOW las ecuaciones de Navier Stokes, vinculando la turbulencia y la rugosidad del medio. Con la hidrodinámica resuelta se ha podido generar una descarga de E. Coli, teniendo en cuenta caudales y concentraciones máxima y media.

Se identifica la dispersión en el campo lejano con D-Waq, teniendo en cuenta la salinidad del medio, la radiación solar y la tasa de decaimiento de la temperatura, y utilizando el modelo de Mancini (1978). Se han producido los eventos críticos para evaluar los parámetros de calidad de agua en zonas de baño.

Se hace uso de la información obtenida en el pliego licitatorio y de construcción del Emisario Submarino de Mar del Plata, ya que éste cuenta con datos fundamentales, recolectados a través de campañas de medición realizadas por la Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMdP) en relación a la salinidad, temperatura, marea, viento, corriente submarina, etc.; datos fundamentales que necesita la herramienta D-WAQ para modelar descargas de coliformes fecales.

Además, se realiza una previa revisión de la legislación internacional y Argentina con respecto a los niveles de descarga, y en torno a la utilización de emisarios en América Latina y el mundo como medida eficiente de solución a problemas de sanidad costera.



4. ZONA DE ESTUDIO.



4. ZONA DE ESTUDIO

Mar del Plata, es una ciudad argentina a orillas del océano atlántico y es considerado el principal centro turístico y balneario; fue fundada en 1874 y se encuentra a 404 km al sur de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

La ciudad de Mar del Plata, es cabecera del partido de General Pueyrredon, Tiene una superficie de 1.453,44 Km², de las cuales el ejido urbano de Mar del Plata ocupa 79,48 km², con 39,2 km de costa marítima. Su ubicación geográfica es 38°01'00"S y 57°31'00"O en el Mar Argentino. La temperatura media en invierno es de 12 °C a 14 °C y en verano es de 23 °C a 27 °C.

El número de habitantes de la ciudad creció exponencialmente en las últimas décadas. Lógicamente aumentó la generación de aguas residuales de la ciudad; la planta depuradora no daba abasto, afectando las playas ubicadas al sur principalmente. Este fue un problema ambiental que afecto el turismo y salud pública durante muchos años.

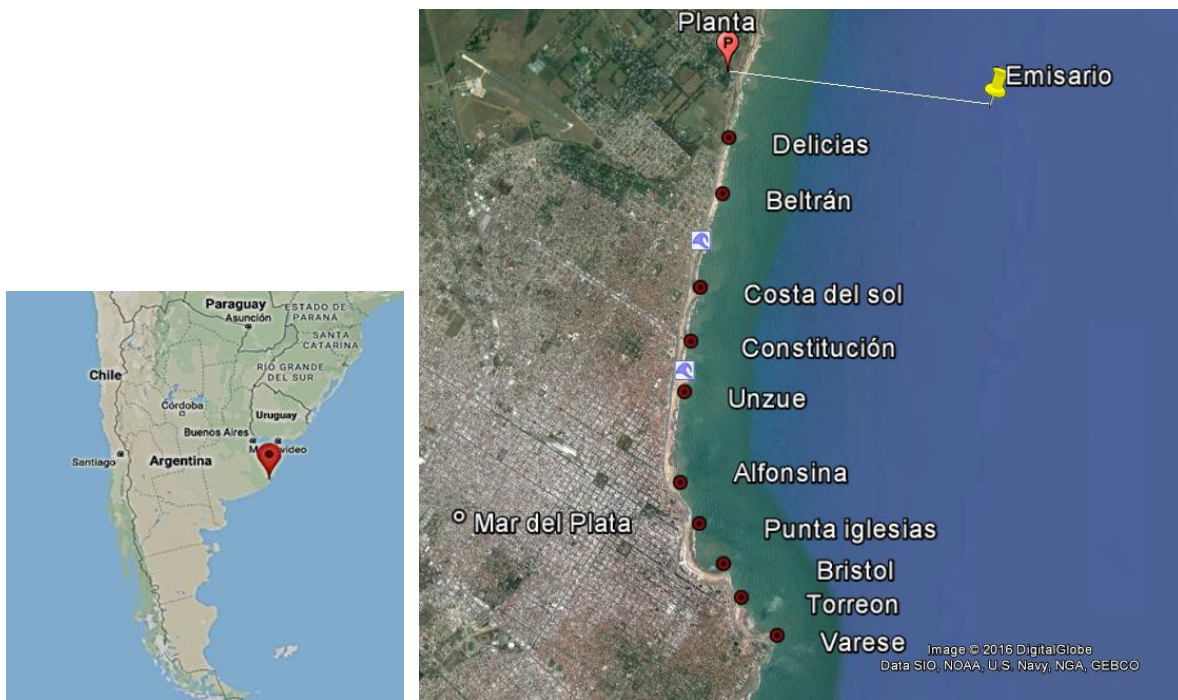


Ilustración 1: Google (2016). [Mapa de Mar del Plata - Zona de estudio]. Adaptado de google maps, el 3 de octubre de 2016, de: <https://www.google.com.co/maps>

En diciembre de 2014 entra en funcionamiento, el primer emisario submarino de la Argentina, surge como un sistema de contención y depuración de los desechos de la creciente demografía de la urbe. Este sistema plantea una conducción submarina que permite un proceso de dilución lejos de la costa y así no afectar las zonas de baño que tiene la ciudad. La zona de estudio está limitada a la posible influencia del emisario a zonas de recreación y uso turístico en Mar del Plata. (Ilustración 1)

Actualmente, Mar del Plata cuenta con una cobertura de cloacas superior al 95% de la población.



5. ANTECEDENTES.

5. ANTECEDENTES

Se realizó una revisión bibliográfica a través de textos impresos e información en Internet, donde se analizaron y recopilaron datos importantes para esta tesis. La mayoría de datos recopilados se encontraron en la biblioteca del Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Nacional de Córdoba. (Ver anexo 1).

Los siguientes son los datos de mayor relevancia revisado:

- Batimetría
- n de Manning
- Temperatura del Mar en verano e invierno
- Salinidad del medio marino en verano e invierno
- Caudales de descarga del emisario
- Ubicación
- Legislación en vertidos.
- Análisis del aumento poblacional e importancia turística de Mar del Plata
- Algunas simulaciones hechas con software Plumes 3D

Además, se tuvieron en cuenta datos de viento recolectados en diversas campañas, antecedentes encontrados hasta esa fecha y análisis de vientos típicos y críticos en la ubicación del emisario.

5.1. Definición de emisario:

La definición de *Emisario* puede sustentarse desde dos puntos de vista, una del Centro Panamericano De Ingeniería Sanitaria (CEPIS, 2000), y otra de la Operadora de Servicios Sanitarios Chilena ESSEBIO (ESSEBIO, 1995).

Un emisario submarino es una conducción para realizar vertidos de origen urbano o industrial en el mar a cierta distancia de la costa. El principal objetivo de los emisarios submarinos es minimizar el impacto que puede tener el vertido de aguas residuales al mar o lo que es lo mismo, garantizar una buena dilución de manera que la mezcla de aguas residuales y agua de mar no altere de forma alguna el aspecto natural y sea inocua para el ecosistema marino, para el litoral y para la salud de los seres humanos. (CEPIS, 2000)

A su vez afirma lo siguiente:

“La descarga de aguas residuales al mar por medio de Emisarios Submarinos y sistemas de difusores, representan una alternativa viable para las ciudades costeras, especialmente en países en vía de desarrollo con recursos financieros limitados. Estos sistemas pueden aprovechar al máximo la capacidad natural de asimilación del mar, que funciona como una Planta de Tratamiento sin producir ningún impacto indeseable en las aguas marinas.”

“La alternativa del emisario submarino con pretratamiento es un método de disposición más atractivo con relación al tratamiento secundario con disposición cercana a la costa, en

términos de confiabilidad, eficiencia, costo y de bajos requerimientos de operación y mantenimiento.”

“Existe resultado de monitoreo de emisarios funcionando por más de 30 años con resultados satisfactorios.”

“El mar es capaz de asimilar, diluir y hasta desinfectar en forma natural los residuos biodegradables, en óptimas condiciones de mezcla, aireación y sedimentación”

ESSEBIO de Chile afirma que:

“Los niveles de eficiencia técnica, económica y ambiental mostrados (en sus experiencias) permiten afirmar que un emisario submarino bien diseñado cumple con todos los requisitos a un eficaz y verdadero tratamiento” (ESSEBIO, 1995).

“El emisario submarino es, desde el punto de vista técnico, una de las soluciones de disposición y tratamiento de aguas servidas más sencilla, por ello menos sometido a fallas, lo que da garantías en la operación del sistema”. (ESSEBIO, 1995).

En conclusión, se puede definir como una conducción a mar abierto, donde las bacterias del agua residual urbana pre tratada, entran a un ambiente hostil por medio de difusores y sufren un decaimiento, lo cual permite una buena dilución. Esta opción, desde un punto de vista ingenieril es una solución viable y económica en los países sub desarrollados y desarrollados que deseen dar solución cloacal a las ciudades costeras; siempre y en cuando se tenga en cuenta factores ambientales, que no afecten la salud de sus ciudadanos.

5.2. Factores físicos y ambientales del emisario

Uno de los factores más importante a considerar es el impacto ambiental de los sistemas de disposición marina, incorporando un emisario submarino. Donde sea factible, el emisario, debe localizarse en un área de mínima sensibilidad ambiental, lejos de zonas de baño, en mar abierto en vez de en un estuario o bahía, teniendo en cuenta su longitud, profundidad, dispersión inicial y corrientes marinas.

5.2.1. Ubicación del emisario submarino

Los puntos de descarga deberán seleccionarse de tal forma que eviten un impacto innecesario sobre las áreas de recreación o pesqueros.

Para determinar la ubicación del emisario en una ciudad costera, hay que tener en cuenta la red cloacal, y que esta red debe dirigir las aguas residuales a una planta de tratamiento que cuente con un sistema de bombeo, el cual permita evacuar el líquido cloacal en la zona de menor impacto para las actividades de turismo y pesca.

En sistemas grandes, si fuera factible económicamente, la descarga total debería dividirse en dos o más sistemas para evitar la concentración de los componentes de las aguas residuales en un sólo punto de descarga (CEPIS, 2000).

5.2.2. Profundidad de la descarga.

Hay que tener en cuenta que los posibles lugares de descarga, donde es posible alcanzar profundidades de 20 m o más, existe estratificación significativa en la columna de agua marina, especialmente durante los meses de verano. En donde existe suficiente estratificación de densidad, la pluma mezclada de aguas negras/agua marina no subirá a la superficie del mar, sino que permanecerá sumergida en una ubicación intermedia (CEPIS, 2000). Ilustración 2.

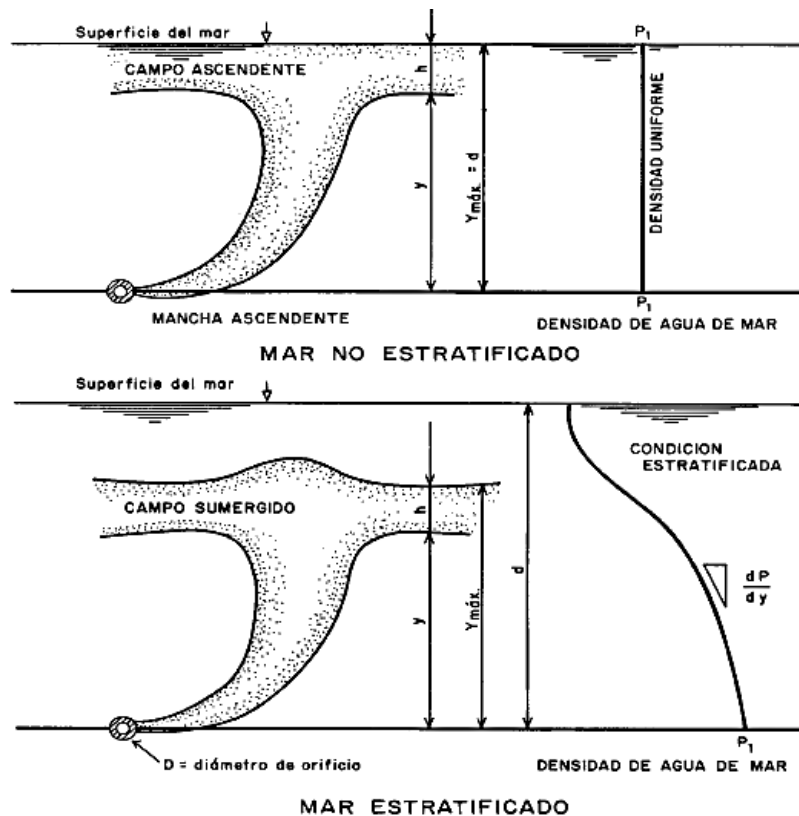


Ilustración 2: Campo ascendente y sumergido de aguas negras en agua marina. (CEPIS, 2000).

La densidad de las aguas negras (valor promedio de 0,9995) es menor que la densidad del agua marina total (valor promedio de 1,0258) y si se descargan en un ambiente marino no estratificado, subirán a la superficie para formar un campo superficial. Cuando existe estratificación, si el efluente de aguas negras menos denso es mezclado rápidamente con el agua más fría/más densa del fondo del océano, la mezcla resultante será más densa que la capa superficial.

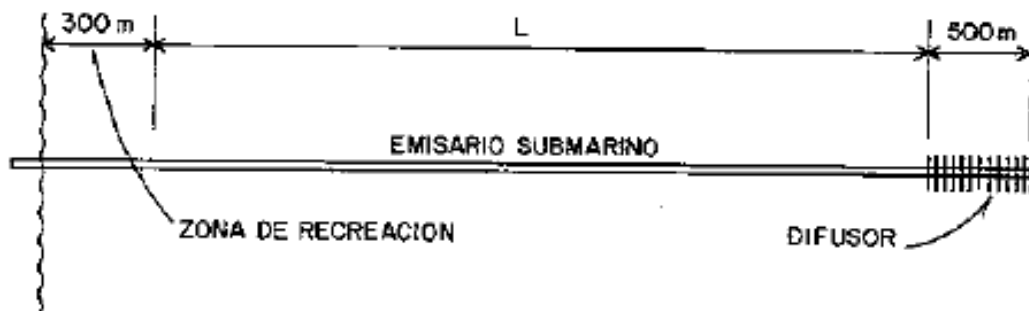
Bajo tales condiciones, en algún punto de la columna de agua marina, la mezcla de aguas negras/agua marina encontrará agua de la misma densidad y, por lo tanto, no continuará con su tendencia a ascender. Esta última condición es óptima, pues evita campos superficiales y residuos que aparecerían en la superficie sobre la sección de difusión, o quedarían sumergidos indefinidamente o por un tiempo suficiente provocando una mayor difusión debido a las corrientes marinas y, por lo tanto, concentraciones superficiales menores.

Además, algunos estudios han mostrado que cuando las materias residuales, incluyendo sustancias flotantes tales como partículas de frutas, heces, etc., se descargan a una profundidad de 20 m o más, la presión resultante modifica la materia para que no flote y sí se sedimente hacia el lecho del mar. Por lo tanto, el impacto estético de las materias residuales flotantes que no pueden ser removidas por el sistema de tratamiento no debe ser de preocupación. (CEPIS, 2000).

5.2.3 Longitud del emisario

La longitud del emisario tiene como principal objetivo alejar el proceso de dilución de la costa sin que esta dilución afecte la playa, dadas las condiciones ambientales, tales como: la hidrodinámica del medio receptor, la biocenosis del fondo y la presencia de especies estenohalinas.

La longitud del emisario se selecciona junto al tipo de difusor, para producir en combinación la dilución inicial, dispersión horizontal y la desaparición bacteriana. Sean suficientes para que el estándar de emisión del efluente y el estándar adoptado para zonas recreativas no se vean afectados.



$$\begin{aligned} \text{Longitud total del emisario} &= L + 300 \text{ m} + 500 \text{ m} \\ &= L + 800 \text{ m} \end{aligned}$$

Ilustración 3: Diseño típico en la longitud del emisario submarino - Tomado del anexo 1 (CEPIS, 2000)

En la ilustración 3 podemos observar que existe una zona de protección de 300m para bañistas. Una longitud de conducción (L) y una zona de difusión encargada de generar una zona de disolución desde la costa con difusores evitando que los residuos cloacales afecten a los bañistas.

Además, hay que tener en cuenta que la longitud del emisario depende de muchos factores de diseño; los principales son:

- Los caudales de diseño
- La estratificación del mar
- La zona posible de construcción (lecho marino)
- La corriente marina
- El oleaje

- Vientos

CEPIS también recomienda que un valor típico para la longitud del emisario es de 3000m para una ciudad costera de 10.000 habitantes, aludiendo que esta longitud puede aumentar y así adicionarle un factor de seguridad.

5.2.4 Dilución inicial y difusores

La planificación y el diseño de un sistema de disposición de aguas negras a través de difusores requieren de una especial atención debido a su gran impacto ambiental. Tiene poco sentido Construir un emisario submarino largo con un sistema de difusores deficiente ya que es esta pequeña porción del sistema de tuberías la que brinda la máxima protección al ambiente al obtener dilución inicial máxima (CEPIS, 2000).

Los difusores de emisarios submarinos constan de conductos con orificios circulares ubicados en cada lado del conducto, usualmente justo sobre el centro de la tubería. El efluente de aguas negras es descargado en chorros turbulentos circulares desde estos orificios y, siendo menos denso que el agua receptora del mar, sube hacia la superficie. En el cuerpo de agua receptor, la columna del efluente se diluye debido a su incorporación en las aguas marinas y crece en tamaño a medida que sube. Dependiendo del espacio entre orificios, de la velocidad de escape y de la profundidad del agua, los chorros pueden emerger juntos antes de llegar a la superficie o a una altura máxima de ascenso. La dilución resultante a esta altura máxima de ascenso se llama dilución inicial.

Con un diseño apropiado del difusor se pueden obtener fácilmente valores de dilución inicial de 100 a 1 y, con aguas razonablemente profundas, se pueden obtener valores aún mayores. Por ejemplo, si un efluente de aguas negras con una DBO de 100 mg/l está continuamente sujeto a dilución con agua marina en el rango de 100 a 1, la concentración de DBO (demanda biológica de oxígeno) resultante en la pluma mezclada será alrededor de 1 mg/l, lo que es equivalente a una eficiencia de tratamiento de 99%. No existe un proceso de tratamiento que pueda alcanzar consistentemente este estándar de comportamiento.

Por otro lado, se estima que las razones de dilución subsiguientes, resultantes de la turbulencia ambulante en el transcurso del transporte con corrientes marinas del campo de aguas negras diluida inicialmente, son de alrededor de 2 a 1 cuando se utilizan difusores de gran longitud. Finalmente, y esto es de máxima importancia, de todos los factores mencionados que afectan el diseño del emisario submarino, el único que está mayormente bajo el control del ingeniero es la dilución inicial. Si el difusor es diseñado y construido apropiadamente, se pueden obtener valores altos de dilución inicial y se puede producir inmersión del campo de aguas negras.

5.2.5 Número y tamaño difusores

Los difusores de pequeño diámetro y con poco espacio entre ellos, producirán valores más altos de dilución inicial que los difusores con mayor espacio entre ellos, para la misma descarga por unidad de difusor.

La longitud del difusor puede determinarse usando la solución gráfica del modelo presentado por Roberts (1979) que permite la determinación de una elevación de ascenso máxima y de dilución inicial, incluyendo los efectos de estratificación e inmersión.

Liseth (1976) determinó que se obtendrá dilución máxima cuando la separación de los orificios la razón entre la profundidad y separación esté entre 5 y 10.

Existen algunas consideraciones prácticas sobre el diámetro de los orificios. Cuando se descargan aguas residuales, que solamente pasan por rejillas gruesas, es aconsejable mantener el diámetro en 0,15m para evitar problemas de obstrucción. En sistemas que reciben efluentes primarios o secundarios ha resultado exitoso el uso de orificios de 0.05m. Cuando la descarga se hace a aguas con profundidad razonable, el diseño apropiado resultara en el que la dilución no se afecte por el diámetro, por lo cual, para aguas profundas no se recomienda diámetros mayores a 0,08 m y lógicamente el área total de los orificios no debe exceder el área total de la tubería.

5.2.6 Tipos de difusores

Los difusores están constituidos normalmente por una serie de salidas circulares, localizados en la parte final del emisario y abiertos, sobre la generatriz superior de la tubería. (Blogplastics, 2016)

Como principales funciones, los difusores tendrán que tener capacidad de descarga máxima con la menor pérdida de carga posible e impedir en lo posible la intrusión elementos marinos – como sedimentos y organismos (animales y plantas). Dichos elementos pueden reducir el caudal del emisario por acumulación en su parte final y dificultar la limpieza. Por otro lado, siempre que ocurra una disminución del caudal en el emisario, pueden ocurrir intrusiones de agua salada al interior del emisario, afectando la capacidad inicial de dilución.

Para minimizar dichos efectos, se están utilizando cada vez más, válvulas llamadas de pico de pato (duckbill valves), que están fabricadas con elastómeros reforzados con telas de nylon u poliéster, por medio de un proceso similar a los neumáticos para coches y son muy resistentes y flexibles. Su principal es garantizar una dilución eficiente y sin intrusión de agua de mar. (Ver ilustración 4).





Ilustración 4. Blogplastics, (2016). Tipos de difusores. Superior: Tipo pico de pato- difusor simple. Abajo: Venturi- doble. Tomado de: <http://blogplastics.com/wp-content>

Su principal ventaja es abrir y cerrar de modo gradual y constante, en función del aumento o disminución del caudal, garantizando una dilución eficiente y sin intrusión de agua de mar.

Además de los difusores tipo “pico de pato” se utilizan también difusores ejecutados con test reducidas de PE. Una solución más sencilla de difusores es realizar agujeros en la mitad superior del emisario para la dilución del vertido. En este caso el emisario no puede estar instalado en zanja y tendrá que estar apoyado en el fondo marino.

Las ventajas de este tipo de difusores son los reducidos costes de ejecución y el control que se puede ir haciendo a lo largo del tiempo, incrementando el número de agujeros en caso de incrementarse el caudal. El principal inconveniente es la facilidad con que se introduce el agua de mar en el emisario y consecuentemente la formación de sedimentos y organismos marinos.

Hay otros estudios donde proponen la difusión de Venturi como medida de mejora de los procesos de dilución y dispersión del vertido de salmuera, así como la reducción del impacto ambiental en el ecosistema marino.

En el emisario submarino de Mar del Plata, la configuración adoptada fue la siguiente:

- Dirección del emisario con respecto a la costa: 90° (perpendicular a la costa)
- Longitud del tramo de difusores: 526 m.
- Distancia del primer difusor hacia la costa: 3284 m.
- Altura de los difusores, respecto al fondo marino: 1,5 m.
- Número total de difusores: 130
- Tipo de difusores: Pico de pato.
- Longitud de tubería: 3820 m.
- Diámetro de tubería; 2 m.
- Tipo de cañería: Polietileno de alta densidad (PEAD) de pared sólida y resina PE-100, de 2000 mm de diámetro externo y relación SDR 26, resultando en consecuencia un espesor mínimo de 76,9 mm y un diámetro interior de 1846,2 mm.
- Disposición de los difusores: alternados (ver ilustración 5).

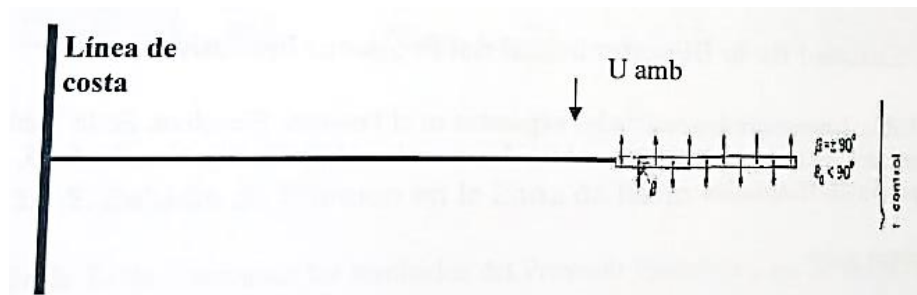


Ilustración 5: Configuración de difusores. Emisario de Mar del Plata (Halcrow, 2008).

El emisario fue diseñado con un caudal medio de 2,8 m³/seg en invierno que asciende a 3,5 m³/seg en verano. Y la instalación del Emisario Submarino está diseñada para un caudal medio de 6 m³/seg con picos de hasta 9 m³/seg. Eficiente y sustentable a una población estable de 700.000 habitantes y más de 3 millones de turistas durante la temporada estival.

5.2.7 Corrientes marinas

En la planificación y el diseño de emisarios submarinos es de extrema importancia el conocimiento completo de los regímenes de corrientes marinas. Las corrientes deben medirse en todas las estaciones del año y a varias profundidades para desarrollar la información requerida para el análisis de la circulación general costera y de la hidrodinámica, para determinar dilución inicial, incluyendo la consideración de inmersión, para la predicción de dilución y transporte de campo lejano y, en resumen, para predecir la probabilidad del impacto del campo de aguas residuales.

Las corrientes deben determinarse en varias profundidades y ubicaciones a fin de poder hacer estimados apropiados de dilución, inmersión y transporte de campo. Por ejemplo, cuando un efluente de aguas negras es descargado desde un difusor colocado en el lecho del mar, sube debido a su capacidad de flotación y se mezcla con el agua marina para formar una pluma mezclada efluente/agua marina, la misma que alcanzará su equilibrio en algún punto vertical de ascenso. Para predecir la dilución y la inmersión, debemos conocer las velocidades de las corrientes en la intersección vertical, desde el lecho marino hasta la máxima altura de ascenso. Siguiendo esta dilución inicial, la pluma mezclada será arrastrada por las corrientes existentes en el punto de máximo ascenso.

De particular importancia son los vectores de corrientes hacia la costa en la que podría imponerse el impacto sobre los usos benéficos, tales como actividades recreativas, cosecha de mariscos, etc. La longitud del emisario submarino debe ser suficiente para proporcionar el tiempo adecuado para la eliminación de posibles vectores de enfermedades que podrían estar presentes en las descargas de aguas residuales.

Las corrientes marinas deben medirse en todos los períodos significativos del año para obtener un valor apropiado de la velocidad de la corriente hacia la costa para el diseño. El correntómetro es un instrumento apto a medir la velocidad de corrientes en el mar, en los ríos, arroyos, estuarios, puertos, modelos físicos en laboratorio, etc. Existen algunos modelos que además registran su dirección, profundidad e inclinación respecto de la vertical, temperatura

de agua de mar, presión y conductividad. Su modalidad de registro puede ser papeleta inscriptora, cinta magnética o memoria.

Las corrientes pueden medirse o estimarse utilizando medidores fijos de corriente o instrumentos flotantes tales como dagas y tarjetas flotantes ("drift cards"). Para un litoral de mar abierto, donde es razonable esperar que exista coherencia espacial en el régimen de la corriente del agua, las observaciones de corrientes de un punto fijo pueden proporcionar la máxima cantidad de información, no sólo para estimar el tiempo de transporte del campo sino también para proporcionar el tipo de datos necesario para estimar la dilución inicial.

Los medidores magnéticos son preferibles a los rotores tipo Savonius, Los rotores Savonius tienen como característica que sus palas forman la figura de una "S". Son un tipo de turbina de eje vertical usada para convertir el poder del viento o corriente marina en torsión sobre un eje rotatorio, la cual logra determinar la velocidad de la corriente marina.

Debido a la influencia de las olas sobre los últimos, la cifra de la velocidad de corriente para determinar la longitud del emisario submarino es aquel valor hacia la zona a ser protegida y no debe exceder del 20% del tiempo. La razón para esto es que el estándar usual para la concentración permitida de coliformes está expresada en los mismos términos, por ejemplo, 1,000 NMP/100 ml sin sobrepasar el 20% del tiempo.

Las corrientes para estimar la dilución inicial son aquéllas que ocurren en la zona de formación de la pluma y que variarán dependiendo de la estratificación (CEPIS, 2000). ver Ilustración 6.

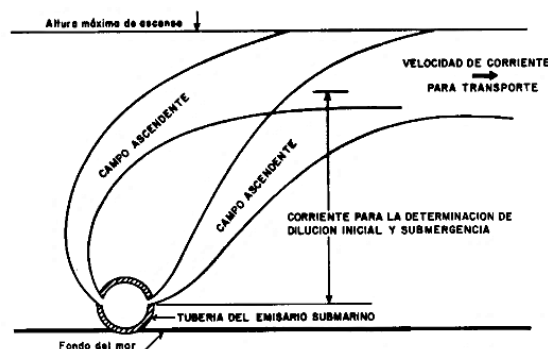


Ilustración 6: Afectación de la corriente marina a la pluma de descarga .(CEPIS, 2000).

5.3 Características de las aguas costeras

Se denomina «costa» a la franja de unión de las tierras emergidas con las sumergidas, ya sea de un continente o de una isla. Generalmente se emplea el término al hablar de bordes marinos, aunque se usa también para designar costas lacustres o fluviales (Valdés, 1948).

Las costas se constituyen en zonas de transición entre el hábitat marino y humano; en las aguas costeras se pueden encontrar sedimentos propios de la costa, como aquellos que llegan allí transportados por los ríos, interactuando la densidad del agua del río con el agua del mar. Es una zona de continua investigación ya sea para actividad portuaria, como para la evaluación de especies de reproducción en costa. Además, es una zona en la cual se produce interacción

entre los afluentes, salinidad del mar, virus, bacterias y microorganismos que pueden afectar tanto a bañistas como a especies marinas.

Como lo indica Mueller (1987), cuando un afluente llega a un receptor (por ejemplo, estuario, lagos, ríos, mar, etc.) el comportamiento de los organismos está asociado a:

- Luz del solar
- Temperatura
- Salinidad
- Depredación
- Deficiencia de nutrientes
- Asentamiento de los organismos después de la descarga
- Resuspensión de partículas asociadas con la sorción de organismos
- Crecimiento bacterial en cuerpos de agua

5.3.1 Estratificación de la densidad

La densidad de salinidad en la costa no es uniforme en toda su altura, esto es una característica de la salinidad en la costa, y esto se debe a la incorporación de agua dulce proveniente de ríos, a la diferencia de temperaturas en función de su profundidad y fuentes puntuales de contaminación. Hay una separación térmica entre lo caliente y lo frío. La salinidad superficial responde al equilibrio entre evaporación, precipitación, el aporte de corrientes y de ríos con diferentes características físico-químicas, y a los procesos de mezcla oceánica.

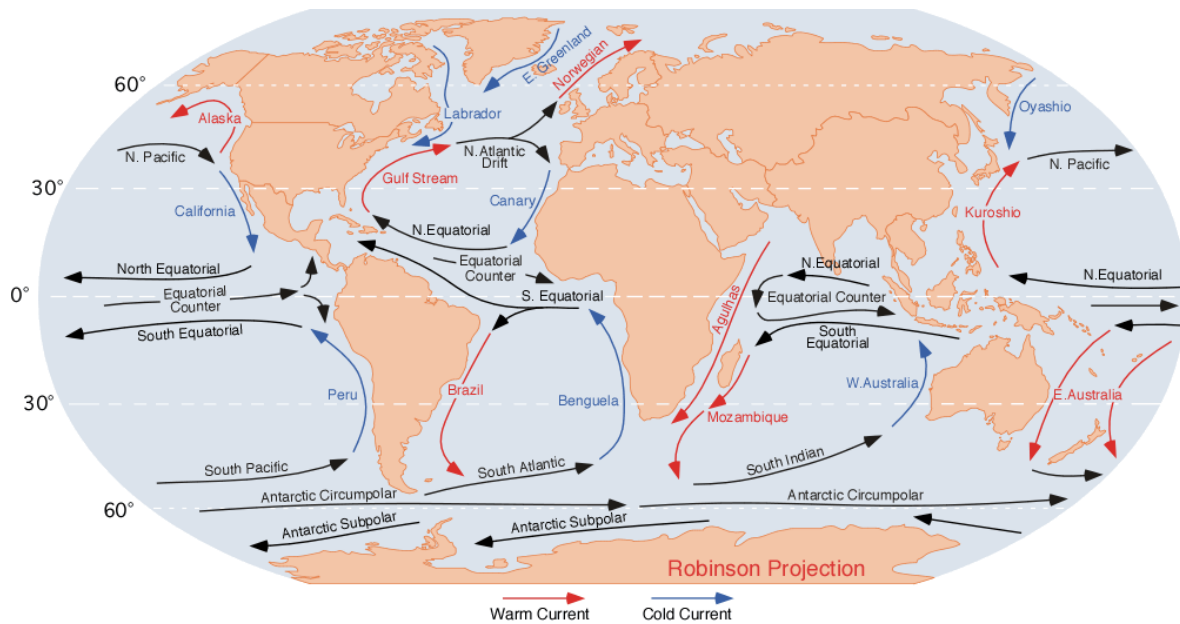
5.3.2 Mareas y corrientes marinas

Las partículas líquidas de los océanos puestas en movimiento por la acción del Sol y la Luna describen órbitas cerradas contenidas en planos verticales. El desplazamiento vertical constituye la marea, el desplazamiento horizontal, mucho más importante, es la corriente de la marea, que afecta a toda la profundidad del agua.

En alta mar la corriente tiene poca velocidad y es alternativa, dirigida en el sentido de la propagación cuando la superficie líquida está por encima del nivel medio, y viceversa. Cerca de las costas, sin embargo, el carácter de las corrientes se ve profundamente perturbado y, en algunos casos, su velocidad puede elevarse hasta los 20km/h.

Las mareas se entienden como el ascenso y descenso del nivel del mar que resulta de la atracción gravitacional de la Luna y del Sol que ejercen una acción sobre nuestro planeta, la luna sobre la tierra (incluso por otros astros). Pueden ser semiduras, diurnas, diurnas irregulares, y mareas mixtas.

A su vez, se pueden generar, corrientes por oleaje, corrientes marinas, corrientes por viento ver ilustración 7.



. Ilustración 7: Geomorfología 4º Eso (2016). Mapa de corrientes marinas; Recuperado el 10 de octubre, de <http://geomorfologia4escol.blogspot.com.ar>

Otros fenómenos ocasionales, como los vientos, las lluvias, el desborde de ríos y los tsunamis provocan variaciones del nivel del mar, también ocasionales, pero no pueden ser calificados de mareas, porque no están causados por la fuerza gravitatoria ni tienen periodicidad.

5.3.3. Corrientes oceánicas

Dependiendo de la geografía del lugar y el tipo de vientos predominantes hay tres tipos de mareas, clasificadas según las frecuencias de las pleas y las bajas:

- a) Semiduras: Es el tipo de mareas del Río de la Plata, hay dos pleas y dos bajas, en el transcurso de un día lunar. En el caso específico del Río de la Plata. Las desigualdades diurnas no son coincidentes los valores de las dos pleas entre sí ni de las dos bajamares. Considerando que el día lunar tiene una duración de 24h 50m, teóricamente cada 6h 13m se produce una pleamar o una bajamar.
- b) Diurnas: Características en las latitudes bajas, con una pleamar y una bajamar en el transcurso del día lunar. Considerando que el día lunar es de 24h 50m se producirá una pleamar y una bajamar cada 12h 25m
- c) Diurnas irregulares: Con dos ciclos por día lunar, pero con marcadas diferencias en las alturas y en los períodos de tiempo.
- d) Mareas mixtas: Régimen de tipo intermedio, durante un día lunar se presentan dos pleamares y una bajamar o dos bajamares y una pleamar.

5.3.4. Corrientes Litorales (Por oleaje)

La corriente de deriva litoral se produce cuando las olas llegan oblicuas a una costa rectilínea, generalmente en ángulo inferior a 10° , esto da nacimiento a una corriente paralela al litoral, entre la zona de rompiente y la orilla. La velocidad de la deriva es mínima fuera de la zona de rompiente, lo que demuestra claramente que es inducida por el oleaje y no puede ser atribuida a corrientes oceánicas o corrientes de marea.

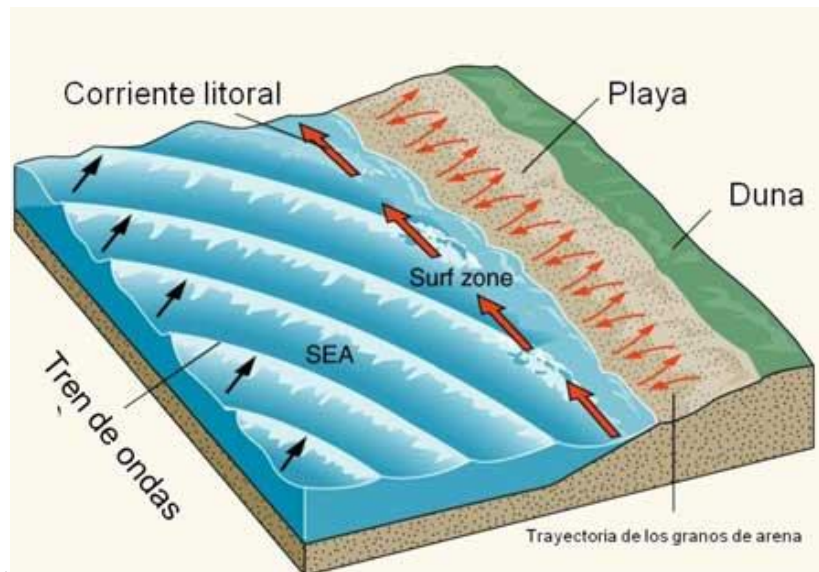


Ilustración 8: MetEd (2016) Corriente por oleaje. Recuperado el 10 de octubre de 2016, de www.metted.ucar.edu

En la ilustración 8, se observa que los sedimentos describen trayectorias en zigzag; al reventar la ola el flujo es oblicuo, pero el reflujó descende perpendicular a la orilla por la línea de mayor pendiente. Es el rasgo geomorfológico más relevante de este transporte

El oleaje en la costa también genera corrientes que influyen considerablemente en el movimiento de los materiales sedimentarios a lo largo del litoral y es una causa fundamental de la erosión o progradación de la costa

5.3.5 Corrientes de densidad

Existen muchas causas para la generación de corrientes, como el movimiento de grandes masas de agua que sustituyen a otras evaporadas, o por el movimiento debido a cambios de densidades por calentamiento del agua en la superficie (ver ilustración 9), como ocurre en las corrientes reguladoras de la temperatura en los océanos, o también como consecuencia del arrastre de masas de agua debido a la acción constante del viento en muy largas extensiones y zonas oceánicas.

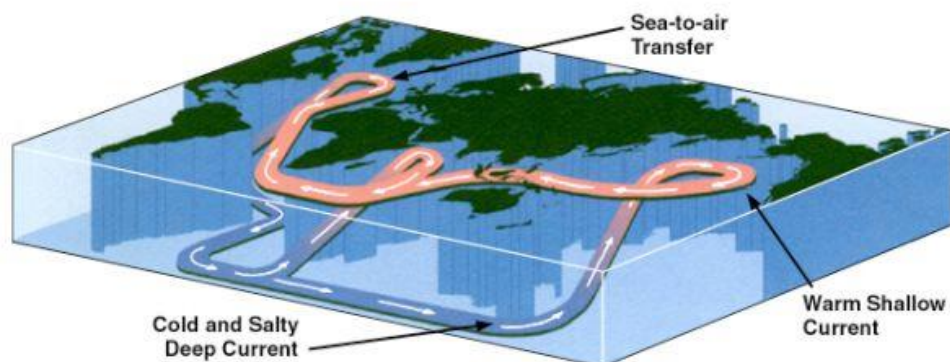
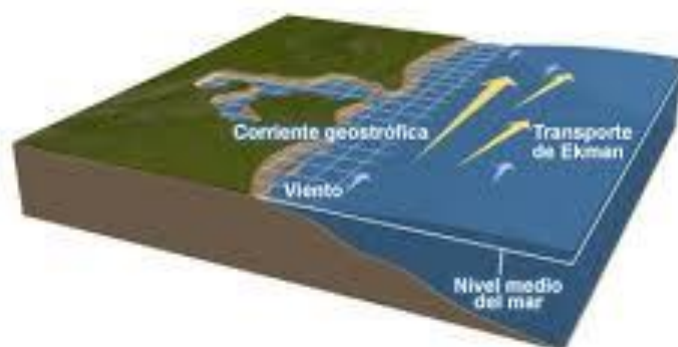


Ilustración 9: MetEd (2016). Corrientes por densidad. Recuperado 10 de octubre de 2016 de www.meted.ucar.edu

5.3.6 Corrientes locales

Se producen grandes corrientes de agua en los mares de todo el mundo. Localmente también se producen dependiendo de la salinidad, el perfil oceánico (Ilustración 10), los tipos de vientos (temperatura etc.). Dependiendo de las mareas las corrientes se producen de determinadas formas.

Flujo geostrofico en la costa forzado por el viento



©The COMET Program

Ilustración 10: MetEd (2016). Corrientes locales de viento. Recuperado 10 de octubre de 2016 de www.meted.ucar.edu

5.3.7 Purificación natural (límite de descontaminación)

Del término contaminación no se es plenamente consciente, no se tiene un real conocimiento de la capacidad auto depuradora de cauces naturales y, que sea finita. Y se ha abusado de la creencia de la asimilación ilimitada por parte de la naturaleza. De este modo, los niveles de decisión política de los países, no le otorgan prioridad a la descontaminación de los cursos de agua superficial. Por otro lado, en todos los sectores de la sociedad no existe una

percepción real de los riesgos para la salud a los cuales estamos expuestos, a través de una cadena de factores de riesgo asociados a la disposición de aguas residuales sin tratamiento previo.

En la naturaleza, los residuos de materiales que son producidos por organismos vivos (plantas, animales y personas) son transformados por procesos naturales. Estos procesos de purificación se relacionan con los ciclos naturales, que se reducen principalmente a 4 procesos:

- Ciclo del agua
- Ciclo del fosforo
- Ciclo del carbono
- Ciclo del nitrógeno

La biodegradación, forma parte de estos 4 ciclos, en la cual una sustancia orgánica, es transformada en energía. La palabra biodegradable es un término que se aplica siempre en relación a una sustancia química, cuando sucede que la misma se descompone como consecuencia de un proceso biológico natural.

Cuando se adopta, por motivos económicos, técnicos o sociales, la solución de verter al mar las aguas residuales se debe alcanzar un equilibrio entre el poder auto depurador del medio receptor.

La utilización del mar como parte de un sistema de tratamiento de aguas residuales constituye un uso del dominio público que puede entrar en conflicto con otros usos legítimos del mismo, además de representar un riesgo para el ecosistema de la zona, razones por las cuales debe estar sujeto a ciertas restricciones. (López, 1997)

Alrededor del 70%-75% de la contaminación marina global es producto de las actividades humanas que tienen lugar en la superficie terrestre. Un 90% de los contaminantes es transportado por los ríos al mar. Por otro lado, entre un 70% y 80% de la población mundial (aproximadamente 3.6 billones de personas); se ubica en las costas o cerca de ellas, especialmente en zonas urbanas, donde una parte importante de los desechos que allí se producen se deposita directamente en el océano. Como consecuencia, muchos ecosistemas críticos, algunos únicos en el mundo, tales como bosques de manglar, arrecifes coralinos, lagunas costeras y otros lugares de interface entre la tierra y el mar, han sido alterados más allá de su capacidad de recuperación

A su vez, la modificación del cauce de los ríos que drenan al mar y la alteración del flujo del agua que escurre en dichos ríos, a causa de la construcción de represas, extracción de áridos o encauzamientos, también han afectado los ecosistemas marinos y ambientes asociados. Esto se debe a la reducción y/o al incremento de nutrientes, sedimentos y contaminantes, y a sus efectos en los patrones de movimiento y circulación de las aguas. Estas alteraciones afectan principalmente los estuarios, golfos y otros cuerpos acuáticos que tienen limitado movimiento y renovación (CEPAL, 2002).

Según PNUMA (Programa de Medio Ambiente de Naciones Unidas) en cifras, 6.4 millones de toneladas el total de basura que acaba cada año en el mar. Esa basura se extiende de forma desigual por la columna de agua. Mientras un 70% acaba el fondo marino, otro 15% se mantiene en la columna de agua y el resto termina en las playas.

5.4 Aguas Residuales (AR)

Las AR son las aguas usadas y los sólidos que lleva por uno u otro medio se introducen en las cloacas y son transportadas mediante el sistema de alcantarillado.

Aguas residuales domésticas: Líquidos provenientes de las viviendas, edificios comerciales e institucionales. La contaminación principal de las aguas residuales domésticas es por materia orgánica, tanto en suspensión como en disolución, normalmente biodegradables, y cantidades importantes de nitrógeno, fósforo y sales minerales

Aguas residuales municipales o urbanas: Son residuos líquidos transportados por el alcantarillado de una ciudad o población y tratados en una planta de tratamiento municipal. Contienen aguas residuales domésticas y aguas residuales industriales. A estas dos últimas se les suele llamar líquidos cloacales.

Aguas residuales industriales: Proceden de los procesamientos realizados en fábricas y establecimientos industriales y contienen aceites, detergentes, antibióticos, ácidos y grasas y otros productos y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal. Su composición es muy variable, dependiendo de las diferentes actividades industriales

Aguas blancas: pueden ser de procedencia atmosférica (lluvia, nieve o hielo) o del riego y limpieza de calles, parques y lugares públicos. En aquellos lugares en que las precipitaciones atmosféricas son muy abundantes, éstas pueden evacuarse por separado para que no saturen los sistemas de depuración.

5.4.1 Caracterización de los líquidos cloacales

Los líquidos cloacales se definen básicamente por caracteres físicos, químicos y microbiológicos (Sorriquieta, 2010):

1) Características Físicas:

- a) Temperatura.
- b) Olor: amoníaco, sulfuras, escatol, mercaptanos.
- c) Color según su condición: fresco, viejo, séptico.

2) Características químicas:

- a) Materia orgánica: Hidratos de carbonos, proteínas, grasas.
- b) Materia inorgánica: Principalmente cloruros, sulfatos y fosfatos de sodio, calcio, magnesio y potasio.
- c) Agentes tenso activos: sulfatos de alquilo lineales (biodegradables)

3) Características microbiológicas:

- a) Bacterias entéricas (flora intestinal).
- b) Bacterias enteropatógenas.

c) Parásitos.

11. El agua residual es 0,1 sólido y a su vez un 70% de estos orgánicos. Ver ilustración

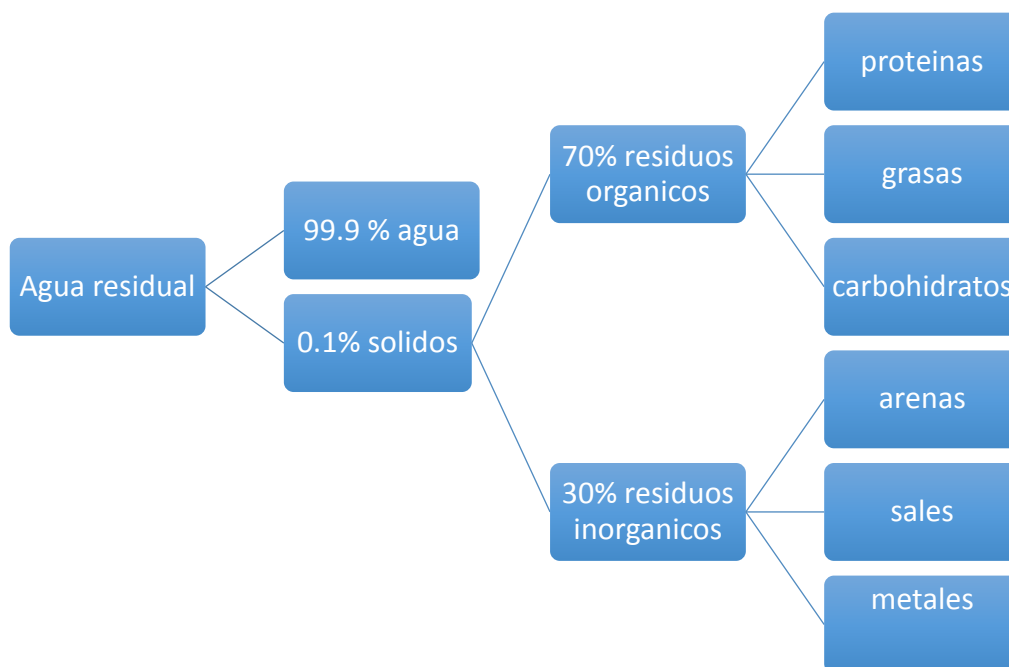


Ilustración 11: Composición típica del agua residual.

5.4.2 El líquido cloacal: características según su origen

El líquido cloacal presenta diferentes componentes según el uso que se le dé al agua de abastecimiento. Así, puede existir líquido cloacal de uso doméstico (cocina y agua de baño), comercial e industrial. Se caracterizan por tener los siguientes componentes:

Agua de cocina:

- Detergentes,
- Grasas
- Restos de alimentos.
- Agua de lavado: detergentes y jabones.

Agua de baño:

- Materia Fecal. 20% materia seca. 80% agua.
- Restos de alimentos no digeridos: proteínas, hidratos de carbonos, grasas
- Secreción biliar Sales de Ca y Fe.
- Elementos celulares de pared intestinal.
- Bacterias (450 millones g. MF)
- Urea. (orina)
- Aniones: cloruros, sulfatos y fosfatos (orina)
- Cationes: Na. Ca. Mg. K.(orina)

5.4.3 Caracterización bacteriológica

Más que caracterizar a cada organismo patógeno por separado se prefiere usar los microorganismos como indicadores, los cuales no tienen necesariamente una relación directa con el número de patógenos sí no que se dirige más a evaluar el grado en el que ha sido contaminado con heces humanas o de otros animales de sangre caliente (contaminación fecal).

Para caracterizar aguas residuales es necesario contar con un programa de muestreo apropiado para asegurar representatividad de la muestra y un análisis de laboratorio de conformidad con normas estándar que aseguren precisión y exactitud en los resultados. Hay que recordar que cada agua residual es única en sus características y que en lo posible, los parámetros de contaminación deben evaluarse en el laboratorio para cada agua residual específica. (Rojas, 2010) Se citarán ahora las características más importantes de indicadores microbiológicos:

COLIFORMES: Grupos de bacterias aerobias y anaerobias facultativas, gramnegativa no esporógenas. Baciliformes que fermenta la lactosa formando gas en un período de 48 hs. a 35 °C.

COLIFORMES FECALES: Subgrupo del anterior en el que estarían los microorganismos con mayor probabilidad de haberse originado en los intestinos. Ambos grupos se los determina por el método del número más probable (NMP). Otra forma de determinar coliformes sería por el método de Filtración por Membrana. Las bacterias coliformes detectadas por las dos técnicas no siempre son exactamente las mismas. En general se acepta que el método de filtración por membrana tiene como ventaja respecto del NMP. La reproducibilidad.

ESTREPTOCOCOS FECALES: Bacterias de forma redondeada (en forma de cocos) que se presentan asociadas en forma de pareja o cadena que pueden servir para conocer la fuente probable de contaminación, la relación coliformes estreptococos es siempre mayor a 4.0 en aguas residuales domésticas, mientras que la relación para las aguas residuales de granja (donde se vuelcan heces de aves de corral, gatos, perros y roedores) es menor a 0.7.

5.4.4 Caracterización físico-química del agua

Existen 4 determinantes en la caracterización físico-química del agua.

A-) Demanda Química de Oxígeno: (DQO Se usa para medir el O₂ equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente mediante un agente químico oxidante fuerte (generalmente K₂ Cr₂ O₇. en medio ácido, a alta T° y comúnmente con un catalizador).

B-) Oxígeno disuelto (OD): La baja disponibilidad de OD limita la capacidad auto purificadora de los cuerpos de agua y hace necesario el tratamiento de las AR para su disposición en ríos y embalses. En Aguas naturales, para evitar efectos perjudiciales sobre la vida acuática se recomienda OD mayores de 4 mg/l

C-) Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): Cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente cinco días y 20° C). Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable. Es un valor que se relaciona directamente con la calidad del agua. Ver tabla N°1.

Tabla 1: Calidad del agua

Nivel DBO(en ppm)	Calidad del agua
1 a 2	Muy buena
3 a 5	Aceptable: Moderadamente limpia
6 a 9	Mala: Algo contaminada
10 o mas	Muy Mala: Muy Contaminada

Nota: Revista Scielo (2016). Recuperado 2 de abril 2016 de <http://kl2science.atiueveiiis-iecli.eau>

D-) Detergentes: Los detergentes son sustancias químicas que tienen la capacidad de deshacer o separar la suciedad que está en la superficie de un objeto sin corroerlo ni dañarlo y se les conoce como agentes limpiadores. Para que se les considere detergentes, deben eliminar tanto la grasa como la suciedad sin afectar a los tejidos. Su presencia disminuye la tensión superficial del agua y favorece la formación de espuma, además inhiben la actividad biológica y disminuyen la solubilidad del O₂.

5.5 Vertidos de AR en Latinoamérica y el caribe

En Latinoamérica y el Caribe, se estima que apenas un 2% de las aguas residuales reciben un tratamiento adecuado. En el Caribe, entre el 80 y 90% de las aguas residuales se descargan al mar sin tratamiento alguno. Éste es el mayor problema ambiental en la costa de la región, ya que las cargas orgánicas que se están depositando en los cuerpos de agua superan con creces la capacidad de carga de los medios receptores, provocando eutrofización y anoxia de los sistemas, resultando además en graves problemas para la salud pública. (Pnuma, 2000)

Del total de las aguas residuales que llegan al mar, 90% lo hacen a través de los ríos y arroyos, y en algunos casos a través de emisarios submarinos, cuando los hay. Razón por la cual debe darse prioridad a los estudios de las cuencas hidrográficas, en su relación con el manejo de la zona costera. Uno de los obstáculos para realizar tales estudios es que las cuencas hidrográficas no necesariamente están bajo la competencia de las mismas autoridades de las zonas costeras, ya sea por la distancia o por la división de competencias entre las autoridades al interior de cada país. Esto implica que debe hacerse un esfuerzo adicional para coordinar las acciones entre todas las autoridades involucradas, sean municipios, gobiernos locales y autoridades nacionales y regionales.

La contaminación que llega a nuestras playas proviene de diversas actividades desarrolladas cerca de ríos, mares y lagunas:

- Fertilizantes o plaguicidas utilizados en zonas agrícolas.
- Derrames de fosas sépticas, plantas de tratamiento o alcantarillados.
- Residuos de granjas avícolas o porcícolas.
- Residuos de recubrimientos arquitectónicos (impermeabilizantes y pinturas).

- Residuos comestibles arrojados al mar por restauranteros que no cuentan con infraestructura para eliminar sus desechos.
- Residuos de pescados y mariscos producto de la actividad de pescadores al limpiar sus productos en las playas.
- Desechos de los barcos y otras embarcaciones menores (aceites o basura).
- Residuos provenientes de actividades industriales.
- Residuos provenientes de ingenios azucareros cercanos a la costa.
- Descargas de drenaje —tratadas o no— de origen doméstico, agrícola e industrial, cuando los drenajes del alcantarillado llegan directamente al mar o debido a la acción de mareas y corrientes, ya que pueden revertir los contaminantes hacia la zona de playas o concentrarlas en ellas durante días.
- Desechos radioactivos
- Residuos de detergentes no biodegradables
- Grasas y aceites de cocina ó industrial – No tratados
- Desechos propios de embarcaciones náuticas

Lo cual genera degradación en zonas costeras. Ver ilustración 12.

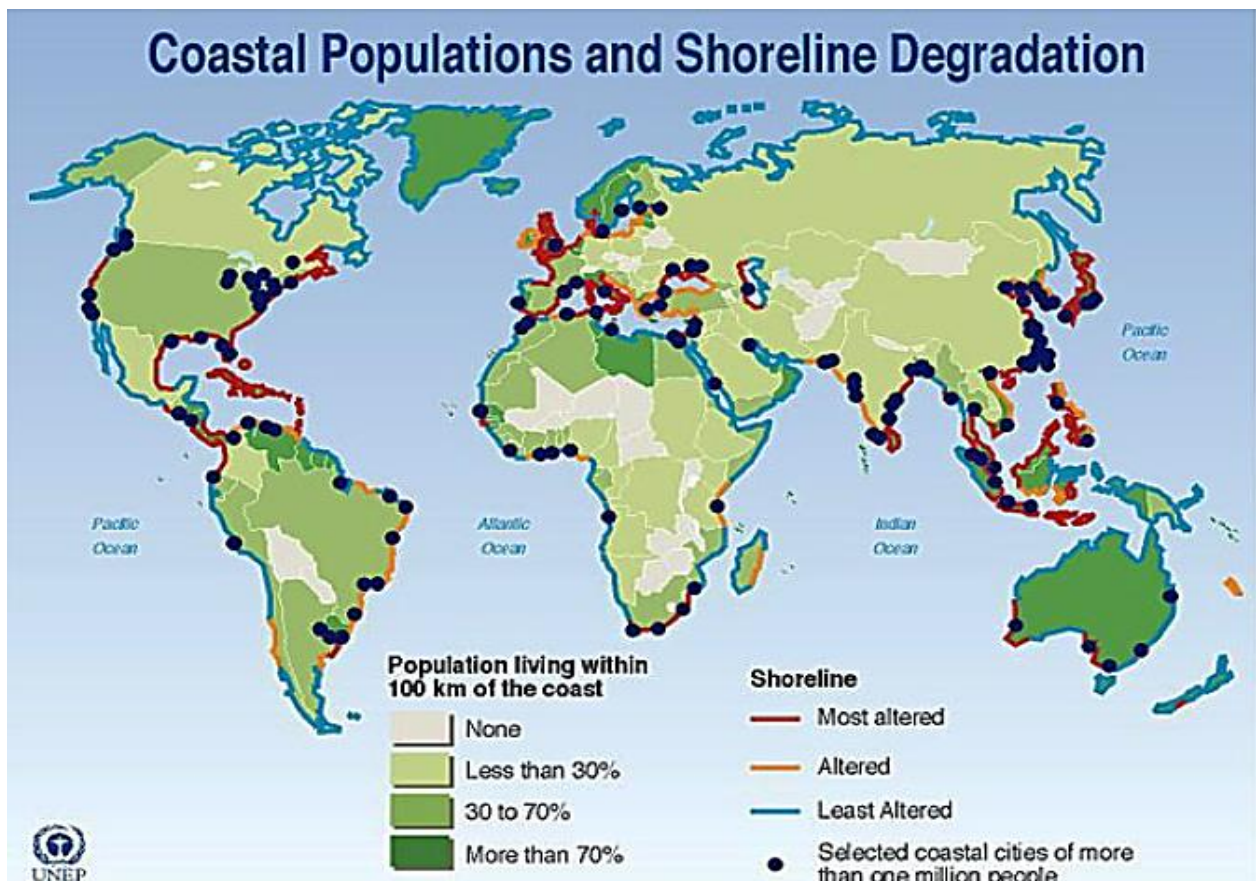
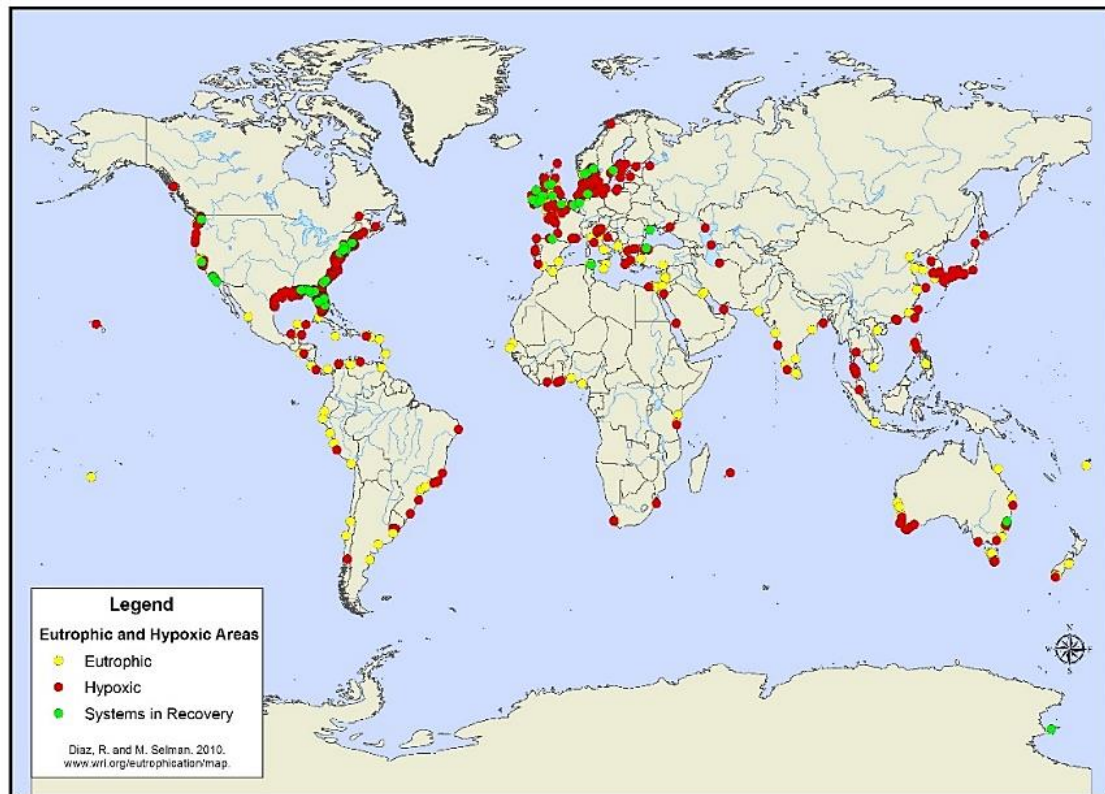


Ilustración 12: World Resorce Institute (2016). Población costera y degradación del litoral. Recuperado el 20 de octubre de 2016, de <https://www.wri.org>.

Según World Resorce Institute (2016), la baja concentración de oxígeno se concentra en las grandes ciudades costeras, generando zonas eutróficas (ricos en nitrógeno y fósforo) (Ver ilustración 13).

World Hypoxic and Eutrophic Coastal Areas



. Ilustración 13: World resource institute (2016). Áreas costeras eutróficas y con poco oxígeno. Recuperado el 20 de octubre de 2016, de <https://www.wri.org/>

Por otro lado, los crecientes niveles de erosión de la costa, las inundaciones y la inestabilidad de las riberas debido a acciones humanas no planificadas, como las actividades de dragado, deforestación, así como la falta de planificación de la infraestructura costera y la extracción ilegal de arena y otros materiales de relleno, son problemas igualmente importantes.

El resultado es que cuando mueren van al fondo y en su putrefacción se consume el oxígeno y se generan malos olores y se degrada el agua

Todos estos impactos que afectan la salud de las zonas costeras, según datos aportados por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), tienen un efecto directo sobre la pesca. A su vez, la disminución de las reservas pesqueras constituye una amenaza grave para la seguridad alimentaria y las economías de las comunidades costeras. Por tanto, la gestión eficaz del medio marino como fuente de reservas, debe empezar en la línea de costa, para lo cual es imprescindible poner en marcha programas de manejo integrales.

En América Latina, el BID ha llevado a cabo estudios para la orientación de programas de manejo costero desde principios de 1995. Por ejemplo, en 1998 presentó la *Estrategia para el manejo de recursos costeros y marinos en Latinoamérica y el caribe*, a través de la cual se pretendía incidir en la mejora de la calidad de vida de las comunidades dependientes de los recursos costeros y apoyar a los Estados ribereños a alcanzar niveles de desarrollo sostenibles.

Esta estrategia, que es parte de un programa de intervención del BID, resalta la necesidad de llevar a cabo una serie de actividades e implementar nuevas técnicas para lograr

una ordenación costera efectiva. Propone las siguientes planes de medidas a ser adoptadas por los países: manejo costero, zonificación de usos, protección de áreas marinas, manejo y restauración de hábitats costeros, control de la contaminación costera, estabilización de las riberas, reglamentación para un libre acceso, fortalecimiento de la capacidad institucional y de coordinación entre las instituciones nacionales competentes, manejo comunitario, estrategias para la resolución de conflictos y evaluación de impacto ambiental.

Además del programa del BID, existen numerosos esfuerzos de diferentes países, a nivel nacional, por mejorar la gestión en las zonas costeras, algunos tales, como: Perú, México, Belice, Colombia, unión europea, entre otros.

Más recientemente (Cashman, 2013), calculaba que, de las aguas residuales que llegan al mar Caribe, el 85% llega sin tratar. Las fallas de los sistemas de alcantarillado y las deficiencias de los servicios de eliminación de aguas residuales o su falta están causando graves problemas de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. Se están detectando concentraciones de contaminantes superiores a los niveles máximos recomendados por la Organización Mundial de la Salud, que constituyen una amenaza para la salud pública y ambiental en todo el Caribe.

En otras palabras, la situación de aguas residuales en el mar caribe no ha cambiado, según el informe del BID del 2000 y 2013

Este problema genera muchas preocupaciones, ya que pueden dañar los ecosistemas y animales marinos, contaminar nuestros alimentos y podría tener repercusiones químicas.

Actualmente, casi 2,000 millones de personas utilizan a diario agua contaminada, principalmente por heces, cuestión que representa un riesgo para la salud mundial, advirtió el informe realizado por agencias de las Naciones Unidas en el 2014.

El informe, elaborado de forma conjunta por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y ONU-Agua, advirtió que, a pesar de los miles de millones de dólares gastados en saneamiento a nivel global, 748 millones de personas no tienen acceso alguno al agua potable de forma sostenida y se calcula que 1,800 millones más usan una fuente que está contaminada con heces.

5.6 Coliformes como indicador de calidad de agua.

El grupo de microorganismos coliformes es adecuado como indicador de contaminación bacteriana debido a que estos son contaminantes comunes del tracto gastrointestinal tanto del hombre como de los animales de sangre caliente, están presentes en el tracto gastrointestinal en grandes cantidades, permanecen por más tiempo en el agua que las bacterias patógenas y se comportan de igual manera que los patógenos en los sistemas de desinfección (Pulido, 2005).

Los microorganismos que conforman el grupo de los coliformes totales; *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Serratia*, *Edwarsiella* y *Citrobacter*, viven como saprófitos

independientes o como bacterias intestinales; los coliformes fecales (*Escherichia*) son de origen intestinal (Canosa de Barrero, 1995). Todos pertenecen a la familia Enterobacteriaceae, son bacilos Gram negativos, anaerobios facultativos, no esporulantes, fermentadores de lactosa con producción de gas; constituyen aproximadamente el 10% de los microorganismos intestinales de los seres humanos y otros animales, las bacterias del tracto intestinal no suelen sobrevivir en el medio acuático, están sometidas a un estrés fisiológico y pierden gradualmente la capacidad de producir colonias en medios diferenciales y selectivos. Su velocidad de mortalidad depende de la temperatura del agua, los efectos de la luz solar, las poblaciones de otras bacterias presentes, y la composición química del agua.

La presencia de coliformes en el agua indica la contaminación bacteriana reciente y constituye un indicador de degradación de los cuerpos de agua (Fernández A, Molina M, Alvarez A, Alcántara M, Espigares, 2002).

Los coliformes fecales se denominan termotolerantes por su capacidad de soportar temperaturas más elevadas. Esta denominación está ganando más adeptos actualmente, pues sería una forma más apropiada de definir este subgrupo que se diferencia de los coliformes totales por la característica de crecer a una temperatura superior. La capacidad de reproducción de los coliformes fecales fuera del intestino de los animales homeotermos es favorecida por la existencia de condiciones adecuadas de materia orgánica, pH, humedad, etc.

Estas bacterias son de interés clínico, ya que pueden ser capaces de generar infecciones oportunistas en el tracto respiratorio superior e inferior, además de bacteriemia, infecciones de piel y tejidos blandos, enfermedad diarreica aguda y otras enfermedades severas en el ser humano (Moore J, 2002).

5.7 Afectación por coliformes en América Latina

En América Latina y el Caribe el 49% tiene servicio de alcantarillado, en el cual se colecta aproximadamente 40 millones de metros cúbicos diarios que se vierten en ríos, lagos y mar. Del volumen colectado tan solo el 10% recibe algún tipo de tratamiento previo a la descarga en agua de forma superficial (Suematsu, 2010)

Existe una gran preocupación debido a la desencadenante mortalidad infantil en la región, debido a diarreas y alimentos infectados, propias de los coliformes.

Además, Suematsu afirma que: “El 70% de 1'400 millones de casos diarreicos en el mundo, registrados afectan a menores de 5 años y a su vez el 25% de estos episodios son producidos por la cepa *Escherichia Coli*. A su vez los 16 ríos principales de Latinoamérica contienen alrededor 1000 coliformes fecales/ 100 ml. Y lo más preocupante es que parte de esa agua se utilice en la producción de alimentos, incrementando así, factores ambientales de riesgo para la población mundial.”

Un punto importante para el impacto económico América Latina, se origina debido a que las plantas de tratamiento de agua residual se han incrementado debido a que cada vez reciben más caudales de agua contaminada, debido al aumento en la red cloacal.

5.8 Legislación sobre aguas residuales

La normativa usada sobre aguas residuales es la Directiva 76/160/CEE de 1975, relativa a la calidad de las aguas de baño y fijada por la Unión Europea para la vigilancia, evaluación y gestión de la calidad de las aguas de baño, con el objetivo de reducir y prevenir su contaminación.

Se entiende por *Estados miembro* a aquellos países regidos por esta directiva, la cual culmina presentando una tabla, denominada “Requisitos de Calidad de las Aguas de Baño”, donde se establecen los parámetros Microbiológicos, Físico-químicos y Otras sustancias indicadoras, como así también la manera de determinarlos.

En lo que respecta a este estudio, interesan los parámetros microbiológicos y en particular los referidos a los Coliformes Totales. Para éstos se fija un límite máximo a través de un valor guía de 500 NMP por cada 100 ml de agua y un obligatorio de 1000 NMP por cada 100 ml de agua.

Sin embargo, la Directiva 76/160/CEE queda derogada a partir del año 2014 fijándose la nueva Directiva 2006/7/CE del Parlamento Europeo y Consejo.

Esta nueva directiva cuenta con mayores detalles que la anterior, en cuanto a la gestión del recurso y su contaminación. Asimismo, la cantidad de Coliformes Totales y Fecales pasa a contarse a partir de dos nuevos parámetros: los Enterococos intestinales y los Escherichia Coli, medidas en UFC -Unidades Formadoras de Colonias- por cada 100 ml de agua. A continuación, se transcribe en la *Tabla 2* los valores presentados en la directiva para aguas continentales:

Tabla 2: Parámetros microbiológicos estipulados por la Unión Europea. Directiva 2006/7/CE (2006).

Parámetro	Calidad Excelente	Calidad Buena	Calidad Suficiente	Métodos de análisis de referencia
Enterococos intestinales (UFC/100 ml)	200 (*)	400(*)	330(**)	ISO 7899-1 o ISO 7899-2
Escherichia Coli (UFC/100 ml)	500(*)	100(*)	900(**)	ISO 9308-3 o ISO 9308-1

Donde el asterisco (*) se refiere a una evaluación del percentil 95 y el doble asterisco (**) a una evaluación del percentil 90.

5.9 Legislación Argentina sobre afluentes

En general, en Argentina la ley que rige para afluentes, ya sea de cloaca, industria, pluviales, etc. Es la ley N°: 20.324, pero a su vez da pauta para que se adapte según las necesidades de cada provincia.

A nivel del Área Metropolitana de Buenos Aires las principales normas que fijan límites de calidad y emisión para efluentes son el decreto del Poder Ejecutivo Nacional (PEN)

679/89 (modificado por el decreto 776/92), el Decreto del PEN 999/92 (Marco regulatorio de la Concesión de Servicios de OSN y límites de descargas para efluentes cloacales), y la resolución del 242/93 (que hace referencia al vertido de sustancias peligrosas). Ver tabla N°3.

Tabla 3: Límite para la descarga de efluentes cloacales en la provincia de Buenos aires (argentina).

	PARAMETRO	UNIDAD	LIMITE OBLIG.
1	DBO	mg/l	50
2	DQO	mg/l	125
3	TOTAL SOL. SUSPENDIDOS	mg/l	60
4	Aceites y Grasas	mg/l	50
5	Fósforo Total	mg/l	2
6	Nitrógeno Total	mg/l N	15
7	Temperatura	°C	45
8	PH	Unidad de pH	7,5-8,5
9	Amoníaco Total	mg/l N	25
10	Coliformes Totales	NMP/100 ml	5000
11	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	1000
12	Fenoles	µg/l	50
13	Hidrocarburos Totales	mg/l	50
14	Cianuros	µg/l	100
15	Detergentes Sintéticos	mg/l	3
16	Cromo	µg/l	200
17	Cadmio	µg/l	100
18	Plomo	µg/l	500
19	Mercurio	µg/l	5
20	Arsénico	µg/l	500
21	Sulfuros	mg/l	1

Nota: Límites fijados por la legislación argentina. Decreto 674/89/Disposición 79179/90.

En la legislación Argentina, las condiciones de vuelco fijadas por la Nación son los mismos límites para la provincia de Buenos Aries y Santa fe (Argentina).

En definitiva, y debido a la falta de estudios epidemiológicos locales, se propone actualmente, adaptarse a normativas internacionales, proponiendo como la más adecuada la norma de la USEPA. Siendo lo más significativo de esta norma, la incorporación del parámetro Enterococos fecales, como indicador microbiológico de contaminación fecal para aguas marinas. La cual propone el nivel de enterococos como indicador, en lugar de Escherichia Coli. La Norma establece un valor de media geométrica de 35 enterococos cada 100 ml de agua de mar, tomando al menos 5 muestras a intervalos regulares y durante el período de baño.

5.10 Problemática en Mar del Plata:

Desde el siglo XIX que el bautizado “Vaciadero”, ubicado al norte de Mar del Plata, se utiliza para los desechos, donde los camiones de basura y los primeros efluentes cloacales eran volcados al mar. Funcionaba, porque las corrientes marinas trasladaban los residuos hacia el norte y la población estable era escasa. Pero, tras el estallido turístico que se produjo entre 1960 y 1980, la población aumentó considerablemente y la falta de planificación profundizó la problemática. (Periódico virtual Zona 54, 2016)

La actual Planta de Pretratamiento de Efluentes Cloacales Ingeniero Baltar, comenzó a funcionar en 1989 con una población menor a los 500 mil habitantes, en lo que fue planificado como una primera etapa para mejorar la calidad del ambiente. Pero no solo fue la primera, sino la única, hasta la construcción del emisario submarino en 2011, cuando la población ya alcanzó los 619 mil habitantes (según Censo de 2010), sin considerar los cerca de 3 millones de turistas que posee la ciudad en distintos períodos del año

El litoral marítimo de Mar del Plata posee unos 28 kilómetros de costa atlántica. Cerca del 50 por ciento de sus playas –las más escogidas por el turismo y los residentes- estuvieron altamente contaminadas durante décadas bajo el ocultamiento de los entes oficiales del Municipio y las promesas inconclusas de generar un emisario submarino que permita alejar y procesar la materia fecal. (Periódico virtual Zona 54, 2016).

Existieron varias denuncias, dentro de ellas una de las más graves, fue publicada por el diario la Gaceta: “Eduardo Vallarino y Rodolfo Elías -que integran un grupo de investigación de Bioindicadores Bentónicos del Departamento de Ciencias Marinas- monitorean desde 1998 la contaminación del mar en esas playas.

Los 40 controles realizados en los últimos 10 años revelaron la multiplicación del gusano *Boccardia*, un microorganismo presente en la materia orgánica. Este germen puede ocasionar meningitis, hepatitis e infecciones urinarias.

El conteo del *Boccardia* es un indicador recomendado por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco) para estudiar el impacto de los efluentes cloacales en un medioambiente” (Diario La Gaceta, 2009). La red cloacal vaciaba sus desechos sin tratamiento, como muestran las ilustraciones que se presentan a continuación:

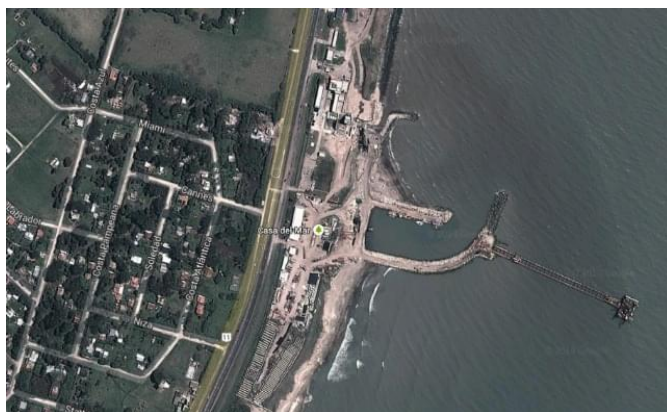


Ilustración 14: Foto satelital- Google Earth (2009). Playa las Delicias en Mar del Plata- Mancha de contaminación. Recuperado septiembre de 2009



Ilustración 15: :, Veysiere, I. (2015, junio 23) [Ignacio Dignani Veysiere]. Vertido de aguas negras en mar del Plata). [Archivo de video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=Xylx6dfQttA>



Ilustración 16: Labaronnie, F [FERNANDO LABARONNIE]. (2014, abril 27). Contaminación costera en la ciudad de Mar del Plata. [Archivo de video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=ZxCgtayMS3k>



Ilustración 17: Feickmann, L [Lucas Frickmann].(2013, diciembre 2) Contaminación del litoral marítimo de la ciudad de Mar del Plata. Causas y consecuencias. [Archivo d video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=cFBZ-tVka5M>



Ilustración 18: Di, M. [Maria Cristina Di Croce].(2013, enero 13). Mar del Plata desperdicios, sin control. [Archivo de video]. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=ZrdcNd__j0M



Ilustración 19: Anónimo. [mardelplatabasecero]. (2009, diciembre 4). Contaminación en Playa las Delicias. [Archivo de video]. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=K81t70V0m_g

Con la información recolectada, se ubicaron dichos sitios en el siguiente mapa:

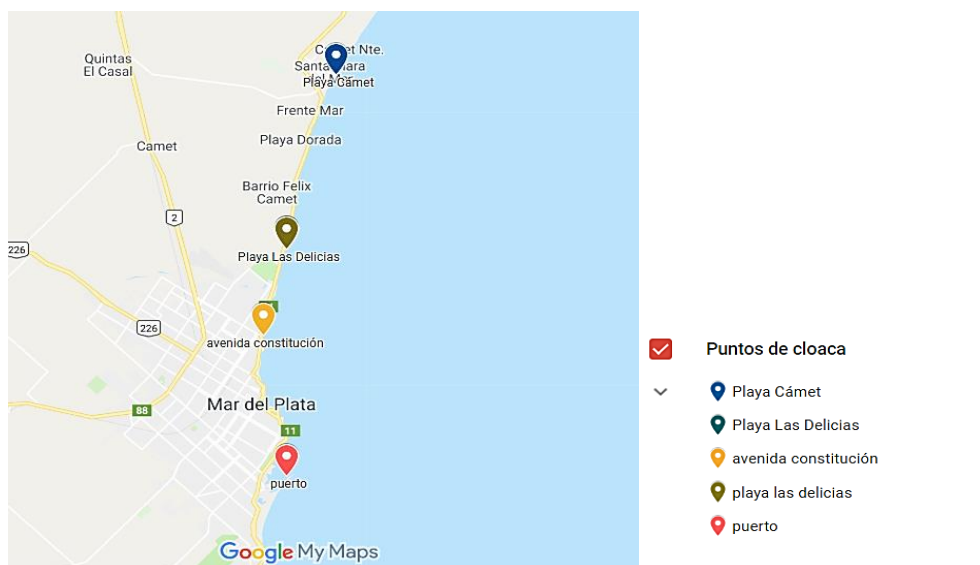


Ilustración 20: Google (2019). Generado por Google My maps. Ubicación de puntos de descarga cloacal directo a playa, antes de entrar en funcionamiento el emisario submarino.

La red cloacal de Mar del Plata se conforma por redes colectoras domiciliarias, las cuales conectan a las generales y estas a su vez a tres colectoras máximas. Las cuales desembocaban en la planta de tratamiento el Camet. La cual procedía solamente a retirar el material sólido y los verter los líquidos directos al mar (UNMDP, 1998).

Sin abundar en datos científicos, lo recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) son 35 bacterias de Enterococos por cada 100 mililitros para considerar el agua apta para su uso recreativo. Mar del Plata superó ampliamente ese número: 851 Enterococos por cada 100 mililitros de agua en la zona donde desembocan los efluentes cloacales. (Periódico virtual Zona 54, 2016).

También hay que resaltar como mejoró en este aspecto la entrada en funcionamiento del emisario submarino (Ver ilustración 21).



Ilustración 21: Gráfico de OSSE- Posterior a la puesta en marcha del emisario submarino. (Periódico virtual Zona 54, 2016).

5.11 Fenómenos físicos en un emisario submarino (campo cercano y campo lejano)

Cuando las aguas residuales son dispuestas en el océano, la boyancia y el momentum se combinan para formar una pluma que incrementa su tamaño en función de la distancia de viaje hasta la superficie de atrapamiento en el agua marina. El proceso de atrapamiento se marca lentamente cuando la pluma alcanza una posición de boyancia neutral con respecto al ambiente marino o cuando llega a la superficie. La dilución inicial es considerada como la mezcla rápida que ocurre entre el agua residual descargada en la profundidad y el agua marina circundante. Según Roberts (1979) el proceso dispersivo de la descarga de aguas residuales en el mar tiene tres fases. **La dilución inicial**, donde las fuerzas de empuje por los difusores y el momentum, además de los efectos dinámicos de corrientes locales resultan en una rápida mezcla y dilución del contaminante en el cuerpo de agua receptor. Una segunda fase dada la

boyancia de la pluma debido a las diferencias de densidades entre el agua dispuesta y el agua marina. Y finalmente la **difusión turbulenta y la advección** causada por las corrientes oceánicas. Los emisarios submarinos pueden ser modelados apropiadamente bien sea por modelos a escala o modelos matemáticos. Estos últimos han sido usados para estudiar las características y el comportamiento de las plumas formadas luego de la descarga de aguas residuales en el océano. Existen en la actualidad muchos modelos que analizan la trayectoria y la dilución de la pluma de aguas residuales dispuesta en el océano. Algunos de estos se han desarrollado utilizando el análisis dimensional en combinación con resultados experimentales para cuantificar los coeficientes o parámetros incluidos en ellos. Otros han sido teóricamente obtenidos usando un análisis integral para una descarga en particular o condición ambiental (Metroagua, 2010).

Difusión: Si en un punto de un medio sin flujo depositamos una gota de contaminante o concentración y observamos un tiempo después, el punto inicial se habrá ampliado y difuminado. Si a eso le unimos el transporte por advección, sucedería lo mostrado en la ilustración 22. Las moléculas de la sustancia disuelta en el agua se mueven de los puntos de mayor concentración hacia los de menor concentración. Este proceso se denomina difusión molecular o simplemente difusión y se produce a causa de la agitación continua de todas las moléculas del líquido (Sánchez, 2015).



Ilustración 22: Difusión molecular- tomado YouTube - Luisa Lozano 2015

Es también conocida como difusión molecular, es un proceso físico irreversible, en el que partículas materiales se introducen en un medio que inicialmente estaba ausente, aumentando la entropía (Desorden molecular) del sistema conjunto formado por las partículas difundidas o soluto y el medio donde se difunden o disuelven.

Antes de comenzar a desarrollar el proceso de dispersión, es necesario definir algunos conceptos fundamentales:

Concentración: se entiende por concentración “C” al valor obtenido de la razón entre la cantidad de sustancia que se difunde, ΔM en un volumen muestra, ΔV , por lo que matemáticamente se define como:

$$C = \frac{\Delta M}{\Delta V} \quad (1)$$

Donde las dimensiones de la concentración son (M/L³).

Flujo de masa: Se define como la cantidad de masa de la sustancia que pasa por un elemento de área A por unidad de tiempo. Matemáticamente se define como:

En la difusión, las sustancias disueltas se mueven por un gradiente de concentraciones. En un líquido (no contenido en un medio poroso), el flujo de masa por difusión está regido por la primera ley de Fick:

$$F = - D_m \frac{\partial C}{\partial x} \quad (2)$$

Dónde: F = flujo de masa por unidad de tiempo y por unidad de sección perpendicular al flujo (M/T)

D_m = Coeficiente de difusión (L^2/T)

C = Concentración (M/L^3)

$\frac{\partial C}{\partial x}$ = Gradiente de concentraciones: entre dos puntos situados a una distancia ∂x existe una diferencia de concentraciones ∂C

El aspecto de la fórmula resulta familiar, recuerda a la ley de Darcy: allí el caudal por unidad de superficie era proporcional al gradiente hidráulico, y la constante de proporcionalidad era la conductividad hidráulica.

Aquí el flujo de masa es proporcional al gradiente de concentraciones, y la constante de proporcionalidad se denomina coeficiente de difusión. Al igual que en la ley de Darcy, el signo negativo indica que el sentido del flujo es hacia la disminución de la concentración. O dicho de otro modo: como al aplicar la fórmula, el incremento ∂C es negativo, el signo menos hace que el resultado de la fórmula sea positivo. Una gran diferencia entre ambas expresiones es que la constante de proporcionalidad en el caso de la Ley de Darcy es fácil de obtener, mientras que es más difícil en la Ley de Fick.

En la difusión, las sustancias disueltas se mueven por un gradiente de concentraciones. En un líquido (no contenido en un medio poroso), el flujo de masa por difusión está regido por la primera ley de Fick

Cuando incluimos la variación con el tiempo, Es la Segunda ley de Fick. El flujo expresado en la primera ley de Fick no considera el tiempo: Expresa un flujo permanente de materia mientras se mantengan constantes las variables de las que depende. Ahora nos enfrentamos a un problema diferente. Supongamos que tenemos un punto con una concentración constante de una sustancia (aplicación de un contaminante) y deseamos conocer cómo va aumentando (variando con el tiempo) la concentración de dicha sustancia en otro punto situado a x metros de distancia. Esta variación está reflejada en la segunda ley de Fick:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = - D_m \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (3)$$

Dispersión: El proceso de dispersión de las sustancias contaminantes vertidas en el océano puede diferenciarse de acuerdo a las características bajo el cual las sustancias descargadas comienzan a reducir sus concentraciones con la que inicialmente fueron descargadas, de esta manera se pueden presentar dos tipos de dispersión. Dispersión en campo cercano y dispersión en campo lejano (ver ilustración 23).

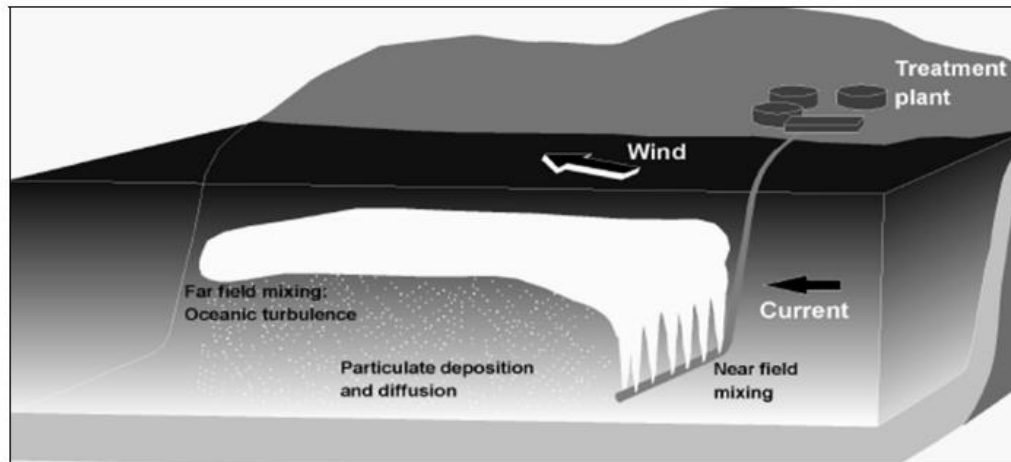


Ilustración 23: Mecanismos que gobiernan el proceso de mezcla en un emisario submarino (Metroagua, 2010).

Dispersión en campo cercano Se produce cuando existe una fuente de descarga que presenta las características de poder reducir las concentraciones de las sustancias descargadas de manera muy rápida, como puede ser un emisor submarino. En este caso la dispersión es principalmente en la dirección del chorro producto de la descarga, y por lo general se produce en la dirección vertical (ver ilustración 24).

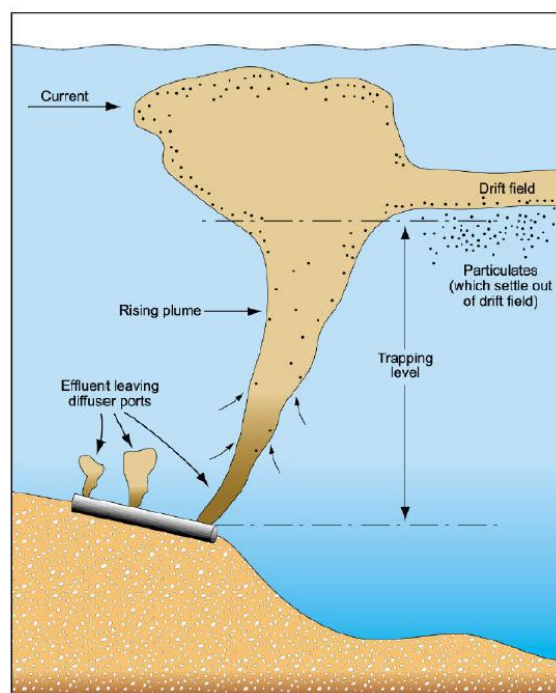


Ilustración 24: Esquema de dispersión en campo cercano (Zorrilla, 2014).

ya que la velocidad de salida del difusor es muy grande en comparación a la velocidad de las corrientes marinas y en este movimiento de ascenso las sustancias van reduciendo sus concentraciones, produciéndose la dilución de las mismas. Así, la concentración final de las sustancias es calculada de la siguiente manera:

$$C_f = \frac{C_0}{D_t}, \text{ donde } D_t = D_i \times D_h \quad (4)$$

Dónde: C_0 = Concentración inicial del contaminante.

D_i : Dilución inicial y depende de las características del difusor.

D_h : Dilución horizontal.

Dispersión en campo lejano: se realiza en campo lejano, es decir cuando no hay la influencia de algún elemento de descarga como un difusor, el transporte de sustancias en el océano y su concentración depende de distintos y numerosos factores medioambientales, tales como biológicos (acumulación y transporte mediante los organismos marinos), químicos (reacciones con otras sustancias y transformaciones a otras fases, por ejemplo, en gases o en productos sólidos), físicos (mezcla, coagulación, absorción, etc.) y mecánicos (transporte mediante las corrientes o estructuras dinámicas oceánicas, deriva, etc.). En la mayoría de los procesos de mezcla en el océano intervienen tanto la advección como la difusión de sustancias, a este efecto combinado se le denomina dispersión (Dias Soarez, 1994).

La **dispersión mecánica** es otro proceso que actúa separando las partículas disueltas, diluyendo el soluto en el agua y reduciendo su concentración. Este proceso es debido a que la solución que contiene el soluto no viaja a velocidad constante y por lo tanto se produce un cierto grado de mezcla a través del tubo de flujo. La variabilidad en la distribución de velocidades se produce por efecto de la aceleración de agua en poros más pequeños o debido a la tortuosidad del medio poroso, en caso de dispersión subterránea. La mezcla que ocurre a lo largo de la dirección del flujo se denomina dispersión longitudinal. Además, un frente de soluto que avanza tiende a dispersarse en direcciones perpendiculares al flujo debido a que en a las líneas de flujo pueden divergir; el resultado de esta mezcla se denomina dispersión transversal.

El T_{90} se define como el decaimiento bacteriano que sufren las bacterias al llegar a un ambiente hostil como lo es para ellas el ambiente marino, a su vez se define como el tiempo al cual mueren el 90% de las bacterias. En los trabajos consultados, se afirma que el decaimiento de las bacterias puede resultar de una, o de una combinación de varios factores fisicoquímicos y biológicos interrelacionados, en los que se incluyen: la presencia de sustancias tóxicas en aguas del mar; la adsorción de las bacterias y su floculación y/o su sedimentación; la acción destructiva de la luz solar, la falta de nutrientes requeridos; la presencia de bacteriófagos; la utilización de bacterias por parte de protozoos y otros predadores como alimentos, los efectos competitivos y antagonistas de otros organismos. El efecto individual de cada uno de estos factores es muy variable, de manera que no es posible llegar a una determinación de cuál de ellos es el más importante.

Muchos investigadores han estudiado la supervivencia de las bacterias en el mar y han concluido que su decaimiento puede ser el resultado de cualquier, o una combinación de varios, factores fisicoquímicos y biológicos interrelacionados, incluyendo:

- (a) la presencia de sustancias tóxicas en aguas marinas;
- (b) la adsorción de bacterias y su floculación y/o sedimentación;
- (c) la acción destructiva de la luz solar;
- (d) la falta de nutrientes requeridos;
- (e) la presencia de bacteriófagos;
- (f) la utilización de bacterias por parte de protozoos y otros predadores como alimentos;
- (g) los efectos competitivos y antagónicos de otros microorganismos.

Los investigadores han hecho notar que todos los factores mencionados pueden ser significativos, pero que el efecto individual de cada uno de ellos es altamente variable, de tal forma que no se puede determinar consistentemente qué factor solo puede ser el de mayor importancia (CEPIS, 2000).

La medición de T_{90} se puede efectuar en varias formas: midiendo coliformes en una mancha descargada en el lugar del futuro emisario, marcada con rodamina, o una medición *in situ* en mancha existente, usando flotadores en un área de descarga existente de aguas cloacales. Se puede también incubar agua de mar mezclada con agua cloacal, en un tambor de 200 lt y medir los coliformes cada 20 minutos.

A continuación, se muestra algunos valores típicos de T_{90} .

Tabla 4: Ubicación y diseño de emisarios submarinos.(Cepis,2000)

Ubicación	Valores típicos de T_{90} (horas)
Honolulu, Hawái	0,75
Bahía de Mayagüez, puerto Rico	0,7
Montevideo, Uruguay	1,5
Niza, Francia	1,1
Maceió, Brasil	1,35
Cartagena, Colombia	4,4
Penco-Lirquen, Chile	1,5



6. MODELOS EMPLEADOS.

6. MODELOS EMPLEADOS

Delft 3D utiliza dos modelos, un modelo hidrodinámico (Flow) encargada de resolver las ecuaciones del flujo dada unas condiciones previas y los resultados hidrodinámicos se acoplan al modelo de calidad de agua (D-Waq).

6.1 Modelo Flow (hidrodinámica)

Flow resuelve las ecuaciones de Navier Stokes para un flujo incompresible, DELFT3D resuelve las ecuaciones no lineales en aguas poco profundas. Las ecuaciones de aguas someras (SWE por sus siglas en inglés: Shallow Water Equations) se obtienen promediando la ecuación de Navier-Stokes en la dirección vertical. Varias hipótesis se han hecho para derivar estas ecuaciones: la hipótesis principal es que la escala de longitud horizontal es mucho mayor que la escala de longitud vertical. Esta suposición reduce la ecuación de momento vertical a una ecuación de la presión hidrostática. Mientras que esto es una suposición válida en la resolución gruesa, el cuidado adicional se debe tomar en los casos de resoluciones muy finas, así como en aquellos casos en los que la interacción de flujo de fluido con la batimetría en la parte inferior es el proceso dominante (Delft 3D, 2012). En los modelos 3D de las velocidades verticales se calculan a partir de la ecuación de continuidad. El conjunto de derivadas parciales de las ecuaciones en combinación con un conjunto adecuado de las condiciones iniciales y de contorno se resuelve en una cuadrícula de diferencias finitas. El conjunto de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales en combinación con un apropiado conjunto de condiciones iniciales y de contorno es resuelto en una malla de diferencias finitas utilizando el método RANS (*Reynolds Averaged Navier Stokes*). Las fluctuaciones turbulentas se incluyen en el modelo por medio de los esfuerzos de Reynolds, definidos a través del modelo de cierre de turbulencia, entre los cuales cabe mencionar el k-l o el k- ϵ (Uittenbogaard & van Kester, 1992).

La solución numérica de las ecuaciones hidrodinámicas requiere la discretización espacial (horizontal) del área de estudio. Con este fin se superpone sobre el dominio de cálculo una malla con un número apropiado de celdas, dependiendo del detalle requerido por la tipología del problema a estudiar (oleaje, corrientes, entrada de ríos) y por la cercanía a las zonas de mayor interés (desembocadura de los ríos, punto de toma de agua).

En las simulaciones 3D, la dirección vertical se discretiza a través de una malla con sistema coordenado tipo sigma " σ ", introducido por Philips (1957) donde las capas se dividen proporcionalmente y están limitadas por dos planos, de los cuales uno se aproxima a la superficie libre del agua y el otro a la topografía del fondo.

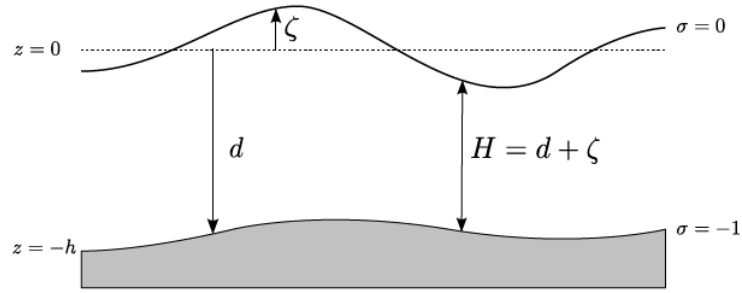


Ilustración 25: Definición de profundidad (Delft 2012).

Donde la coordenada σ está definida como:

$$\sigma = \frac{Z - \zeta}{d + \zeta} = \frac{Z - \zeta}{H} \quad (5)$$

Donde:

Z Es la coordenada física espacial

ζ Es la altura a superficie libre sobre la superficie (en $z = 0$).

d la profundidad del plano de superficie

H La profundidad total del agua,

FLOW a su vez soporta dos sistemas de coordenadas:

Coordenadas cartesianas (ξ, η)

Coordenadas esféricas (λ, ϕ)

Donde las coordenadas esféricas son un caso especial de coordenadas curvilíneo ortogonal con:

$$\xi = \lambda$$

$$\eta = \phi$$

$$\sqrt{G_{\xi\xi}} = R \cos \phi$$

$$\sqrt{G_{\eta\eta}} = R$$

En el cual λ es la longitud, ϕ es la latitud y R es el radio de la tierra (6378.137 KM, WGS84). $\sqrt{G_{\xi\xi}}$ Y $\sqrt{G_{\eta\eta}}$ son coeficientes utilizados para transformar coordenadas curvilíneas a coordenadas rectangulares. El parámetro de coriolis depende de la latitud geográfica y la velocidad angular de rotación de la tierra, $f = 2 \sin \phi$ y Bajo el supuesto de aguas poco profundas, la ecuación de momento vertical se reduce a la ecuación de la presión hidrostática. Las aceleraciones verticales debido a la flotabilidad y efectos debidos a variaciones bruscas de la topografía del fondo no se tienen en cuenta, entonces:

$$\frac{dP}{d\sigma} = -g\rho H \quad (6)$$

Además del modelo tipo σ utiliza el modelo Z que permite generar grillas casi papareleas a zonas de interface de densidad. Esto es importante para reducir la mezcla artificial de propiedades escalares como la salinidad y la temperatura.

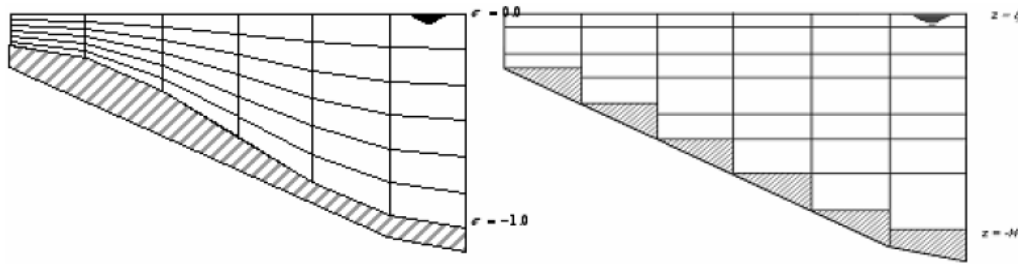


Ilustración 26: Modelo Z- Discretización (Delft 2012)

El número de capas en la vertical es constante para la totalidad del área de estudio. La integración temporal usada por el esquema de solución numérica (método *Cyclic*) se basa en el método ADI (*Alternating Direction Implicit*). Este esquema no impone restricciones al intervalo temporal de cálculo. En cada problema examinado se consideró un intervalo temporal apropiado determinado por el tipo de problema involucrado y estimado con el cálculo del número de Courant-Friedrichs-Lewy (CFL) para no afectar a la calidad de la solución (Deltares, 2014).

$$CFL = \frac{\Delta t \sqrt{gH}}{\{\Delta x, \Delta y\}} < 10 \quad (7)$$

Δt es el paso de tiempo, g es la aceleración de gravedad, H es el tirante medio, $\{\Delta x, \Delta y\}$ es un valor característico de las dimensiones de la malla en ambas direcciones, comúnmente el valor mínimo.

En coordenadas curvilíneas, la ecuación de continuidad promediada para fluido incompresible ($\nabla \cdot \vec{v} = 0$) está dada por:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{\sqrt{G_{\eta\eta}}\sqrt{G_{\zeta\zeta}}} \frac{\partial [(d + \zeta)U \sqrt{G_{\eta\eta}}]}{\partial \zeta} + \frac{1}{\sqrt{G_{\eta\eta}}\sqrt{G_{\zeta\zeta}}} \frac{\partial [(d + \zeta)V \sqrt{G_{\zeta\zeta}}]}{\partial \eta} = Q \quad (8)$$

Donde Q representa el caudal por unidad de área, U y V son las velocidades horizontales promediadas en la vertical, d es la profundidad por debajo de un nivel de referencia, ζ es el

nivel del pelo libre con respecto a un nivel de referencia, ζ y η representan las coordenadas cartesianas curvilíneas, $G_{\eta\eta}$ y $G_{\xi\xi}$ se relacionan con el radio de la Tierra R y la latitud ϕ . Por otra parte, las ecuaciones de cantidad de movimiento en las direcciones curvas ζ y η están dadas por las expresiones a continuación respectivamente:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial u}{\partial \zeta} + \frac{v}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial v}{\partial \eta} + \frac{w}{d + \zeta} \frac{\partial u}{\partial \sigma} - \frac{v^2}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial \zeta} \\ + \frac{uv}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial \eta} - fv \\ = - \frac{1}{\rho_0 \sqrt{G_{\xi\xi}}} P_\zeta + F_\zeta + \frac{1}{(d + \zeta)^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(uv \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right) + M_\zeta \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{u}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial v}{\partial \zeta} + \frac{v}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial v}{\partial \eta} + \frac{w}{d + \zeta} \frac{\partial v}{\partial \sigma} - \frac{u^2}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial \eta} \\ + \frac{uv}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial \eta} - fu \\ = - \frac{1}{\rho_0 \sqrt{G_{\eta\eta}}} P_\eta + F_\eta + \frac{1}{(d + \zeta)^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(uv \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) + M_\eta \end{aligned} \quad (10)$$

Donde u , v y w son las velocidades locales según las tres direcciones principales ζ , η y σ , f es el parámetro de Coriolis, σ es la coordenada vertical escalada. Las variaciones de densidad son despreciables, excepto en los términos de la presión P_ζ y P_η . Las fuerzas F_ζ y F_η representan el balance de las tensiones de Reynolds horizontales. M_ζ y M_η representan la contribución debido a las fuentes o sumideros externos de cantidad de movimiento. Las tensiones de Reynolds son modeladas usando el concepto de viscosidad turbulenta. El coeficiente de viscosidad vertical está definido por:

$$v_v = v_{mol} + MAX(v_{3D}, v_v^{back}) \quad (11)$$

Donde v_{mol} se corresponde a la viscosidad cinemática del agua, v_{3D} es la componente de la viscosidad turbulenta en la vertical, v_v^{back} es la background eddy viscosity (es un mínimo valor asignado a la contribución turbulenta). Usualmente, las celdas de la grilla son muy amplias y el paso del tiempo es muy grande para resolver la turbulencia. El proceso de turbulencia es un proceso de sub-escala de malla por lo que se deberá elegir las ecuaciones necesarias para asegurar el cierre del modelo. En simulaciones con las ecuaciones del método RANS, la redistribución de la cantidad de movimiento debido a la variación vertical de la velocidad horizontal es denotada como dispersión.

En modelos 2D, las aceleraciones verticales son despreciadas en la ecuación de la cantidad de movimiento. Los coeficientes de viscosidad y de difusión de fondo horizontal 2D, v_H^{back} y D_H^{back} (es un coeficiente de difusión horizontal que debe de definir el usuario, introducido para la calibración), deben ser especificados por el usuario en el menú del programa. Adicionalmente, el delft3D, contiene el modelo de turbulencia en 2D denominado HLES.

En modelos 3D, la velocidad vertical es computada desde la ecuación de continuidad. Además la viscosidad turbulenta v_H , esta principalmente asociada a la contribución del movimiento de la turbulencia horizontal y es mayor que la viscosidad turbulenta vertical v_v por la superposición de tres partes:

$$v_H = v_v + v_{SGS} + v_v^{back} \quad (12)$$

Una parte debida a la turbulencia horizontal asociada a la sub-escala de malla (v_{SGS}), otra debida a la turbulencia en 3D (v_v) y la última debida a la dispersión asociada al método RANS (v_v^{back}).

Los modelos de cierre del Delft3D para determinar la viscosidad y la difusión turbulenta (Deltares, 2014) son: (i) de coeficientes constantes; (ii) algebraico; (iii) k-l; (iv) k- ϵ .

6.2 Modelo D-Waq (calidad de agua)

El modelo de calidad de agua es acoplado al modelo FLOW de hidrodinámica, utilizando las ecuaciones de advección, difusión y reacción a partir de la conservación de la masa en pasos de tiempo y aplicando el modelo de decaimiento bacterial de Mancini.

6.2.1 Ecuación de advección-difusión-reacción en D-Waq

La difusión se refiere normalmente a la difusión molecular de los gases. En la ecuación de transporte, el coeficiente de dispersión es sinónimo de todo el transporte que no pudo ser resuelta con la red finita del módulo Delft3D-FLOW. Esto implica que la dispersión es mucho mayor que la difusión molecular. En primer lugar, a pequeña escala movimiento caótico de las parcelas de agua (debido a las fluctuaciones de densidad en la columna de agua) dará lugar a la difusión turbulenta. Sin embargo, este término puede ser muy pequeño. Mayor dispersión entra en el esfuerzo de modelado por pequeños remolinos de escala que no fueron resueltas en la grilla computacional. Estos son los términos que tenemos que tratar en el modelado 3D.

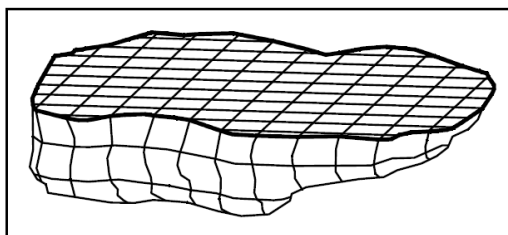


Ilustración 27: Ejemplo discretización espacial 3D (Delft 2012)

En 1D y 2D los modelos de difusión puede ser grande que el 3D y necesita una atención seria, ya que puede explicar gran parte de los procesos de mezcla en la columna de agua. En modelización de la calidad del agua, se refiere a menudo como "dispersión" ya que mezcla el material descargado.

Para el modelo 1-dimensional partimos de la ecuación de advección-difusión, con los términos de reacción y términos fuente, e integrados sobre "y" y dirección "z".

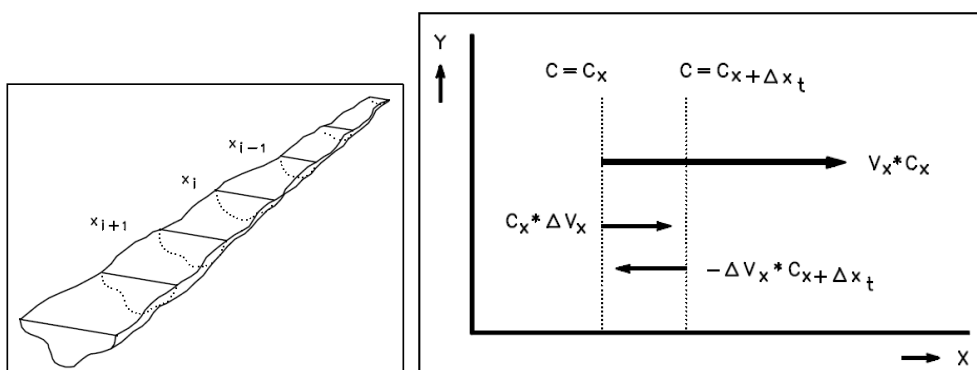


Ilustración 28: Modelado en 1-D en estuario (Delft 2012).

Para el modelo 1-dimensional partimos de la ecuación de advección-difusión, con los términos de reacción y términos fuente, e integrados sobre "y" y dirección "z".

La ecuación de **advección-difusión-reacción en D-Waq** dice lo siguiente:

$$\frac{dC}{dt} = -\vec{u} \cdot \vec{\nabla}C + \vec{\nabla} \cdot (\vec{D} \cdot \vec{\nabla}C) + S + f_R(c, t) \quad (13)$$

Donde:

$\vec{u} = (u_x, u_y, u_z)$ = es la velocidad del flujo

$\vec{\nabla}C = (\frac{\partial C}{\partial x}, \frac{\partial C}{\partial y}, \frac{\partial C}{\partial z})$ = gradiente de concentración

$$\vec{D} = \begin{pmatrix} D_{xx} & D_{yx} & D_{zx} \\ D_{xy} & D_{yy} & D_{zy} \\ D_{xz} & D_{yz} & D_{zz} \end{pmatrix}$$

S= termino fuente ó sumidero

$f_R(c, t)$ = reacciones (químicas, biológicas, bacteriológicas o otras reacciones)

Por ejemplo $f_R(c, t)$ puede ser una reacción bacteriológica de primer orden; $f_R(c, t) = -kt$.

Para el flujo incompresible, la ley de conservación de la masa, también es conocida como ecuación de balance del volumen, que está dada por; $\nabla u = 0$.

El balance del volumen se calcula por Delft3D-FLOW, que es el programa de Deltares para la simulación de fenómenos de flujo y transporte non-steady resultante de las mareas y condiciones meteorológicas forzadas. En lo que hay que destacar que los campos de flujo deben satisfacer la ecuación de balance de volumen.

El método de volúmenes finitos resuelve el transporte (y reacciones) del agua y otras sustancias con las células computacionales (grillas). La ecuación exacta (sin ningún tipo de discretización) se puede obtener para el transporte de flujo entre estas células, Estas ecuaciones se obtienen mediante la integración de la ecuación de **advección-difusión-reacción** sobre las celdas, y posteriormente la aplicación del teorema Gauss:

$$\int_V \vec{\nabla} \cdot \vec{W} dV = \oint_A \vec{W} \cdot \vec{n} dA \quad (14)$$

Donde \vec{W} es un vector arbitrario, y dando como resultado las siguientes ecuaciones:

$$\frac{dM}{dt} + \oint_A (\vec{u}C) \cdot \vec{n} dA = \oint_A (\vec{D} \cdot \vec{\nabla}C) \cdot \vec{n} dA \quad (15)$$

Que es conocida como la ecuación de advección- difusión de forma del flujo. Y la ecuación de continuidad:

$$\frac{dV}{dt} + \oint_A \vec{u} \cdot \vec{n} dA = 0 \quad (16)$$

Donde:

M = masa de la sustancia en la celda

V = volumen

A = área de una cara del volumen

dA = elemento infitesimal areal del elemento

\vec{n} = vector unitario normal

\vec{u} = velocidad del flujo

Estas ecuaciones siguen siendo exactas, pero contienen menos detalles que las ecuaciones en derivadas parciales. Las concentraciones dentro de las células ya no se utilizan (sólo concentraciones en la cara de células y los gradientes de concentración necesitan ser

conocidos). El volumen promedio también pierde alguna información geométrica (sólo la forma de la cara de la célula y sus vínculos con sus células vecinas son importantes).

La concentración media en una celda computacional está dada por:

$$\bar{C} = \frac{M}{V} \quad (17)$$

Donde \bar{C} es la concentración media, M la masa en una célula y V es el volumen de la célula. Por lo tanto, se supone que el valor medio de concentración en un segmento es representativo de la concentración en todo el volumen.

Las integrales de cada cara representan los flujos de masa entre los segmentos. Los paquetes Hidrodinámicos solamente calculan el flujo de agua a través de una cara de células, que no dan una descripción detallada de las velocidades para los pequeños elementos de cada cara. Por lo tanto, se introduce la velocidad de flujo en la ecuación de transporte:

$$\oint_A (\vec{u}C) \cdot \vec{n} dA = \sum_{j=1,n} \oint_{A_{i \rightarrow j}} (\vec{u}C) \cdot \vec{n} dA \approx \sum_{i,n} (Q \cdot \vec{C})_{i \rightarrow j} \quad (18)$$

Dónde:

$$Q_{i \rightarrow j} = \int_{A_{i \rightarrow j}} (\vec{u} \cdot \vec{n}) dA = \text{Tasa de flujo}$$

$$\tilde{C} = \frac{\oint_{A_{i \rightarrow j}} (\vec{u}C) \cdot \vec{n} dA}{A_{i \rightarrow j}} = \text{Concentracion promedio en la cara de cada celula}$$

Con n el número de células vecinas. El índice puntero representa los intercambios entre los volúmenes i y j. Una ecuación de flujo similar para flujos de difusión se puede dar. El volumen resultante promedió puede escribirse como:

$$\frac{d(V\bar{C})}{dt} + \sum_{j=1,n} (Q\tilde{C})_{i \rightarrow j} = \sum_{j=1,n} D \left(\frac{\partial C}{\partial x} \right)_{i \rightarrow j} A_{i \rightarrow j} \quad (19)$$

Reescribiendo la ecuación de continuidad con el teorema de Gauss, quedando:

$$\frac{d(V\tilde{C})_i}{dt} = \sum_{j=1,n} Q_{i \rightarrow j} \quad (20)$$

Estas ecuaciones las resuelve Delft a través de varios métodos a elección del usuario, a lo que llama esquemas. En total el usuario puede escoger entre 22 esquemas, Delft coloca por defecto y recomienda el esquema 15. Que se trata un método iterativo que tiene en cuenta los residuos de cada solución en cada paso de tiempo. Este método se llama el método residual mínimas generalizadas (GMRES) (Saad y Schultz, 1986). Donde la convergencia está siempre garantizada, Cuando el residuo (normalizado) es lo suficientemente pequeño (por debajo de un umbral de convergencia), se supone que la convergencia y el proceso iterativo se detiene. El umbral de convergencia es por defecto 10^{-5} .

6.2.2 Discretización en las ecuaciones D-Waq

Las características importantes de los esquemas numéricos son la exactitud (determinado por el orden del esquema), robustez (estabilidad y positividad) y la eficiencia. Todos los esquemas numéricos se pueden derivar de la ecuación básica:

$$\frac{d(V\bar{C})_i}{dt} - \sum_{j=1,n} (Q\tilde{C})_{i \rightarrow j} + \sum_{j=1,n} D \left(\frac{\partial C}{\partial x} \right)_{i \rightarrow j} A_{i \rightarrow j} + f_R(\bar{C}_i, t) + S_i \quad (21)$$

Donde se hace la diferencia entre \bar{C} y \tilde{C} , donde la primera es la concentración promedio en la célula y la segunda es la concentración promedio en una cara de la célula. Y n es número de células vecinas. A su vez existe una discretización del tiempo:

$$\frac{C_{t+\Delta t} - C_t}{\Delta t} + H.O.T. = (1 - \theta) + (L_c)_{t+\Delta t} \quad (22)$$

Sí:

$\theta = 0.0$ Es un esquema explícito (regla de Euler)

$\theta = 0.5$ Es un esquema implícito (regla de Euler)

$\theta = 1$ Es un esquema semi-implícito (regla trapezoidal)

Dado que $a \frac{\partial c}{\partial t} = L_c$ le llaman el operador diferencial en un paso de tiempo. El H.O.T. (Higher-Order-Terms), como se podrá denotar el lado derecho D-Waq expande a una segunda derivada para dar un criterio de estabilidad.

6.2.3 Criterio de estabilidad

La importancia del Factor θ es que los esquemas de solución. Sí $\theta \geq 0.5$ es incondicionalmente estable (robustez). Para esquemas $\theta < 0.5$ la estabilidad numérica no siempre está garantizada. En este caso, los criterios de estabilidad deben ser satisfechos. Si estos criterios no son satisfechos, por pequeño y redondo de errores se podría amplificar de forma rápida y puede ocurrir que los resultados sean completamente erróneos e incluya un desbordamiento. Otro factor es la robustez positividad. Sin ningún tipo de medidas especiales (por ejemplo, la filtración) sólo con esquemas $\theta = 0$ ó $\theta = 1$ son en definida positiva (precisión y robustez). Esquemas con $\theta = 0.5$ (exactamente) son incondicionalmente estables pero sufren oscilaciones graves y resultados negativos. Por lo tanto, no son muy populares en el modelado de la calidad del agua, aunque pueden ser computacionalmente eficiente (ADI) y precisa.

Para todos los esquemas $\theta = 0.0$ la condición de estabilidad está dada por el número de CFL (Courant-Friedrichs-Lewy):

$$\Delta t < \frac{V_i}{\sum_{j,n} Q_{i \rightarrow j}} \quad (23)$$

Este criterio debe ser satisfecho por todas las células computacionales de forma simultánea. Esto significa, en palabras que: "El volumen de agua reemplazado dentro de cualquier celda en un paso de tiempo debe ser siempre menor que el volumen de la celda". Además, existe un criterio de estabilidad derivado de la dispersión.

$$\Delta t < \frac{1}{\frac{2 \sum D_{xx} \left(\frac{A_{yz \ i \rightarrow j}}{V_i} \right)}{\Delta x} + \frac{2 \sum D_{yy} \left(\frac{A_{xz \ i \rightarrow j}}{V_i} \right)}{\Delta x} + \frac{2 \sum D_{zz} \left(\frac{A_{xy \ i \rightarrow j}}{V_i} \right)}{\Delta x} + \frac{\sum_i Q_{i \rightarrow j}}{V_i}} \quad (24)$$

A partir de esta fórmula, se puede ver porqué la estabilidad puede ser un problema en los cálculos 3D. El término que contiene la dispersión vertical puede ser muy grande, debido a las pequeñas dimensiones de malla en dirección vertical, lo que será muy grande para aguas poco profundas. Este problema en el 3D, casi siempre se requieren factores implícitos en dirección vertical, por eso D-Waq tiene esos esquemas para utilizar diferentes métodos numéricos (con diferentes θ) en dirección horizontal y vertical.

6.2.4 Discretización numérica en transporte y difusión

En esta sección se explican los esquemas numéricos de calidad de agua. La calidad en D-Waq se calcula a partir de la conservación de la masa en pasos de tiempo, en los términos de:

- Transporte advectivo.
- Transporte difusivo.
- Reacción.
- Fuente ó sumidero.

Utiliza el siguiente esquema a fin de proceder en un paso en el tiempo:

$$\nabla M_i^{t+\Delta t} + \Delta t \left(\frac{\Delta M}{\Delta t} \right)_{Tr} + \Delta t \left(\frac{\Delta M}{\Delta t} \right)_R + \Delta t \left(\frac{\Delta M}{\Delta t} \right)_s \quad (25)$$

$$C_i^{t+\Delta t} = \frac{M_i^{t+\Delta t}}{V_i^{t+\Delta t}} \quad (26)$$

Con

$\left(\frac{\Delta M}{\Delta t} \right)_{Tr}$ = transporte advectivo y difusivo derivado de la masa

$\left(\frac{\Delta M}{\Delta t} \right)_R$ = reacciones derivado de la masa

$\left(\frac{\Delta M}{\Delta t}\right)_s$ = fuentes ó sumideros derivados de la masa

Todos los esquemas numéricos en calidad D-Waq (excepto para el esquema 2) utilizan de reacciones y términos fuente de primer orden. Es importante darse cuenta de sí mismo que la contribución de los procesos adicionales a las ecuaciones del modelo se resuelve numéricamente a través de una integración explícita en el tiempo:

$$C_i^{t+\Delta t} = C_i^t + \Delta t \left(\frac{\partial C}{\partial t}\right)_t \quad (27)$$

El nuevo valor de la concentración se calcula a partir del valor anterior, utilizando la derivada de tiempo que se multiplica con el paso de tiempo. La derivada de tiempo se calcula utilizando las concentraciones y obligando a las funciones a niveles de tiempos anteriores. Tal técnica solución se caracteriza por un límite de estabilidad para el paso de tiempo: si el paso de tiempo es demasiado grande en comparación con la velocidad de los procesos implicados, el cálculo se vuelve inestable o inexacto.

Para el transporte dispersivo, los gradientes de concentración se discretizan:

$$\frac{\partial \tilde{C}}{\partial x} \approx \frac{\bar{C}_j - \bar{C}_i}{\Delta X_{i \rightarrow j}} \quad (28)$$

Con concentraciones \bar{C}_j y \bar{C}_i a cada lado de la cara entre los segmentos i y j. El resto de esta sección se refiere a derivados de masas de transporte advectivo. El flujo de ecuación básica (flujo de masa) para D-Waq, con gradientes discretizados centralmente. para la difusión, y con un θ en el tiempo es:

$$\begin{aligned} & \frac{M_i^{t+\Delta t} - M_i^t}{\Delta t} + \dots (H.O.T.) \quad (29) \\ & = (1 - \theta) + \left[- \sum_{j=1,n} (Q\tilde{C})_{i \rightarrow j} + \sum_{j=1,n} D_{i \rightarrow j} \frac{\bar{C}_j - \bar{C}_i}{\Delta X_{i \rightarrow j}} A_{i \rightarrow j} \right]^t \\ & + (\theta) + \left[- \sum_{j=1,n} (Q\tilde{C})_{i \rightarrow j} + \sum_{j=1,n} D_{i \rightarrow j} \frac{\bar{C}_j - \bar{C}_i}{\Delta X_{i \rightarrow j}} A_{i \rightarrow j} \right]^{t+\Delta t} \\ & + \left(\frac{\Delta M}{\Delta t}\right)_R^t + \left(\frac{\Delta M}{\Delta t}\right)_s^t \end{aligned}$$

Los esquemas D-Waq ahora difieren en la elección del metodo implícito de integración en el tiempo θ , La elección del promedió concentración en cada cara y el número de H.O.T. que se utilizan para calcular derivadas de orden superior en el tiempo. Para algunos correcciones de los esquemas son usados para amortiguar las oscilaciones. Estas correcciones no se incorporan en esta ecuación, pero se describirán en los esquemas específicos.

6.2.5 Modelo de decaimiento bacteriano D-Waq

El modelo D-Waq, se basa en el modelo de decaimiento bacteriano de Mancini, publicado bajo el título “Numerical estimates of coliform mortality rates under various conditions.” En 1978. En el cual, desarrolla una relación que puede ser utilizada para generar una estimación de las tasas de mortalidad de coliformes en los cuerpos de agua naturales. Estimaciones de la tasa de mortalidad pueden incluir los efectos individuales de temperatura, agua de mar, la radiación solar y el coeficiente de extinción de la luz. Comparando las tasas de mortalidad observadas y calculadas. Presentando datos sobre las tasas de mortalidad de coliformes de la literatura para proporcionar indicaciones de variabilidad de las tasas.

Debido a que este artículo no es de libre distribución, para describir el modelo de Mancini nos basamos en el libro de “Principles of surface water quality modelling and control” de Thomann & Mueller, manuales Delft, y en el libro Surface wáter – quality modelling de Steven Chapra. Los cuales mencionan el modelo.

A continuación, se presenta el modelo de Mancini de modo general. Para así realizar una pequeña descripción de cómo lo utiliza D-Waq y por último realizar unas conclusiones generales.

6.2.6 Modelo de Mancini

La supervivencia, la tasa de decaimiento y la distribución bacteriana depende del cuerpo receptor (por ejemplo, estuario, lagos, ríos, mar, etc.) y está asociado este fenómeno cinético del comportamiento de los organismos después de realizada la descarga (Mueller T. &., 1987):

- Luz del sol
- Temperatura
- Salinidad
- Depredación
- Deficiencia de nutrientes
- Sustancias tóxicas
- Asentamiento de los organismos después de la descarga
- Resuspensión de partículas asociadas con la sorción de organismos
- Crecimiento bacteriano en cuerpos de agua

Estos efectos varían y dependen de la situación en que se presentan, la tasa de decaimiento K_B (1 / día) se puede escribir como:

$$K_B = K_{B1} + K_{BI} + K_{BS} - K_a \quad (30)$$

Donde

K_{B1} = tasa de mortalidad básica como función de la temperatura, salinidad y depredación

K_{BI} = tasa de decaimiento debido a la luz

K_{BS} = pérdida por resuspensión

K_a = tasa de crecimiento

Es común que esta tasa de decaimiento bacteriana está relacionada con el tiempo, a través T_{90} , que es tiempo al cual la mortalidad es del 90%. Debido a que es un decaimiento de tipo exponencial, tenemos que:

$$0.10 = e^{-K_B (T_{90})} \quad (31)$$

Es decir:

$$T_{90} = \frac{2.3}{K_B} \quad (32)$$

Este K_B posee un rango dependiendo, si son virus o bacterias, por ejemplo para el grupo de coliformes totales, varía en estudios desde 1.4 /día en agua dulce y hasta 84/día en agua de mar.

TABLE 5.9 SOME REPORTED OVERALL DECAY RATES FOR BACTERIA AND VIRUSES

Organism	K_B (day ⁻¹)	Remarks	Reference ^a
Coliforms			
Total coliform	1-5.5	Freshwater—summer (or 20°C), seven locations	1
	0.8	Average freshwater, 20°C	2
	1.4 (0.7-3.0)	Seawater, 20°C	2
	48(8-84)	From 14 ocean outfalls (variable temperature)	1
Total or fecal	0-2.4	New York Harbor Salinity: 2-18‰ Dark Samples	3
	2.5-6.1	New York Harbor Salinity: 15‰ Sunlighted Samples	3
Fecal coliform	37-110	Seawater, sunlighted	12
E. coli	0.08-2.0	Seawater, 10-30‰	13
Fecal streptococci			
<i>S. faecalis</i>	0.4-0.9	Freshwater—20°C	4
	0.1-0.4	Freshwater—4°C	4
	0-0.8	Kanawha River—20°C	5
	0.3	Stormwater—20°C; 0-3 days	6
	0.1	Stormwater—20°C; 3-14 days	6
	1.0-3.0	Hamilton Bay, Lake Ontario, 18°C; 0-10 days	7
	0.05-0.1	Hamilton Bay, Lake Ontario, 10-28 days	7
<i>S. bovis</i>	1.5	Stormwater—20°C	6
Fecal streptococci	18-55	Seawater, sunlighted	12
Pathogens			
<i>Salmonella typhimurium</i>	1.1	Stormwater—20°C; 0-3 days	6
	0.1	Stormwater—20°C; 3-14 days	6
<i>Salmonella thompson</i>	0.5-3	Hamilton Bay, Lake Ontario; 18°C; 0-10 days	7
	0.1	Hamilton Bay, Lake Ontario; 18°C; 10-28 days	7
Viruses			
Coxsackie	0.77	Lake Wingra, 21-23°C	8
	0.12	Marine waters—25°C	9
	0.03	Marine waters—4°C	9
Echo 6	0.08	Marine waters—25°C	9
	0.03	Marine waters—4°C	9
Polio type 1	0.16	Marine waters—25°C	9
	0.05	Marine waters—4°C	9
	0.26	Lake Wingra, 21-23°C	8
Enteric (polio, Echo, coxsackie)	0.15	Tanana River Alaska, 0°C ice cover	10
	1.1-2.3	Hawaiian Ocean, 24°C	11

^aReferences: (1) Mitchell and Chamberlain (1978); (2) Mancini (1978); (3) Hydrosience (1977b); (4) USEPA (1974); (5) Kenner (1978); (6) Geldreich and Kenner (1969); (7) Dutka and Kwan (1980); (8) Herrmann et al. (1974); (9) Colwell and Hetrick (1975); (10) Dahling and Safferman (1979); (11) Fujioka et al. (1980); (12) Fujioka et al. (1981); (13) Anderson et al. (1979).

Ilustración 29: Valores K_B para virus y bacterias. (Mueller & Thoman, 1987).

Los E. Coli forman parte de los coliformes totales esta bacteria es más resistente, por lo cual su tasa de decaimiento es menor.

El modelo de Mancini, (Mueller T. &, 1987) evaluó los datos disponibles en su momento que incorporaban salinidad, temperatura y radiación solar. Con base a su trabajo y discusión sobre los efectos de la luz solar, K_B se puede escribir como:

$$K_B = (0.8 + 0.006 (\% \text{ seawater}))1.07^{T-20} + \frac{\alpha I_o(t)}{K_e H} (1 - e^{-K_e(H)}) + \frac{V_s}{H} \quad (33)$$

Donde V_s , da cuenta del grado de resuspensión, posee unidades de m/día, y puede tomar valores negativos, positivos o nulo si no se tiene en cuenta.

6.2.7 Implementación del modelo Mancini en D-Waq

El modelo D-Waq utiliza el modelo de Mancini, acoplado a las ecuaciones de hidrodinámica resueltas previamente. En otras palabras, una vez resuelta la hidrodinámica exporta un archivo que conlleva alturas, velocidades, pasos de tiempo, enmarcadas en columnas de agua que interactúan con un balance de masa y a partir de esa solución acopla la dispersión, difusión y concentración del contaminante.

Las ecuaciones que se acoplan a la hidrodinámica son:

$$flux = (Mrt E. coli)(E. coli) \quad (34)$$

$$Mrt E. coli = ((Rco + Mrt Cl) \vartheta^{T-20} + Mrt Rad) \quad (35)$$

$$Mrt cl = (Kcl)(Cl) \quad (36)$$

$$Mrt Rad = (Rc rad)(DL)(I)(fuv) \left(\frac{1 - e^{(-Ext uv(H))}}{Ext uv(H)} \right) \quad (37)$$

Donde, la concentración de cloruro se deriva de la salinidad. La radiación solar en la superficie, varía con la profundidad, la cual se calcula a partir de la radiación total (véase ilustración 26). La extinción de la luz UV depende de la concentración de la materia en suspensión y extinción respecto al fondo de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$Ext uv = Ext bak + (Ext Im1)(IM1) \quad (38)$$

$$I = I_0 e^{(-Ext uv(H))} \quad (39)$$

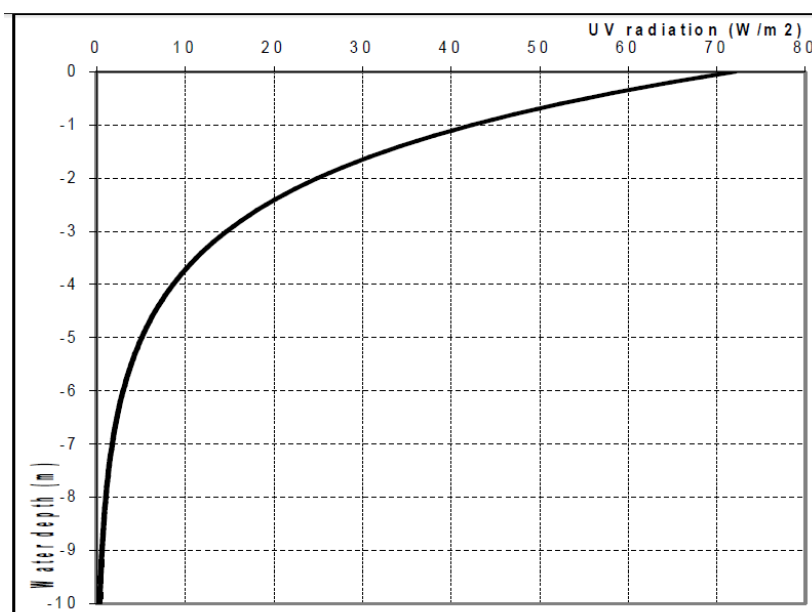


Ilustración 30: Variación de la radiación solar respecto a la profundidad. (Delft 3D, 2012).

A continuación de resumen las características, unidades y posibles rangos que puedan tomar. Ver tabla N°5.

Tabla 5: Variables, características, unidades y rangos que utiliza D-Waq

Item	Descripción	Unidades	valor por defecto	Editable	rango
F_{uv}	Fracción de radiación UV visible en una columna de agua.	-	0.12	No	-
H	Profundidad del agua	M	tomado de la hidrodinámica	n.a.	-
I	Radiación solar en la capa superior de un segmento	$W \cdot m^{-2}$	Derivada del proceso	n.a.	-
I_0	Radiación solar total en el agua	$W \cdot m^{-2}$	160	n.a.	Depende de la latitud y longitud geográfica
Mrt_{cl}	Mortalidad del cloro (sal)	d^{-1}	n.a.	n.a.	-

<i>Mrt E. Coli</i>	Tasa mortalidad total de los E. Coli	d ⁻¹	n.a.	n.a.	–
<i>Rco</i>	Tasa de mortalidad de primer orden de los E. Coli	d ⁻¹	0.8	Si	0.8 - 5.0
<i>Rc rad</i>	constante de mortalidad de radiación	m ² .W ⁻¹ .d ⁻¹	0.086	No	–
<i>Ext uv</i>	Extinción total por radiación uv.	m ⁻¹	Derivada del proceso	n.a.	--
<i>Ext back</i>	Extinción por profundidad	m ⁻¹	0.08	Si	0.08 - 1
<i>Ext Im1</i>	Taza de extinción de material inorgánica suspendida	m ² .g	0.01	Si	0.01-0.05
Θ	coeficiente de mortalidad debido a la temperatura	-	1.07	No	--
<i>T</i>	Temperatura	°C	15	Si	Depende de las condiciones locales
<i>E. Coli</i>	Concentración de Escherichia Coli	MPN.m ⁻³	Dato de entrada	Si	Depende de las condiciones locales
<i>(Cl)</i>	concentración cloro derivada de la concentración de sal	g.m ⁻³	<i>Dato de entrada</i>	n.a.	Depende de las condiciones locales

6.2.8 Pasos de tiempo – Numero de Courant y Numero de Péclet

La estabilidad hidrodinámica está dada por el número de Courant-Friedrichs-Lewy (CFL):

$$CFL = \frac{\Delta t \sqrt{gH}}{\{\Delta x, \Delta y\}} < 10 \quad (40)$$

El número de Péclet se define a partir del término advectivo, difusivo y longitud del intervalo a analizar. La importancia del número de Péclet, radica esencialmente en que, a través de él, se puede hacer un análisis de la relación que existe entre los términos advectivo y difusivo. Existe un número global ($P_{e\ gl}$) y un número local (P_e):

$$P_{e\ gl} = \frac{|v|l}{2D} \quad (41)$$

Donde l es el tamaño del dominio, v la velocidad del flujo y D el coeficiente de dispersión.

$$P_e = \frac{|v|h}{2D} \quad (42)$$

Para analizar la solución numérica obtenida por los métodos de diferencias finitas o elemento finitos, la solución obtenida de manera analítica de la ecuación diferencial parcial, se necesita tener en cuenta la magnitud de los términos advectivo y difusivo ya que las dificultades que se presentan en la solución del problema de transporte está en función de la relación entre ellos, y dado que el número de Péclet está definido a partir de estos, es de gran importancia analizarlo para eliminar tales dificultades.



7. DATOS UTILIZADOS.

7. DATOS UTILIZADOS

Con base en las variables que conforman el modelo Delft, se realizó una búsqueda amplia de información tanto bibliográfica como de cibergrafía, que permitieran obtener los datos suficientes para la realización de simulaciones pertinentes para este estudio.

Mucha de la información se encontró en la biblioteca del Laboratorio de Hidráulica de la UNC. (Ver anexo 1).

7.1 Radiación solar en la zona.

La radiación solar divide su energía en un 50% rayos infrarrojos, 40% luz visible y un 10% en rayos ultravioletas (UV-A, UV-B y UV-C). La cantidad de calor que puede absorber una superficie determinada depende de la latitud (Latitud: 38°00'08" S), la estación del año y la hora del día. En el caso de Mar del Plata para la latitud en que se encuentra, es máxima en el solsticio de verano (22 de diciembre) con una duración aproximada de 14h 52'. Para el 23 de diciembre y 21 de marzo es de 12 horas y para el solsticio de invierno (22 de junio) alcanza 9hs 31'.

En el análisis de datos de la UNMdP desde 1994, Isla et al (1997) reconoce un aumento de radiación UV entre las 10 y 12 horas, con valores máximos entre las 13 y 14 horas y descensos rápidos entre 15 y 17 horas.

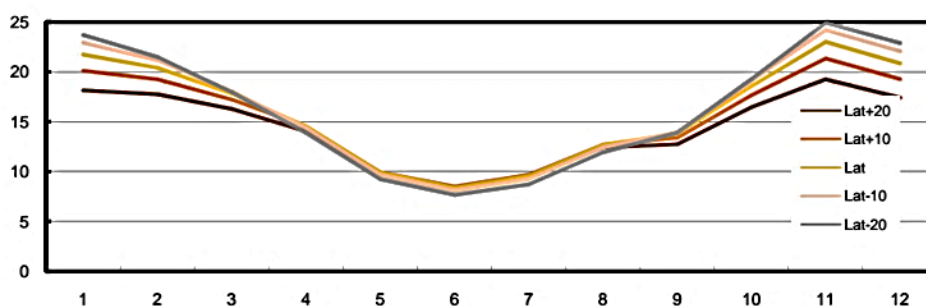
En el caso de la radiación, se tuvo en cuenta el informe de CIHE (centro de investigación hábitat y energía) publicado en su página web (<http://cihe.com.ar>). Ver tabla 6.

Tabla 6: Radiación en Mar del plata (CIHE, 2015).

Radiación solar
Intensidad sobre superficies inclinadas **KWhrs / m2**

Mar del Plata Latitud -38,1

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Kt	0,56	0,55	0,53	0,52	0,46	0,45	0,47	0,5	0,46	0,52	0,6	0,53	
Inclinación													
Lat+20	58,1	18,16	17,76	16,29	14,06	9,76	8,43	9,63	12,44	12,75	16,46	19,25	17,42
Lat+10	48,1	20,12	19,26	17,22	14,46	9,92	8,49	9,69	12,7	13,4	17,67	21,35	19,28
Lat	38,1	21,74	20,41	17,81	14,56	9,89	8,37	9,56	12,7	13,81	18,56	23,02	20,86
Lat-10	28,1	22,95	21,16	18,06	14,37	9,66	8,1	9,24	12,44	13,98	19,11	24,23	22,07
Lat-20	18,1	23,71	21,49	17,95	13,88	9,25	7,67	8,73	11,93	13,9	19,29	24,94	22,89



Haciendo la respectiva conversión se puede notar que la variación de la radiación solar en Mar del Plata tiene un máximo de 600 Wh/m² y un mínimo de 450 Wh/ m².

7.2 Perfiles de temperatura y salinidad.

La Empresa Halcrow (2008), participante de la construcción del emisario submarino de Mar del Plata, fue la encargada de realizar las mediciones de salinidad y temperatura de agua para verano e invierno, proporcionando datos de salinidad y temperatura, variando la profundidad. Ver tablas 7 y 8.

Tabla 7: Estructura de la columna de agua en época de verano . (Halcrow, 2008).

Profundidad (m)	Salinidad (gr/kg)	Temperatura (°C)
0	33,1	15,5
2	33,1	15,5
4	33,3	15,4
6	33,4	15,3
8	33,6	15,2
10	33,6	15,1

Tabla 8: Estructura de la columna de agua en época de invierno. (Halcrow, 2008).

Profundidad (m)	Salinidad (gr/kg)	Temperatura (°C)
0	32,1	9,1
2	32,9	9,1
4	33,0	9,0
6	33,1	9,0
8	33,1	9,0
10	33,1	8,9

Tomando como referencia una salinidad del medio de 33,3 gr/kg y 15,5°C en verano, 33 gr/kg y 9°C para el invierno, en otras épocas del año 13°C y 33 gr/kg. Se considera una temperatura de 13.5°C y salinidad de 0,12 (gr/kg) del efluente cloacal del emisario (Halcrow, 2008).

Si el lector desea ampliar información sobre vientos registrados en la zona, le recomendamos remitirse al anexo de esta tesis.

7.3 Vientos críticos y típicos registrados en la zona

Durante el proceso de consulta se pudo hallar una separata en su edición N°2 del pliego licitatorio donde se muestra todo el análisis de vientos realizado por la Universidad Nacional de Mar del Plata, en la cual se tuvieron en cuenta datos de la Base Naval Argentina de las décadas '60, '70 y '80 que fueron los pilares del estudio. A su vez realizaron campañas en los años '96, '97 y '98 utilizando boyas derivantes y trazadores

cromáticos e instalación de correntómetros, permitiendo de esta manera obtener mayor información y arrojar datos que complementan el estudio del caso Mar del Plata.

El 20 de julio de 1996, se presentan vientos que generan una velocidad superficial cerca a los 0,4 m/s hacia el norte, mientras que el 9 de julio de 1996 se registra una velocidad superficial hacia el sur que alcanza los 0,35 m/s. Ver ilustración 31.

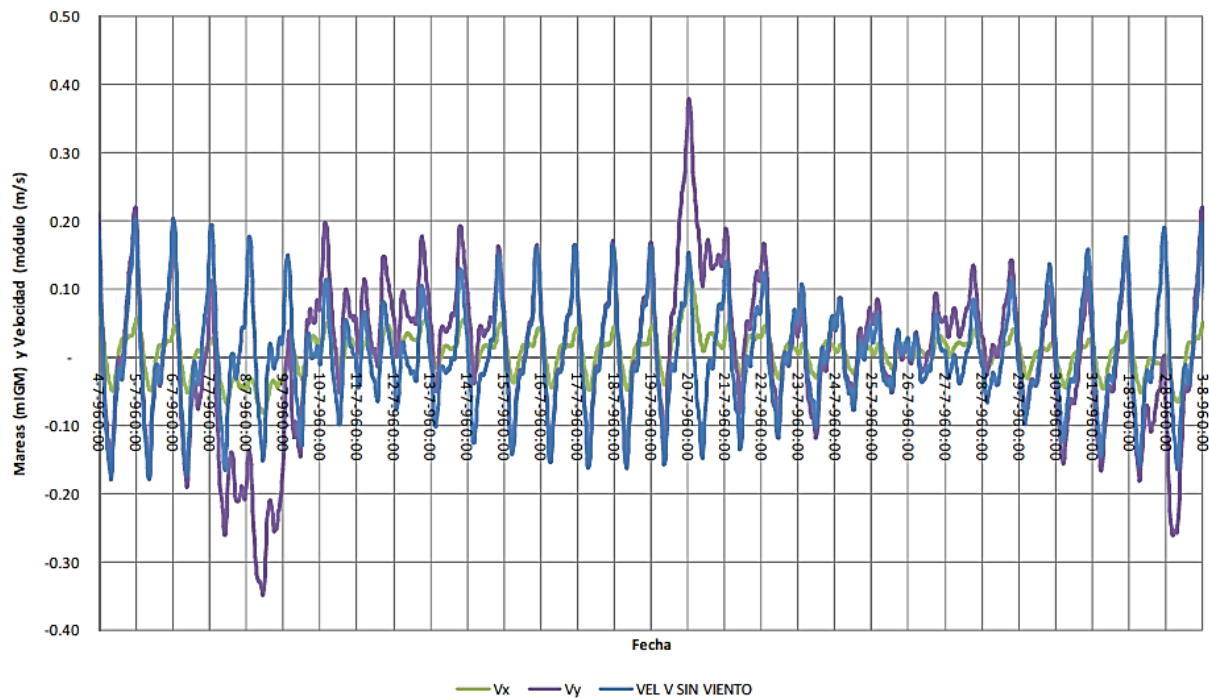


Ilustración 31: Medidas con correntómetro en Mar del plata. Julio – Septiembre de 1996. (UNdMDP, 1999)

Estos registros dan cuenta de dos posibles escenarios críticos de fuertes vientos, los cuales pueden ser utilizados para realizar una simulación en el módulo de Flow (módulo de hidrodinámica) que posee Delft 3D, y encontrar los valores de viento que produjeron esas velocidades.

En el análisis realizado por UNMdP con respecto a las condiciones medias de viento se afirma que: “Desde las 0 horas hasta la hora 8 los vientos provenientes del sector continental, fundamentalmente del cuarto cuadrante se trata de estos casos de vientos suaves y leves que oscilan entre los 10 a 20 km/h, como valores de velocidad media. A partir de la hora 10. Sí bien continúan siendo frecuentes los mismos vientos, se insinúan vientos de origen marítimo de los sectores NE y ENE de características también suaves y leves. A partir de la hora 12 los vientos comienzan a rotar del NW y del N hacia el NE para alcanzar un pico tanto de frecuencia como de intensidad entre la hora 16 y 18. Cabe destacar que estos vientos fueron los más energéticos detectándose el periodo del verano 97 y 98, siendo vientos de rangos moderados a fuertes. En promedio los vientos del sector NE alcanzaron los 30 km/h tanto para la hora 14 como para la hora 20 y superando este valor para las horas intermedias. A partir de la hora 20 los vientos disminuyen su intensidad y comienzan a rotar del sector N y NW” (UNdMDP, 1999), Ver tabla 9.

Tabla 9: Condiciones medias de viento (UNdMDP, 1999)

Hora	Intensidad	Dirección
0h – 12h	4.2 m/s	Noroeste (315°)
12h-14h	4.2 m/s	Noreste (45°)
14h-20h	8.4 m/s	Noreste (45°)
20h-22h	4.2 m/s	Norte (0°)
22h-24h	4.2 m/s	Noroeste (315°)

A su vez muestra un cuadro de vientos durante este periodo.

Tabla 10: Categoría de viento y cuadrante. (UNdMDP, 1999)

Categoría	Sectores
Baja	E –SE – S – SW -W
Intermedia	NW
Alta	N –NE

Teniendo en cuenta que, Viento suave = 7 -12 Km/h; viento leve 13-18 Km/h; viento moderado 19 – 26 Km/h; viento regular = 27 – 35 Km/h; viento fuerte 36 – 44km/h; viento muy fuerte 45 – 55 Km/h.

De igual modo, este informe muestra como posible escenario critico el viento registrado en la campaña 13, en la cual se presenta un viento medio del sector ENE con 26.7 Km/h ocurrido el 5/4/1998.

Hay que tener en cuenta los datos estadísticos publicados por la ciudad de Mar del Plata en un registro del año 98 y otro en un histórico de 30 años (1961-1990). El cual se muestra a continuación.

SECTORES	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
ENERO	19	11	17	6	14	5	9	9
FEBRERO	20	10	16	5	14	5	11	9
MARZO	17	10	12	5	13	6	14	10
ABRIL	15	6	8	4	11	7	19	14
MAYO	17	4	5	3	8	7	23	16
JUNIO	17	3	4	3	8	7	27	16
JULIO	18	6	6	3	10	7	20	17
AGOSTO	18	5	7	5	11	7	20	14
SEPTIEMBRE	16	8	12	5	15	9	11	11
OCTUBRE	17	10	13	6	15	7	12	10
NOVIEMBRE	19	9	13	5	14	8	11	11
DICIEMBRE	19	10	15	6	15	6	9	10
ANUAL	18	9	11	5	12	7	16	12

TABLA 1- Porcentaje (%) de Frecuencias de Direcciones de viento a lo largo del año. Realizado por Martos (1998) a partir de las Estadísticas Normales de la ciudad de Mar del Plata del período 1961-1990 (SMN, 1998).

Ilustración 32: Porcentaje de frecuencias de viento en 1998. en la ciudad de Mar del plata (Halcrow, 2008)

SECTORES	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
ENERO	20	22	22	22	21	20	19	25
FEBRERO	19	22	22	22	19	19	18	22
MARZO	17	20	21	21	20	17	18	19
ABRIL	17	18	19	21	19	20	17	18
MAYO	17	17	19	20	20	20	18	19
JUNIO	19	18	19	20	19	19	19	20
JULIO	19	18	18	19	18	18	17	20
AGOSTO	20	21	19	24	19	19	18	21
SEPTIEMBRE	21	23	22	18	20	20	19	21
OCTUBRE	21	22	21	21	20	21	21	21
NOVIEMBRE	22	21	21	21	21	21	22	24
DICIEMBRE	22	23	22	20	22	21	21	24
ANUAL	20	21	21	21	20	20	19	21

TABLA 2- Velocidad Media del viento (Km/h) a lo largo del año en los distintos sectores.
Realizado por Martos (1998) a partir de las Estadísticas Normales de la ciudad de Mar del Plata del periodo 1961-1990 (SMN, 1998).

Ilustración 33: Estadística de vientos registradas en 30 años (1961-1990). Frecuencias y velocidades (Halcrow, 2008).

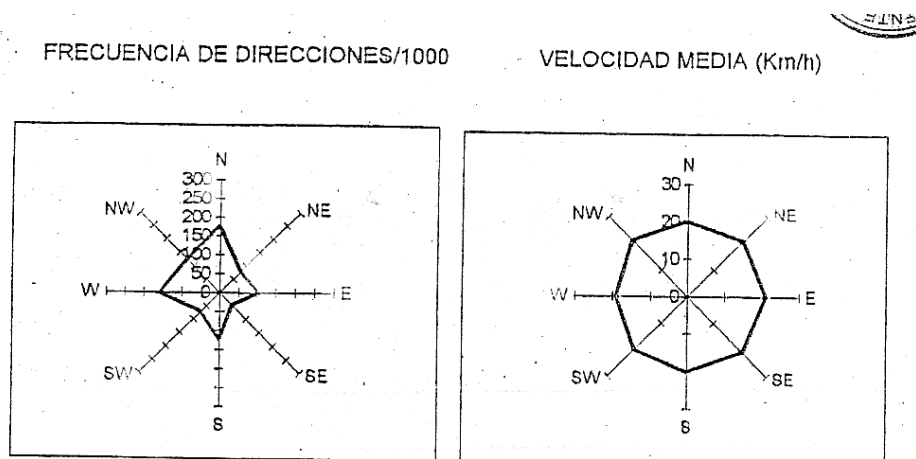


Ilustración 34: Estadística de direcciones de viento y velocidades sobre una frecuencia de mil. (Halcrow, 2008).

Estas estadísticas, nos permiten vislumbrar los vientos críticos, para elaborar los escenarios a simular en D-Waq. La información de este apartado puede verse con mayor detalle en el anexo 1.

7.4 Corriente Litoral

En los antecedentes de estudios de corrientes por marea, realizados en la zona de descarga del futuro emisario se encontró el estudio hecho por INCYT (1984) y por FCEyN (1997).

Las características sobresalientes por INCYTH a partir de diferentes instrumentos fueron:

Correntómetros a 2,6 m del fondo:

- Apartándose de la costa la corriente de marea corre mayormente en dirección Norte-sur; corre hacia el norte cuando crece la marea y hacia el sur cuando baja la marea. Sin embargo, por causa de su desigualdad diaria, la marea con menor amplitud, influenciada por aquellas con mayor amplitud que la preceden y la suceden, tiene la tendencia de correr hacia el sur cuando crece y hacia norte cuando decrece.
- Las velocidades oscilaron entre 10 y 15 cm/s con picos de 20 cm/s; en general las velocidades más altas van asociadas a mareas bajantes de sicigia.

Correntómetros a profundidades de 0,2m, 0,6m, y 0,8m de profundidad:

- En una distribución vertical las magnitudes de las velocidades decrecen de la superficie al fondo. En la superficie existen anomalías en esa distribución, situación atribuible al efecto del viento.
- Esta acción se traduce en una alteración del módulo y/o dirección de la velocidad. En algunos casos se ha observado la inversión total (180°) del sentido del movimiento respecto del medio a 0,6m y 0,8m de profundidad.

Por su parte, los estudios realizados por la FCEyN (1997) a partir de correntómetros a 5m de profundidad indican:

- Las componentes Norte-sur de las corrientes de marea son más significativas que las componentes transversales a la costa (este - oeste).
- Los registros de corrientes medidos tuvieron mayor correlación con la variación de la marea que con los registros de viento.
- Las velocidades oscilaron entre los 3 y 25 cm/s.

La corriente de deriva litoral hacia el norte, experimentada en la zona de Mar del Plata, esta principalmente originada por el oleaje o mar de fondo del atlántico. Como el mar del fondo es de mayor altura y longitud de onda que el oleaje localmente generado, provoca zonas de rompiente mucho más anchas y con corrientes de deriva litoral hasta alcanzar profundidades mayores. Esta corriente no es de magnitud constante como consecuencia de la variable de orientación de la línea de costa y a accidentes geográficos en la misma. La dirección y magnitud relativa de la corriente de deriva costera se incrementa desde Miramar hasta el puerto local, encontrando aquí un bloqueo casi por completo debido al escollero portuario e incrementándose nuevamente hacia el norte siendo máximas en la región de Mar de Cobo (Waterman, 1994).

Según Ulibarrena (1980) frente al Camet observa que las velocidades son funciones del oleaje, y oscilan entre 16 a 25 cm/s; las velocidades disminuyen hacia mar adentro, hasta 1500m, con oleajes del I (N-E) cuadrante las corrientes se dirigen hacia el sur y con oleaje del II (E-S) cuadrante hacia el norte.

INCYTH (1984) realiza sus afirmaciones con base en los datos de correntómetro direccional Braystoke, fondeado a 1800m de la costa (estación C2), a 3500m (estación C3), y a 500m (estación C5), con mediciones a 0,2 – 0,6 – 0,8 metros de profundidad. Todos los perfiles han evidenciado una velocidad decreciente al aumentar la profundidad, y a veces con inversión de 180° en la dirección.

Los valores de velocidad medidos, en resumen, son los siguientes:

Estación C2: V más frecuente = 0,1 -0,2 m/s en sup y 0,1 -0,15 más abajo.

Estación C3: V más frecuente = 0,15 -0,25 m/s en sup y 0,1 -0,15 más abajo.

Estación C5: V más frecuente = 0,2 -0,3 m/s en sup y 0,05 -0,15 más abajo.

Según INCYTH (1984), las mareas corresponden a un régimen mixto. En algunas partes del mes tiene un carácter diurno (un período por día), y en otras semi diurno (dos períodos por día). La creciente genera corrientes hacia el norte (0,05 – 0,15m/s); la bajante sur (0,1-0,2 m/s).

7.4 Marea en Mar del Plata

En Mar del Plata se produce un tipo de marea semi-diurnas, es decir que tiene dos episodios de aguas altas (también llamadas pleas) y dos episodios de aguas bajas (también llamada baja mar) durante un día lunar, tienden a ocurrir cuando la luna está directamente sobre el Ecuador.

Considerando que el día lunar tiene una duración de 24h 50min, teóricamente cada 6h 13min se produce una pleamar o una bajamar.

En el informe (UNdMDP, 1999) se afirma que las amplitudes máximas alcanzadas han sido de 2,2m en sicigia; las amplitudes medias son 0,8 -1 m, con base a los estudios del Servicio de Hidrografía Naval Argentino de 2006 y 2007 (ver tablas 11 y 12). En régimen de tormentas fuertes puede haber un levantamiento añadido de 1m.

Tabla 11: Predicción de marea 2006- Servicio de Hidrografía Naval

Predicción 2006					
Pleamar		Bajamar		Amplitud	
Máxima	Media	Más baja	Media	Máxima	Media
2,02	1,31	0,13	0,53	1,73	0,78

Tabla 12: Predicción de marea 2007- Servicio de Hidrografía Naval

Predicción 2007					
Pleamar		Bajamar		Amplitud	
Máxima	Media	Más baja	Media	Máxima	Media
1,88	1,31	0,18	0,53	1,63	0,78

Las alturas están referidas al plano de reducción que pasa 0,91 m debajo del nivel medio.

Las olas incidentes pueden clasificarse como la suma de las olas generadas por vientos locales (de tipo “sea”, actuando sobre una distancia limitada), más las olas provenientes del océano (tipo “swell”), que son generadas por tormentas lejanas y se propagan hasta el área de interés.

La estadística de las olas en el área de estudio se ha calculado como la suma de las olas generadas por vientos locales y las olas generadas por tormentas oceánicas que se propagan hasta el mismo punto. Los resultados del estudio realizado por la Universidad Nacional de Córdoba (UNC), para las condiciones extremas de oleaje con ajuste de función de distribución tipo Weibul, se presentan a continuación en las tablas 13, 14, 15 y 16.

Tabla 13: Periodos de retorno para altura significativa de ola - aguas profundas - todas las direcciones. (UNC, 2004)

Aguas profundas	
Tr (años)	Hs(m)
2	5,9
5	6,4
10	6,7
15	6,9
20	7
25	7,1
50	7,5
100	7,8
500	8,4

Tabla 14: Periodos de retorno para altura significativa de ola- olas locales (SEA) -sector rompeolas a 10m - todas las direcciones. (UNC, 2004)

SEA	
Tr (años)	Hs(m)
2	3,1
5	3,5
10	3,8
15	3,9
20	4,1
25	4,2
50	4,5
100	4,8
500	5,5

Tabla 15: Periodos de retorno para altura significativa de ola-olas oceánicas (Swell) - sector rompeolas a 10m - todas las direcciones (UNC, 2004).

Swell	
Tr (años)	Hs(m)
2	5,4
5	5,8
10	6,1
15	6,3
20	6,4
25	6,5
50	6,8
100	7,1
500	7,8

Tabla 16: Periodos de retorno para altura significativa de ola-olas locales + oceánicas (SEA + Swell) - sector rompeolas a 10m - todas las direcciones (UNC, 2004)

SEA + Swell	
Tr (años)	Hs(m)
2	5,1
5	5,4
10	5,7
15	5,8
20	5,9
25	6
50	6,2
100	6,4
500	6,9

El lector se puede remitir al anexo 3 si desea detalle en la serie de mareas utilizada, ya que para este objetivo se utilizó el software Delft Dashboard, específicamente estación Culhio en Mar del Plata

7.5 Suelo marino (geomorfología y mineralogía) y n de Manning:

Antecedentes geomorfológicos

En la zona de interés se realizó un informe técnico entre FECyN – UNMDP (1997) a partir de cartas del Servicio Hidrográfico Naval y campañas de batimetría y sísmica superficial, realizando la siguiente caracterización:

Hacia el norte de la zona de interés, la franja delimitada por las isobatas de 0 a 6m es más estrecha que la zona sur. Esto resulta de una mayor pendiente evidenciada por la proximidad de las isobatas a la altura del barrio Felix u Camet en contraste con la zona sur, donde se desarrolla una plataforma marina entre 0 y 6m más amplia. Con respecto al valor de pendiente promedio es de 0,3% frente a la planta depuradora hasta la isobata 11m.

El sector más somero tiene una pendiente del 0,4% entre las isobatas 0 y 9,5 m. Entre las isobatas 9,5 m y 11m se reduce la pendiente a 0,1%.

A partir de los relevamientos con un sonar de barrido lateral, en este estudio se definen 3 zonas con características superficiales morfológicas y sedimentológicas:

Zona 1: se ubica en la zona contigua a la planta depuradora, donde la superficie de fondo es irregular por resaltos y desniveles, que en general aparecen con estructuras mesetiformes no mayor a 1.5m de altura. Este tipo de fondo está compuesto por un material relativamente compacto o rocoso, producto de la erosión de los acantilados donde las toscas conforman el material más resistente. Localmente se compone de sedimento arenoso, suelto y movilizadado por las corrientes.

Zona 2: aproximadamente a 1000m del litoral desde la planta depuradora, el fondo se torna más suave con un sedimento arenoso (fino a mediano), suelto y que resulta transportado

como carga de fondo; es evidenciado por una baja resistencia sónica. La zona 2 posee un ancho de 1400m.

Zona 3: hacia el este de la zona 2, la disponibilidad de sedimento disminuye y pasa transitoriamente por lineaciones arenosas (sand ribbon); estas zonas no poseen un relieve particular y suprayacen a un sedimento más grueso o dureza superior.

Las dimensiones de las franjas son variables, registrándose algunas de 1000 metros y de 600m de ancho, con dirección noroeste- sudeste. Su espaciamiento se incrementa hacia el oeste, tendiendo a desaparecer. Esta característica está relacionada con la menor disponibilidad de sedimento arenoso movilizado.

La generación de tales alineaciones es un proceso común dominado por las corrientes de marea. Es así como las orientaciones de esas alineaciones reflejan las direcciones medias de las corrientes de marea dominantes que afectan la plataforma marina frente a la plata depuradora.

El diámetro promedio de sedimento sobre la ribera oscila entre 0,2 y 0,7 mm (entre arena gruesa y fina)

En las playas de Playa Grande, Bristol, y La Perla, situadas al norte del puerto las partículas granulométricas disminuyen hacia el norte. Esto se debe posiblemente a que las playas ubicadas al norte se encuentran más protegidas.

Se observa una tendencia de disminución en el diámetro promedio de partículas a medida que aumenta la profundidad. Los sedimentos presentan una mejor selección que los de la rivera, asociada al tamaño del grano (a menor granulometría, mejor selección).

Cortelezzi y otros (1971) realizaron una descripción real de los sedimentos a partir de muestras recolectadas en cada estación del año, afirmando que:

Mar del Plata I (otoño)

Predominan las arenas finas – medianas, notándose una arena gruesa y sedimento del tamaño de grava desde Mar Chiquita, hasta el faro Querandí a una distancia promedio de 11km.

Mar del Plata II (finales de invierno)

Predominan las arenas medianas a finas, ampliándose la zona con respecto a Mar del Plata I. Las arenas gruesas se limitan a dos sectores: una a la altura del faro Querandí y otra al sur de Punta Mogotes.

Mar del Plata III (finales de primavera)

Predominan las arenas gruesas donde en el muestreo anterior eran medias. Las próximas al Faro Querandí se han desplazado hacia el sureste. En la zona de Miramar aparece una mayor variedad de tamaños que van desde arenas medias- gruesas a finas-medianas.

Mar del Plata IV (finales de verano)

Predominan las arenas finas y medinas; la mayor parte de la zona próxima a la costa se halla ocupada por arenas finas. El área de arenas gruesas se mantiene, aunque desplazada un

poco al norte. Al sur de Miramar aparece un sector ocupado por sedimento del tamaño de grava. Este tamaño se da por presencia de conchitas.

Mar del Plata V (otoño)

Predominan las arenas medias en toda la zona sur, mientras que en el área de arenas gruesas se amplía en el sentido transversal hasta alcanzar las proximidades de la costa de Mar Chiquita. Las arenas quedan restringidas a tres zonas aisladas: una a 28km frente a Mar del Plata, la segunda a 46km frente a Mar Chiquita y la última a 9km frente a Faro Querandí.

Se contaba con la georreferenciación del suelo submarino, y dentro de la revisión bibliográfica se encontró que utilizaron el coeficiente de Manning $n=0,014$ (correspondiente a anti dunas estacionarias) para realizar las simulaciones en Plumes 3D. (Obras sanitarias Mar del Plata sociedad de estado OSSE, 1998). La cual se muestra a continuación.

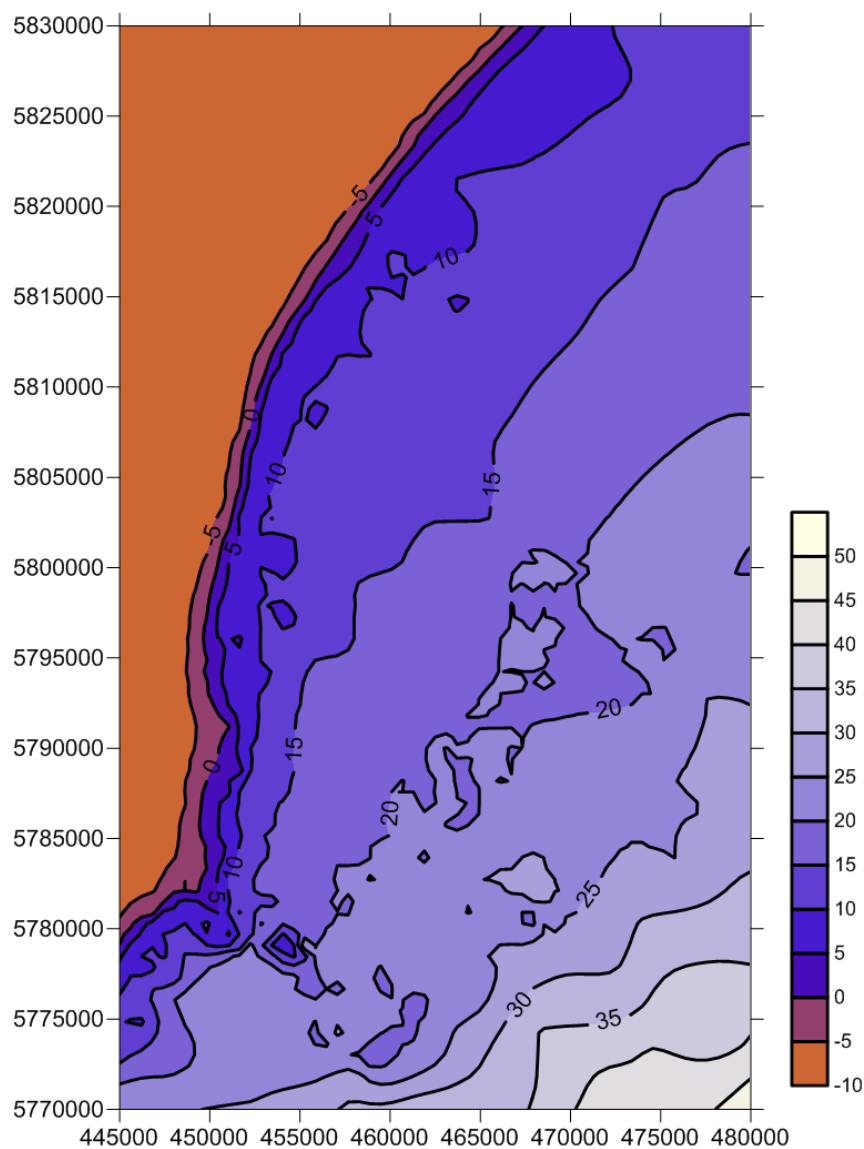


Ilustración 35: Suelo marino georreferenciado (Obras sanitarias Mar del Plata sociedad de estado OSSE, 1998)

Por lo cual se pueden consignar las siguientes características:

- Profundidades inferiores a 13m
- Curvas inferiores a 4-5 m. dispuestas de forma paralela a la costa
- La pendiente más pronunciada en el sector más somero, mientras que hacia el este la inclinación del fondo se reduce.
- Presencia de bancos de arena en el sector norte de configuración elongada y ubicados paralelos a la costa
- Apilamientos de isobatas frente a accidentes costeros: punta iglesia, Torreón del monje y Cabo corrientes
- La ubicación del punto arranque del emisario en coordenadas UTM 5'802.926.829 Norte, 6' 453.674.479 Este. Y punto de descarga 5'802.180.103 Norte, 6'457.414.476 Este.

Con respecto, a la **mineralogía de los sedimentos**:

Según el estudio se establecen 3 grupos de minerales:

1. Minerales accesorios: Zircón, aparece regularmente distribuido, mientras la presencia de Apatita es accidental.
2. Rocas mesosilíceas y básicas: en todas las muestras recolectadas predominan las plagioclasas (40%), sigue en abundancia el Feldespato Potásico (10- 12%), cuarzo (8-10%), vidrio volcánico (7%) ocasionalmente llega al 25%.
3. Rocas metamórficas: se pueden dividir en 2 grupos
 - a- Los granates, cuyos porcentajes se mantienen más o menos constantes desde Buenos Aires hasta la Patagonia.
 - b- Cianita, Estauroлита, Rutilo: se presentan en proporciones muy reducidas, de tal forma que no se puede usar como mineral guía.



8. DISEÑO DEL MODELO.

8. DISEÑO DEL MODELO

El presente capítulo resume las siguientes actividades:

A-) Realización del diseño de mallas que permitieron la solución de la hidrodinámica, sin vórtices desordenados en los diferentes eventos de viento.

B-) Mostrar el proceso de calibración que se llevó a cabo para encontrar un valor representativo del coeficiente de dispersión.

8.1 Dominio de la malla de cálculo

El método numérico que utiliza Delft-3D Flow está basado en el método de diferencias finitas. El área de modelación es representada por una malla ortogonal curvilínea estructurada. Las coordenadas de la malla son definidas en un sistema de coordenadas cartesianas y por medio de un generador de mallas (módulo RGFGRID en Delft-3D Flow) un archivo con las coordenadas ortogonales curvilíneas de la malla es creado en el espacio físico.

Teniendo en cuenta la ubicación del emisario y una lejanía prudente para las condiciones de frontera (marea y viento) y que estas no afectaran con el área de dispersión de la descarga de coliformes, se realizó un enmallado (Grid) de prueba, como se muestra en la siguiente ilustración:

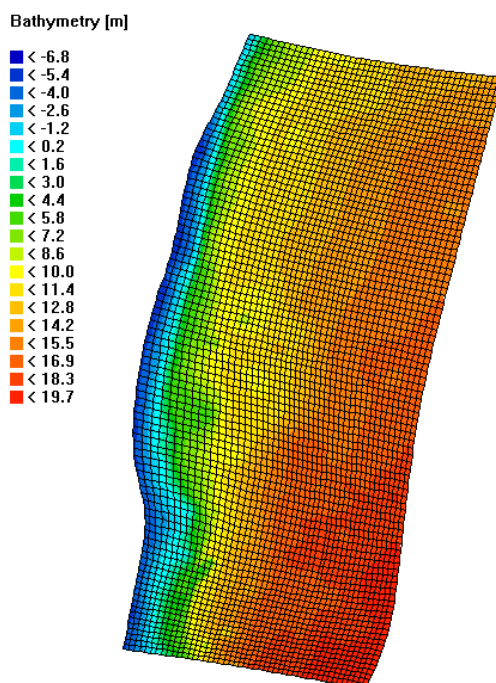


Ilustración 36: Malla N°1 – Dimensionamiento del Grid 98 x 50

Teniendo en cuenta que el máximo valor de viento en la zona era de 80 km/h, esta malla no daba una solución hidrodinámica precisa del evento, ya que presentaba una serie de vórtices

desordenados, que no representaban la realidad. Sin embargo, con un viento hasta de 20 km/h, se generaba una solución hidrodinámica coherente con el evento.

Las dimensiones representadas en la malla son: en la margen superior 11142,28 metros; en la margen derecha 228668,09 metros; en la margen inferior 15925,16 metros; y en la parte de costa es de 29876,49 metros. Lo que da un área de 332' 977 043 m², aproximadamente 333 km². Teniendo en cuenta que la malla tiene una dimensión de 98x50, cada celda representa un área aproximada de 68000 m².

8.2 Calibración

El proceso de calibración se dividió en dos etapas.

En la primera etapa se buscó que las simulaciones representaran la realidad hidrodinámica, en cada malla generada y que cumpliera con el criterio de estabilidad del número de Courant-Friedrichs-Lewy.

$$CFL = \frac{\Delta t \sqrt{gH}}{\{\Delta x, \Delta y\}} < 10 \quad (43)$$

Buscando la estabilidad en las soluciones con un paso de tiempo determinado.

Y en la segunda etapa se buscó encontrar el valor representativo del coeficiente de dispersión (Dx, Dy), dato fundamental para poder realizar los escenarios críticos que se podrían presentar en Mar del Plata. Y el número de Péclet para establecer el tipo de transporte prevaleciente en la dispersión del contaminante.

8.2.1 Calibración de la Hidrodinámica (malla N°1)

Una vez establecida la malla N°1, utilizamos sus valores para conocer su comportamiento con respecto al número de Courant-Friedrichs-Lewy.

$$\Delta t = 0.01 \text{ min} = 0.6 \text{ Seg.}$$

$$H = \text{la profundidad promedio } 10\text{m}$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

$\{\Delta x, \Delta y\}$ es un valor característico de las dimensiones de la malla en ambas direcciones, comúnmente se toma el valor mínimo del Grid (98 x 50). El Grid en la parte superior toma un valor de 11142m y sobre la margen derecha 28668m, por lo tanto.

$$\Delta x = \frac{11142m}{50} = 222,8m \quad (44)$$

$$\Delta y = \frac{28668m}{98} = 292,5m$$

Por lo tanto, podemos tomar el valor mínimo 222,8 m.

$$CFL = \frac{0.6 \text{ seg} \sqrt{9.8 \frac{m}{s^2}} 10m.}{222,8m} = 0.026 < 10 \quad (45)$$

Cumpliendo con el criterio de estabilidad CFL.

Al realizar las primeras simulaciones hidrodinámicas con la malla presentada, en la ilustración número 34, se observaba que la malla se ajustaba muy bien a un viento máximo de 5 m/s en cualquier dirección y con un paso de tiempo de 0,1 min.

En este punto se buscaba la malla ideal con su respectivo paso de tiempo que permitiese obtener resultados en el menor tiempo de procesamiento y que el peso de los archivos generados no fuese tan alto.

Se notaba que, aun disminuyendo el paso de tiempo a 0,01 min, la solución hidrodinámica a vientos de 7 m/s generaba saltos de velocidades, por lo cual se decidió duplicar la resolución de la malla numérica.

8.2.2 Calibración de la Hidrodinámica (malla 2)

Se tuvo que aumentar la definición del mallado y reducir el paso de tiempo para poder simular vientos más fuertes, ya que éstos afectaban el número de Courant. Ver la siguiente ilustración.

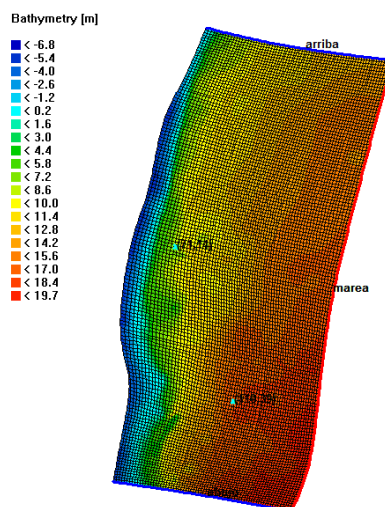


Ilustración 37: Malla N°2 - Dimensionamiento del Grid 190 x 146

Con esta malla (190 x 146) lográbamos dar solución a vientos máximos de 13m/s. pero con un tiempo de paso de 0.01 min. Aun así, la dificultad radicaba en que los vientos fuertes registrados en Mar del Plata llegaban hasta 22,2 m/s. y con esta malla se generaban vectores de velocidad superficial no uniformes.

A continuación, reemplazamos los valores de la malla N°2 en la ecuación N°40

$$\Delta t = 0.01 \text{ min} = 0.6 \text{ Seg.}$$

H= la profundidad promedio 10m

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

$\Delta x, \Delta y = \{\Delta x, \Delta y\}$ es un valor característico de las dimensiones de la malla en ambas direcciones, comúnmente se toma el valor mínimo del Grid (190 x 146). El Grid en la parte superior toma un valor de 11142m y sobre la margen derecha 28668m, por lo tanto

$$\begin{aligned} \Delta x &= \frac{11142m}{146} = 76,3m \\ \Delta y &= \frac{28668m}{190} = 150m \end{aligned} \quad (46)$$

Por lo tanto, podemos tomar el valor mínimo 76,3 m.

$$CFL = \frac{0.6 \text{ seg} \sqrt{9.8 \frac{m}{s^2} 10m.}}{76,3m} = 0.07 < 10 \quad (47)$$

Cumpliendo con el criterio de estabilidad CFL.

8.2.3 Calibración de la Hidrodinámica (malla 3)

Al aumentar el enmallado del Grid a 488 x 245, procedemos a calcular el número de Courant-Friedrichs-Lewy lo obtenemos reemplazando los valores correspondientes a la malla N°3 en la ecuación número 42.

$$\Delta t = 0.01 \text{ min} = 0.6 \text{ Seg.}$$

H= la profundidad promedio 10m

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

$\Delta x, \Delta y = \{\Delta x, \Delta y\}$ es un valor característico de las dimensiones de la malla en ambas direcciones, comúnmente se toma el valor mínimo del Grid (488 x 245). El Grid en la parte superior toma un valor de 11142m y sobre la margen derecha 28668m

$$\Delta x = \frac{11142m}{245} = 45,4m \quad (48)$$

$$\Delta y = \frac{28668m}{488} = 58,74m$$

Por lo tanto, podemos tomar como valor 45,4 m.

$$CFL = \frac{0.6 \text{ seg} \sqrt{9.8 \frac{m}{s^2}} 10m.}{45,4m} = 0.13 < 10 \quad (49)$$

Cumpliendo con el criterio de estabilidad de CFL, la malla N°3 (ver ilustración 38).

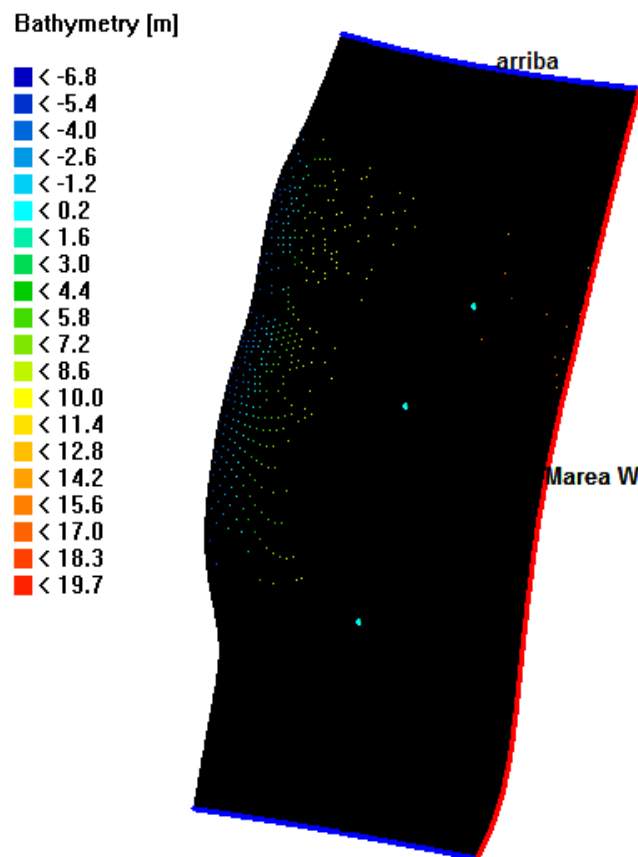


Ilustración 38: Malla N°3 – Dimensionamiento del Grid 488 x 245

La imagen anterior no permite ver los colores de fondo de la batimetría en esa escala ya que el dimensionamiento del enmallado es alto (488 x 245)

Al realizar diversas simulaciones, se estableció que lograba ser estable en la solución hidrodinámica y soportaba vientos de 23 m/s con paso de tiempo de 0,01 min sin generar vórtices desordenados o saltos de velocidad.

Una vez realizados los ajustes de paso de tiempo y enmallado (Grid), se empezó a considerar la capacidad de procesamiento y almacenamiento del PC utilizado, debido principalmente a que se hacía correr el “Flow” dos días (utilizando un procesador Core i3 de 3ra generación con RAM de 4 DDR III GB), para que éste se estabilizara y se exportaban los datos de la solución hidrodinámica el segundo día de simulación en un archivo (.dat) para realizar el respectivo acoplamiento a D-Waq, generando 16.8 GB. Todo esto tardaba un aproximado de 36 horas en cada simulación FLOW.

Con el archivo de datos del Flow generado, el software Delft 3D necesita realizar un proceso de acoplamiento (.acco) con la herramienta D-Waq, donde se exportan solo los datos que se necesitan para realizar descarga de coliformes. Este proceso tardaba 2 horas.

8.2.4 Paso de tiempo y estabilidad

En primer lugar, se utilizó el Número de Courant para asegurar la estabilidad del proceso de generación de datos hidrodinámicos, que arrojaran un patrón coherente entre los vectores resultantes de las condiciones hidrodinámicas en cada caso simulado.

Para disminuir la posibilidad de obtener vórtices desordenados, se hizo uso de dos estrategias:

- a-) Aumentar el número de enmallado del Grid.
- b-) Reducir el paso de tiempo.

En la práctica con el primer Grid de 98 x 50 con un paso de tiempo de 0.1 min y un viento superior a 5m/s se generaban errores en los resultados de hidrodinámica y aunque se redujera el paso del tiempo a 0.01 min e incluso a 0.005min continuaban los mismos errores en las soluciones de ecuaciones hidrodinámicas, por lo cual el mismo modelo nos demostraba que se debía aumentar el enmallado del Grid.

Lo mismo sucedió en la malla N°2 (190 x 146) cuando se le aumentaba el valor de vientos extremos a 80 km/h, y a pesar de disminuir el paso de tiempo de 0.1min a 0.01min no se resolvía la hidrodinámica de forma uniforme y con saltos de velocidad, por lo cual se optó nuevamente por aumentar el enmallado, hasta que la malla N°3 (488 x 245) logra resolver la hidrodinámica de vientos extremos con un paso de tiempo de 0,01 min.

8.2.5 Calibración del coeficiente de dispersión

No se encontraron en la bibliografía analizada valores del coeficiente de dispersión para este lugar, por lo que resultó ser un dato necesario de calibrar. Se analizaron diferentes textos, los cuales no arrojaron registro alguno, solo tenían en cuenta los posibles valores que estaban en un rango de 10-1000 para condición en mar (ver ilustración 39).

mixing phenomena	D [m ² /s]
molecular diffusion	1×10^{-9}
vertical diffusion (stratified systems)	$1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-6}$
vertical diffusion (non-stratified systems)	$1 \times 10^{-1} - 1 \times 10^{-3}$
turbulent diffusion	0.1 – 1.0
depth integration estuaries and seas	10 – 1000
tidal and depth integration estuaries and seas	100 – 1000
one dimensional rivers	100 – 1000

Ilustración 39: Rango posible del coeficiente de dispersión. (Deltares, 2013).

Lo que dificulto lograr un valor que se ajustara teniendo en cuenta la marea, el viento y los demás factores.

Este, tal vez fue el ítem más importante para poder definir los escenarios para simulación, debido a que existe un gran rango de valores que puede tomar el coeficiente de dispersión. Dentro de la revisión bibliográfica se encontró una simulación en Plumes 3d que hicieron dentro del estudio del emisario submarino que mostraba el siguiente resultado.

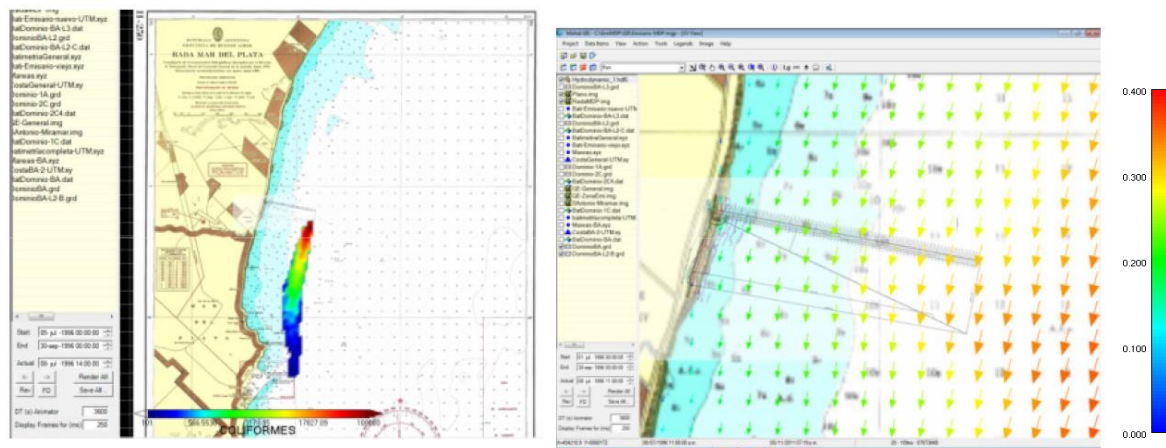
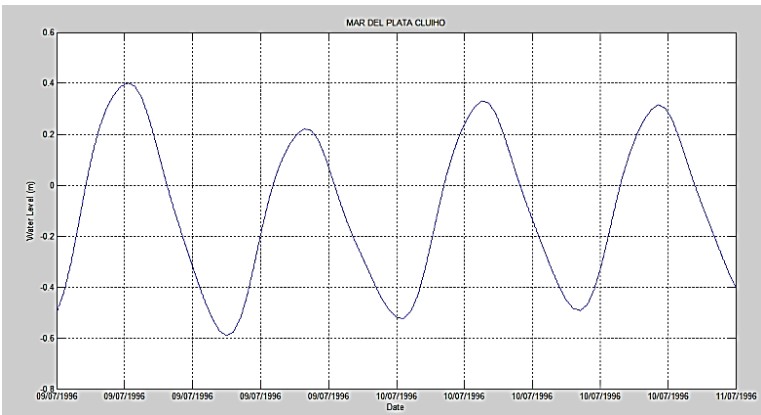


Ilustración 40: Descarga Plumes 3D (izquierda) - Campo de velocidades en m/s (derecha), corriente máxima hacia el Sur 09-07-1996 . (UNMdP, 1998)

Se utilizaron estas simulaciones como referencia para calibrar el modelo empleado en este estudio, con la finalidad de llegar a resultados similares a los obtenidos en esta simulación. y así, considerando diferentes valores de Dx y Dy se obtendría el dato faltante del coeficiente de dispersión.

Se tomaron en cuenta los siguientes datos para simulación (ver tabla 17):

Tabla 17: Valores tomados de la simulación Plumes 3D

Datos de entrada	Valores adoptados
Temperatura	13 °C
Serie de marea	 <p>Marea 9/7/1996 y 10/7/1996</p>
Salinidad	Salinidad del medio 33 g/Kg Salinidad del afluente 1 g/Kg
Viento	80 Km/h del norte
Materia inorgánica	Medio: 10 gDM/m ³ Afluente : 30 gDM/m ³
Radiación solar	460 W/ m ² en invierno
Coefficiente de extinción de UV de materia inorgánica	0,0862
Coefficiente de extinción UV por profundidad	0,08
Duración del día	0,41
Tasa de mortalidad de los E. Coli	0,8
Coefficiente de dispersión	Dx, Dy (variable a determinar)
Caudales de descarga	6m ³ /s caudal medio
Coefficiente de Manning	0,014
Nivel de coliformes (E. Coli)	1 E10 MPN/ m ³ 1 MPN/ m ³ (medio ambiente)
Grid utilizada	Malla N°3
Tiempo de descarga	4 horas

Ajustando diversos parámetros de viento se encontró que un viento de 70km/h generaba en promedio una velocidad superficial de 0,35m/s, dato que se utilizó en este proceso de simulación.

Se elaboraron múltiples descargas (ver tabla 18) que tenían como fin encontrar el valor de Dx y Dy que reflejaran los resultados más semejantes posibles a los descritos en la ilustración 40.

Tabla 18: Simulaciones realizadas para encontrar el valor Dx, Dy

Simulación	Kb	Dx	Dy	DV
Rango	0.8-5	1-100	1-100	1e10-6
1	0.8	1	1	1e10-6
2	5	1	1	1e10-6
3	0.8	1	100	1e10-6
4	0.8	5	100	1e10-6
5	0.8	10	100	1e10-6
6	0.8	50	100	1e10-6
7	0.8	100	1	1e10-6
8	0.8	100	5	1e10-6
9	0.8	100	10	1e10-6
10	0.8	100	50	1e10-6
11	0.8	7	8	1e10-6
12	0.8	10	8	1e10-6
13	0.8	20	8	1e10-6
14	0.8	10	10	1e10-6
15	0.8	20	20	1e10-6
16	0.8	5	1	1e10-6
17	0.8	5	5	1e10-6
18	0.8	5	10	1e10-6
19	0.8	5	20	1e10-6
20	0.8	5	50	1e10-6

La mejor solución encontrada a partir de los parámetros indicados fue la siguiente:

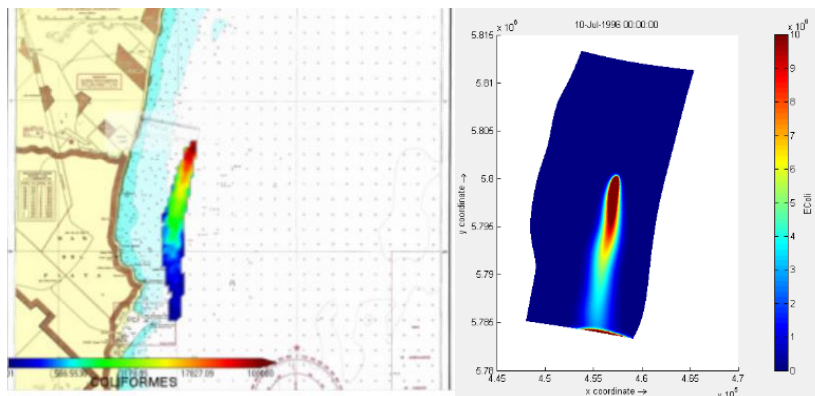


Ilustración 41: Calibración coeficiente de dispersión. Izquierda simulación Plumes 3d (UNMDP, 1998) - Derecha resultados Delft

Por lo cual se adoptó el valor $Dx = 10 \text{ m}^2/\text{s}$ y $Dy = 20 \text{ m}^2/\text{s}$

A su vez fue de interés fue de interés hallar el numero adimensional de Péclet (P_e) empleado para determinar la transferencia de materia, que relaciona la velocidad del fluido y una longitud característica con el coeficiente de difusión.

Max = En la superficie = 1.2 m/s

D= 20 m²/s

H= 10m

$$P_e = \frac{|v|h}{2D} = \frac{1.2 \frac{m}{s} 10m}{2 (20m^2/s)} = \frac{\text{transporte convectivo}}{\text{transporte difusivo}} = 0.3 < 1 \quad (50)$$

Lo que quiere decir que prevalece el transporte difusivo sobre el convectivo, en este caso.

8.3 Resumen de datos del modelo

En la siguiente tabla se colocan a modo de resumen los datos de entrada para simulaciones en la herramienta D-Waq.

Tabla 19: Tabla resumen de valores adoptados

Datos de entrada	Valores adoptados
Temperatura	9 °C en invierno y 15 °C en verano
Serie de marea	Se utiliza la serie del día seleccionada, a través del software Dashboard (estación Cluiho en Mar del Plata).
Salinidad	Salinidad del medio 33 g/Kg Salinidad del afluente 1 g/Kg
Viento	Según el caso adoptado
Materia inorgánica	Medio: 10 gDM/m ³ Afluente : 30 gDM/m ³
Radiación solar	530 W/m ² en verano 460 W/ m ² en invierno
Coefficiente de extinción de UV de materia inorgánica	0,0862 (establecido por D-Waq)
Coefficiente de extinción UV por profundidad	0,08 (establecido por D-Waq)
Duración del día	0,58 para verano 0,41 para invierno
Tasa de mortalidad de los E. Coli	0,8 – 5 (se utiliza 0.8)
Coefficiente de dispersión	Dx = 10 m ² /s Dy = 20 m ² /s
Caudales de descarga	6m ³ /s Caudal medio 9m ³ /s Caudal máximo
Coefficiente de Manning	0.014
Nivel de coliformes (E. Coli)	1 E12 MPN/ m ³ (máximo de descarga legal) 1 E10 MPN/ m ³ (valor típico) 1 MPN/ m ³ (medio ambiente)



9. DEFINICIÓN ESCENARIOS DE SIMULACIÓN.

9. DEFINICIÓN ESCENARIOS DE SIMULACIÓN

Se plantearon cinco escenarios posibles, de los cuales 4 fueron considerados críticos por los fuertes vientos que se presentaron y 1 que está dedicado a entender el comportamiento en las condiciones típicas generadas por el clima en Mar del Plata. Estos casos fueron evaluados durante la construcción del emisario. (UNMdP, 1998)

Tabla 20: Resumen de escenarios simulados

Escenario	Características
1.	Durante el 9/7/1996 se registra fuerte oleaje con una velocidad de viento promedio de 80 Km/h del norte, con caudal de descarga medio de $6\text{m}^3/\text{s}$ con concentración de E. Coli de $1\text{E}10\text{MPN}/\text{m}^3$. (Considerado crítico)
2.	Durante el 20/7/1996 se registra fuertes vientos con una velocidad promedio de 70 Km/h del sur, con caudal de descarga medio de $6\text{m}^3/\text{s}$ con concentración de E. Coli de $1\text{E}10\text{MPN}/\text{m}^3$. (Considerado crítico)
3.	Condiciones medias: marea típica, oleaje típico, con caudal de descarga medio de $6\text{m}^3/\text{s}$ con concentración de E. Coli de $1\text{E}10\text{MPN}/\text{m}^3$. (Considerado típico)
4.	Máximo viento registrado directo hacia costa (90°), con máxima descarga permitida de $9\text{m}^3/\text{s}$ con concentración de E. Coli de $1\text{E}12\text{MPN}/\text{m}^3$. (Considerado crítico)
5.	Campaña 13 (Considerado crítico), con máxima descarga permitida $9\text{m}^3/\text{s}$ con concentración de E. Coli de $1\text{E}12\text{MPN}/\text{m}^3$.

Se debe aclarar que, en el análisis de vientos hecho por la Universidad Nacional de La Plata, en las múltiples campañas realizadas, la N°13 registró un viento de $7.4\text{m}/\text{s}$ con 67° hacia la costa, considerado por ellos como un posible evento crítico, por lo cual fue considerado en esta tesis y se le conserva el nombre de “Campaña 13”.

En los casos de simulación se realizaron 2 días de hidrodinámica incluyendo solo en el segundo día la descarga de coliformes, con la intención de contar con unas condiciones estables de marea y viento cuando se efectúe la descarga.

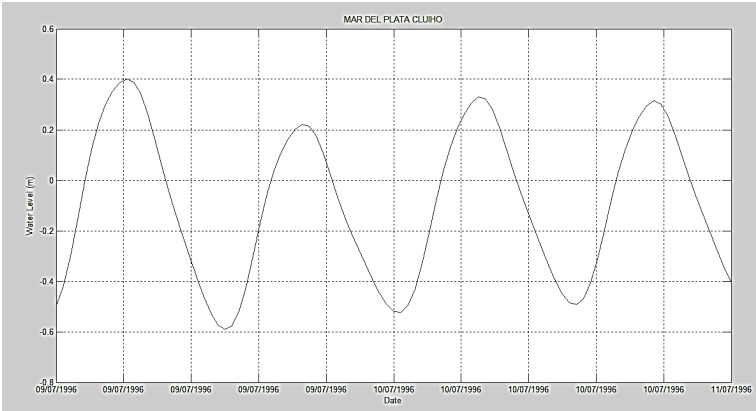
A continuación, se presenta los parámetros que se usaron en cada caso:

9.1.1 Diseño: Caso 1

Este caso, se planteó para reproducir un caso real de viento fuerte, medido por correntómetro el día 9/7/96.

Teniendo en cuenta el viento que produjo esta velocidad y considerando la marea de ese día específico, se procede a la simulación con los siguientes parámetros:

Tabla 21: Parámetros caso 1

Datos de entrada	Valores adaptados
Temperatura del agua	9 °C
Serie de marea	 <p>Marea 9/7/1996 y 10/7/1996</p>
Salinidad	Salinidad del medio 33 g/Kg Salinidad del afluente 1 g/Kg
Viento	80 Km/h dirección norte
Materia inorgánica	Medio: 10 gDM/m ³ Afluente : 30 gDM/m ³
Radiación solar	460 W/ m ² en invierno
Coefficiente de extinción de UV de materia inorgánica	0,0862
Coefficiente de extinción UV por profundidad	0,08
Duración del día	0,41
Tasa de mortalidad de los E. Coli	0,8
Coefficiente de dispersión	Dx = 10 m ² /s Dy = 20 m ² /s
Caudales de descarga	6m ³ /s caudal medio
Coefficiente de Manning	0,014
Nivel de coliformes (E. Coli)	1 E12 MPN/ m ³ (máximo de descarga legal) 1 MPN/ m ³ (medio ambiente)
Grid utilizada	Malla N°3

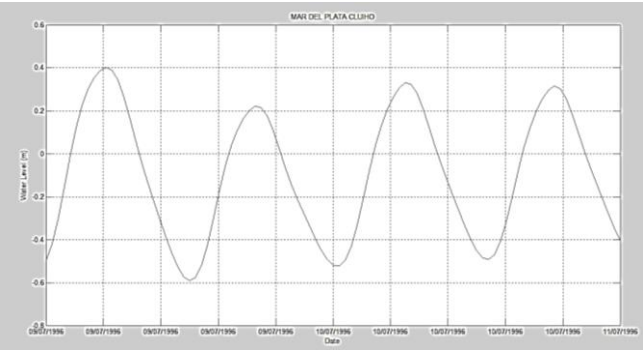
Hay que señalar que este viento no se encuentra dentro los registros de vientos en la ilustración 33, por lo cual es un indicador propio del porque realizar esta simulación

9.1.2 Diseño: Caso 2

En este caso se implementó un suceso real registrado por el correntómetro de Mar del Plata, en el cual se encuentra un viento cortante de 60km/h del sur.

A continuación, se muestra la tabla de parámetros para este caso.

Tabla 22: Parámetros caso 2

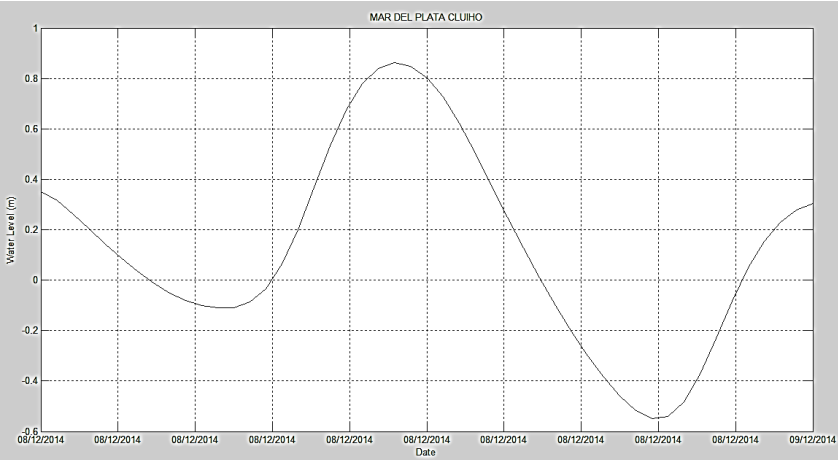
Datos de entrada	Valores adaptados
Temperatura del agua	9 °C
Serie de marea	 <p>Marea 19/7/1996 y 20/7/1996</p>
Salinidad	Salinidad del medio 33 g/Kg Salinidad del afluente 1 g/Kg
Viento	70 Km/h del sur
Materia inorgánica	Medio: 10 gDM/m ³ Afluente : 30 gDM/m ³
Radiación solar	460 W/ m ²
Coeficiente de extinción de UV de materia inorgánica	0,0862
Coeficiente de extinción UV por profundidad	0,08
Duración del día	0,41
Tasa de mortalidad de los E. Coli	0,8
Coeficiente de dispersión	Dx = 10 m ² /s Dy = 20 m ² /s
Caudales de descarga	6m ³ /s caudal medio
Coeficiente de Manning	0.014
Nivel de coliformes (E. Coli)	1 E12 MPN/ m ³ (máximo de descarga legal) 1 MPN/ m ³ (medio ambiente)
Grid utilizada	Malla N°3

Hay que señalar que este viento no se encuentra dentro los registros de vientos en la ilustración 33, por lo cual es un indicador propio del porque realizar esta simulación

9.1.3 Diseño: Caso 3

En este caso se simularon las condiciones típicas o comunes con las que trabajaría el emisario, por lo tanto, se utilizó la marea típica (ver ilustración marea típica), caudal medio de descarga (6m³/s), condiciones medias de vientos (ver sección 7.3 Vientos críticos y típicos registrados en la zona), temperatura y salinidad del agua de verano, ya que en esta época es cuando más turistas llegan a disfrutar de las playas de Mar del Plata.

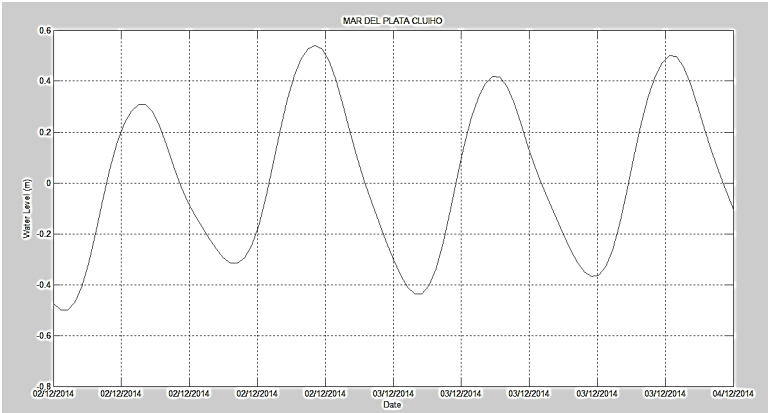
Tabla 23: Parámetros caso 3

Datos de entrada	Valores adaptados
Temperatura del agua	15 °C
Serie de marea	 <p>Marea típica (Los valores de marea del 8/12/2014 se repiten durante dos días de simulación hidrodinámica).</p>
Salinidad	Salinidad del medio 33 g/Kg Salinidad del afluente 1 g/Kg
Viento	Tabla N°9: Condiciones medias de viento (UNdMDP, 1999)
Materia inorgánica	Medio: 10 gDM/m ³ Afluente : 30 gDM/m ³
Radiación solar	500 W/ m ²
Coefficiente de extinción de UV de materia inorgánica	0,0862
Coefficiente de extinción UV por profundidad	0,08
Duración del día	0,45
Tasa de mortalidad de los E. Coli	0,8
Coefficiente de dispersión	Dx = 10 m ² /s Dy = 20 m ² /s
Caudales de descarga	6m ³ /s caudal medio
Coefficiente de Manning	0,014
Nivel de coliformes (E. Coli)	1 E12 MPN/ m ³ (máximo de descarga legal) 1 MPN/ m ³ (medio ambiente)
Grid utilizada	Malla N°3

9.1.4 Diseño: Caso 4

En este caso se realizaron 2 simulaciones, en las cuales se utiliza el viento máximo (4m/s) hacia la costa, considerado crítico, con un caudal medio (6 m³/s) y máximo (9m³/s).

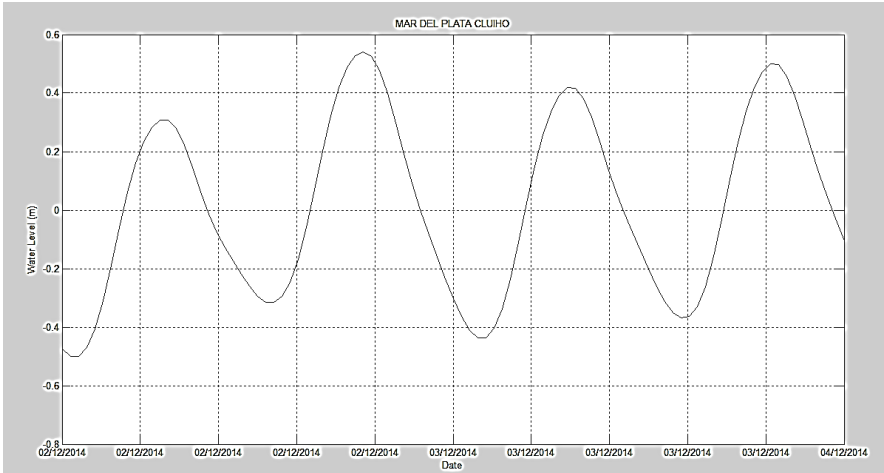
Tabla 24: Parámetros caso 4

Datos de entrada	Valores adaptados
Temperatura de agua	15 °C
Serie de marea	 <p>Marea 2/12/2014 y 3/12/2014</p>
Salinidad	Salinidad del medio 33 g/Kg Salinidad del afluente 1 g/Kg
Viento	4 m/s dirección oeste
Materia inorgánica	Medio: 10 gDM/m ³ Afluente : 30 gDM/m ³
Radiación solar	500 W/ m ²
Viento	4m/s directo a costa
Coefficiente de extinción de UV de materia inorgánica	0,0862
Coefficiente de extinción UV por profundidad	0,08
Duración del día	0,45
Tasa de mortalidad de los E. Coli	0,8
Coefficiente de dispersión	Dx = 10 m ² /s Dy = 20 m ² /s
Caudales de descarga	6m ³ /s caudal medio 9m ³ /s caudal máximo
Coefficiente de Manning	0.014
Nivel de coliformes (E. Coli)	1 E12 MPN/ m ³ (máximo de descarga legal) 1 MPN/ m ³ (medio ambiente)
Grid utilizada	Malla N°3

9.1.5 Diseño: Caso 5

Este caso buscaba considerar la campaña 13, que se consideraba en su momento de alto riesgo Evento crítico por su viento considerable de 7.4m/s con un viento que viene con 67° del NE. Se utilizó la marea típica, condiciones de descarga medias y máximas.

Tabla 25: Parámetros caso 5

Datos de entrada	Valores adaptados
Temperatura del agua	15 °C
Serie de marea	 <p>Marea 2/12/2014 y 3/12/2014</p>
Salinidad	Salinidad del medio 35 g/Kg Salinidad del afluente 1 g/Kg
Viento	Tabla N° 15 vientos típicos
Materia inorgánica	Medio: 10 gDM/m ³ Afluente : 30 gDM/m ³
Radiación solar	500 W/ m ²
Coefficiente de extinción de UV de materia inorgánica	0,0862
Coefficiente de extinción UV por profundidad	0,08
Duración del día	0,45
Tasa de mortalidad de los E. Coli	0,8
Coefficiente de dispersión	Dx = 10 m ² /s Dy = 20 m ² /s
Caudales de descarga	6m ³ /s caudal medio y 9m ³ /s caudal máximo
Coefficiente de Manning	0.014
Nivel de coliformes (E. Coli)	1 E12 MPN/ m ³ (máximo de descarga legal) 1 MPN/ m ³ (medio ambiente)
Grid utilizada	Malla N°3



10. RESULTADOS



10. Resultados

En este capítulo se exponen los resultados hidrodinámicos y de dispersión de los casos modelados en FLOW (modulo hidrodinámica Delft) y D-Waq (modelo de dispersión de contaminantes Delft).

10.1 Hidrodinámica

Hay que tener en cuenta que, según el Instituto Nacional de Ciencia y Técnicas Hídricas, las mareas en la zona de construcción del emisario de Mar del Plata corresponden a un régimen mixto. En algunas partes del mes tiene un carácter diurno (un período por día), y en otras semi diurno (dos períodos por día). La creciente genera corrientes hacia el norte (0,05 – 0,15m/s); la bajante sur (0,1-0,2 m/s). INCYTH (1984). Efectivamente, al realizar la simulación con solo marea (sin viento), en el módulo FLOW se evidenció dicha diferencia en velocidad superficial, dependiendo si la altura de la marea era creciente o decreciente, concordando con lo afirmado por INCYTH.

10.1.1 Hidrodinámica: Caso 1

Hay que denotar que existe una corriente submarina generada por marea, la cual puede incidir en la velocidad superficial en la simulación. En otras palabras, la corriente submarina va hacia el norte en marea creciente y el viento empuja la superficie del agua hacia el sur.

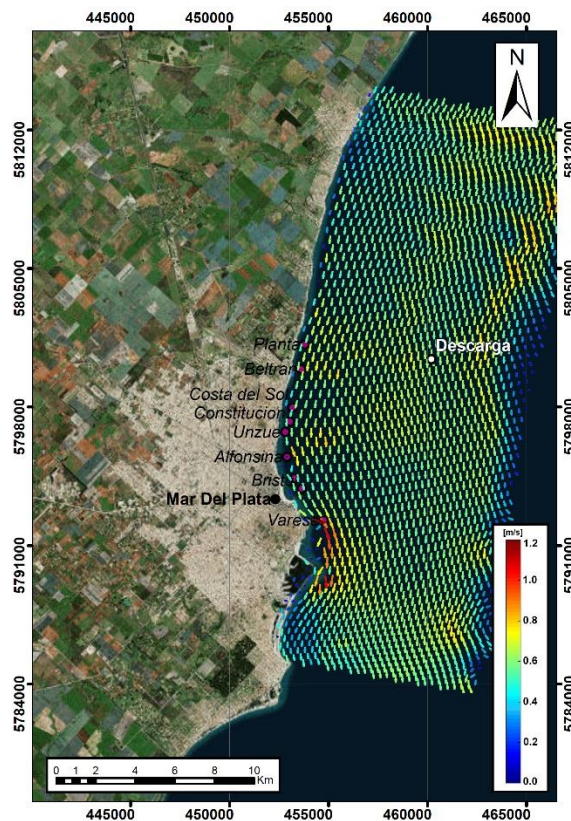


Ilustración 42: Caso 1 - Hidrodinámica superficial con 80km/h del norte - 6h de simulación.

Como se puede observar en los resultados hidrodinámicos del primer día (ilustración 42) y del segundo día (ilustración 43), no resultan cambios significativos en los patrones de velocidad en dirección se mantiene, pero en cuestión de magnitud aumentan levemente. la descarga de coliformes se realizó a partir de las 0h del segundo día.

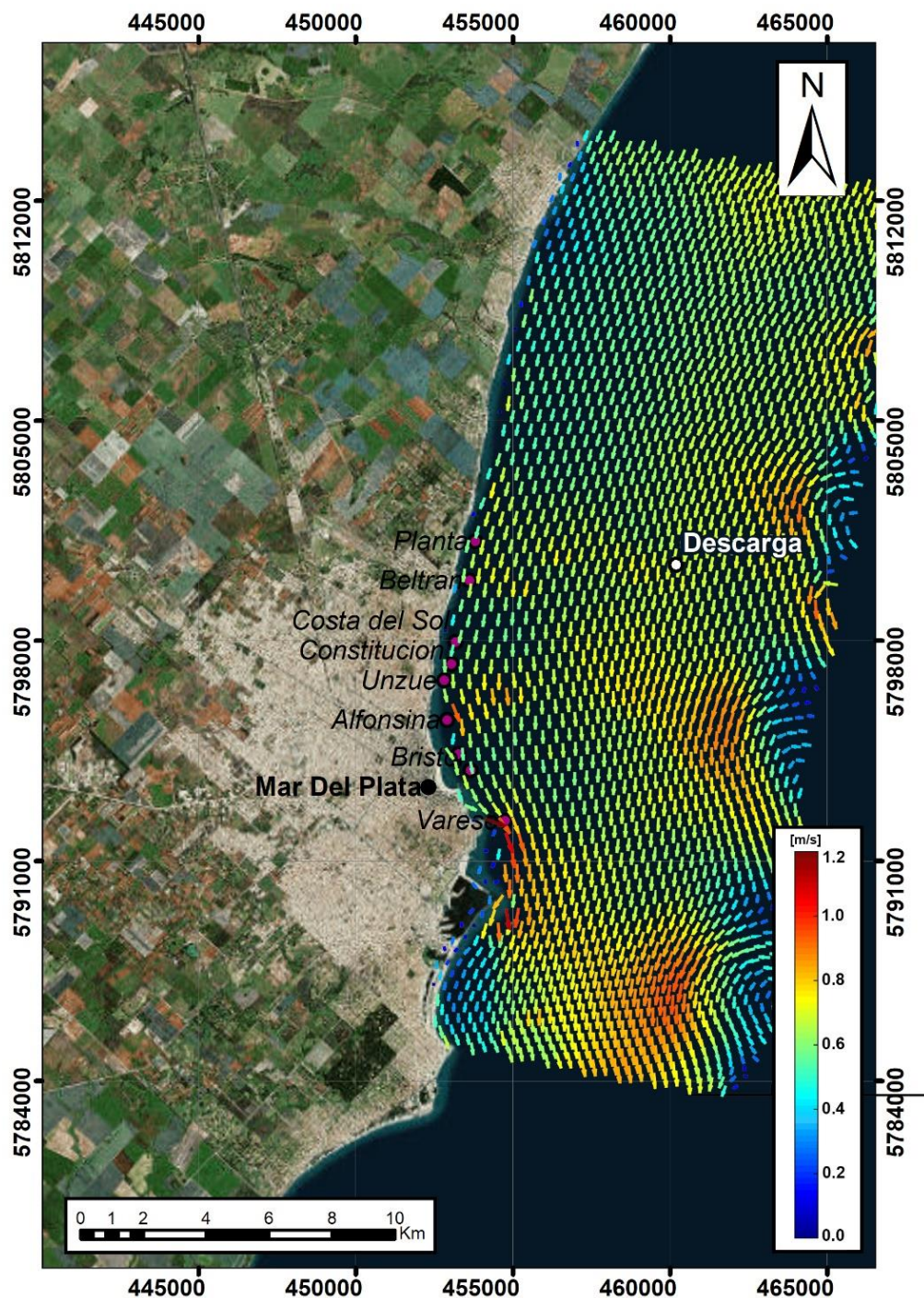


Ilustración 43: Caso 1 al cabo de 30h de simulación

10.1.2 Hidrodinámica: Caso 2

Este caso corresponde a un viento fuerte de 60 Km/h proveniente del sur, En este caso se logra visualizar que los máximos vectores de velocidad (1.2 m/s).

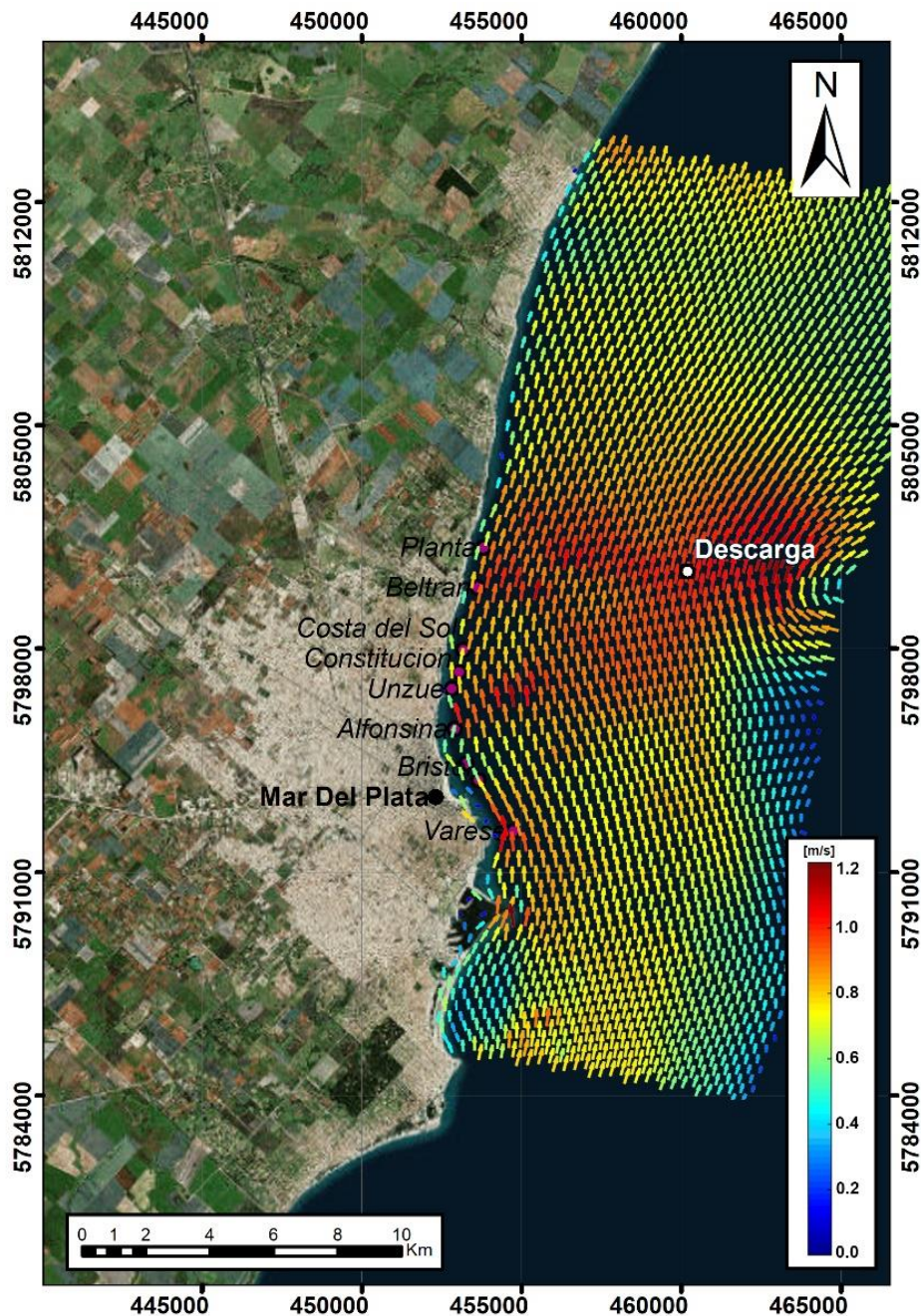


Ilustración 44: Caso 2- hidrodinámica al cabo de 30h.

Como se observa en la ilustración 44, los vectores de mayor velocidad se establecen cerca al punto de descarga y la planta. prevaleciendo esta velocidad sobre la corriente de marea.

10.1.3 Hidrodinámica: Caso 3

En Mar del Plata, en un día típico, el viento puede describir cinco variaciones de intensidad y dirección (Ver Tabla 9 de Vientos Típicos). A continuación, se muestran cinco imágenes, que representan la hidrodinámica al finalizar cada una de estas variaciones.

De Oh – 12h el viento Noroeste percute con bajas velocidades superficiales (0,7 m/s aproximadamente) hacia el sur. (ver ilustración 45).

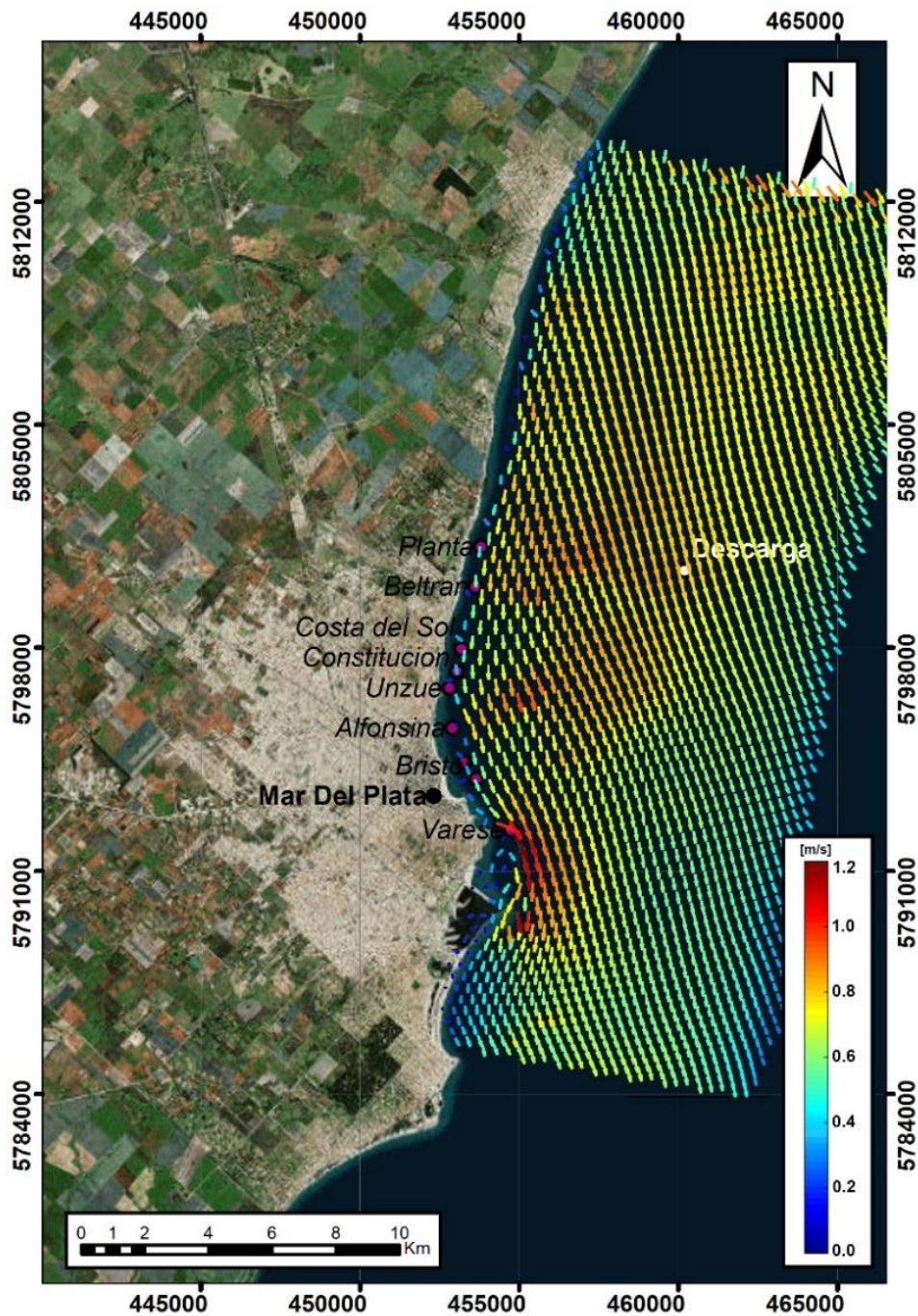


Ilustración 45: Caso 3- 10h de simulación.

La ilustración 46, corresponde a la hidrodinámica de condiciones medias entre las 12h-14h, las cuales permiten una mayor velocidad a costa, pero van perdiendo energía a medida que se acercan a la costa.

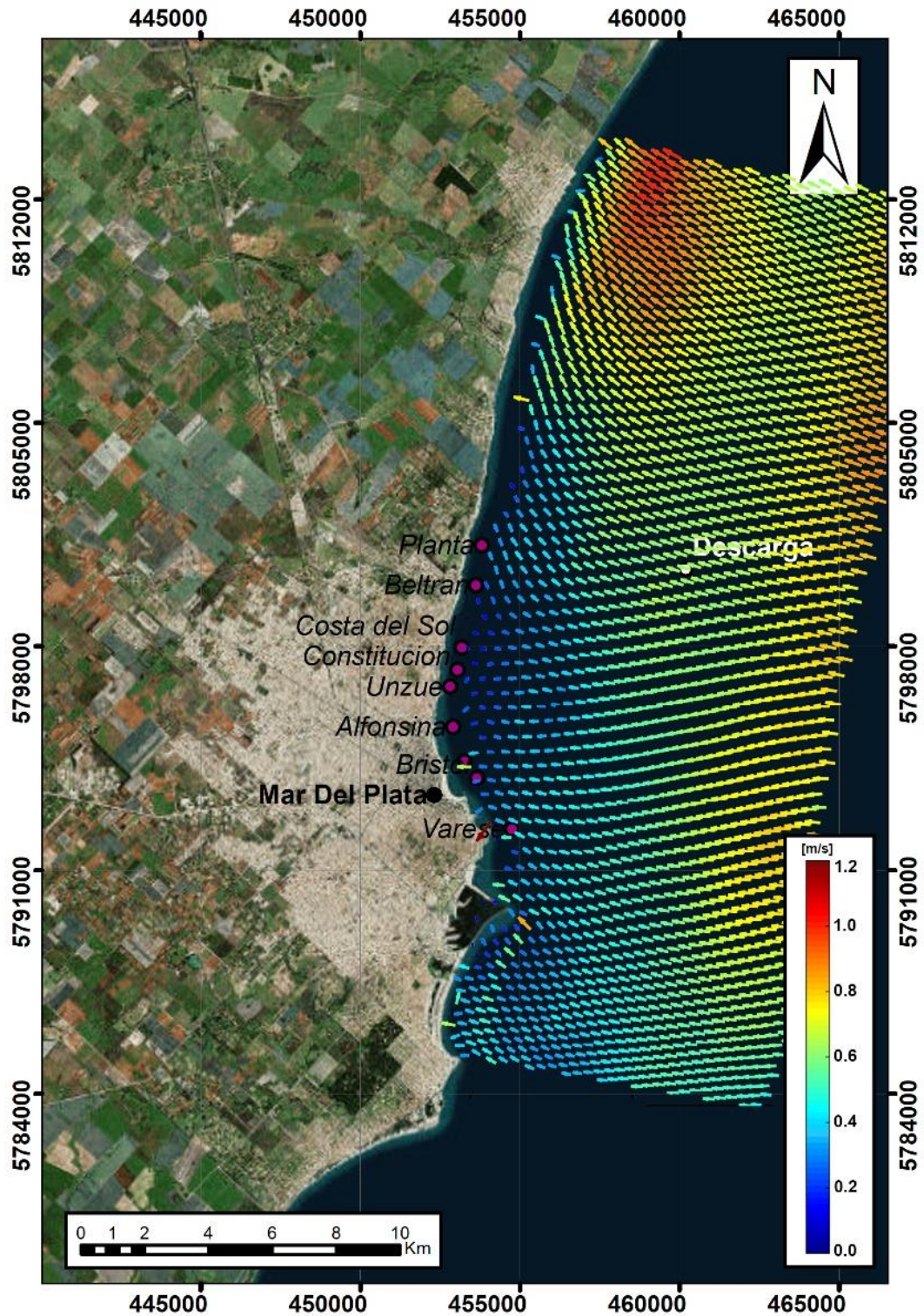


Ilustración 46: Caso 3 - 14 h de simulación.

Como se puede notar en la ilustración 47, existe una mayor intensidad del viento entre 14h-20h.

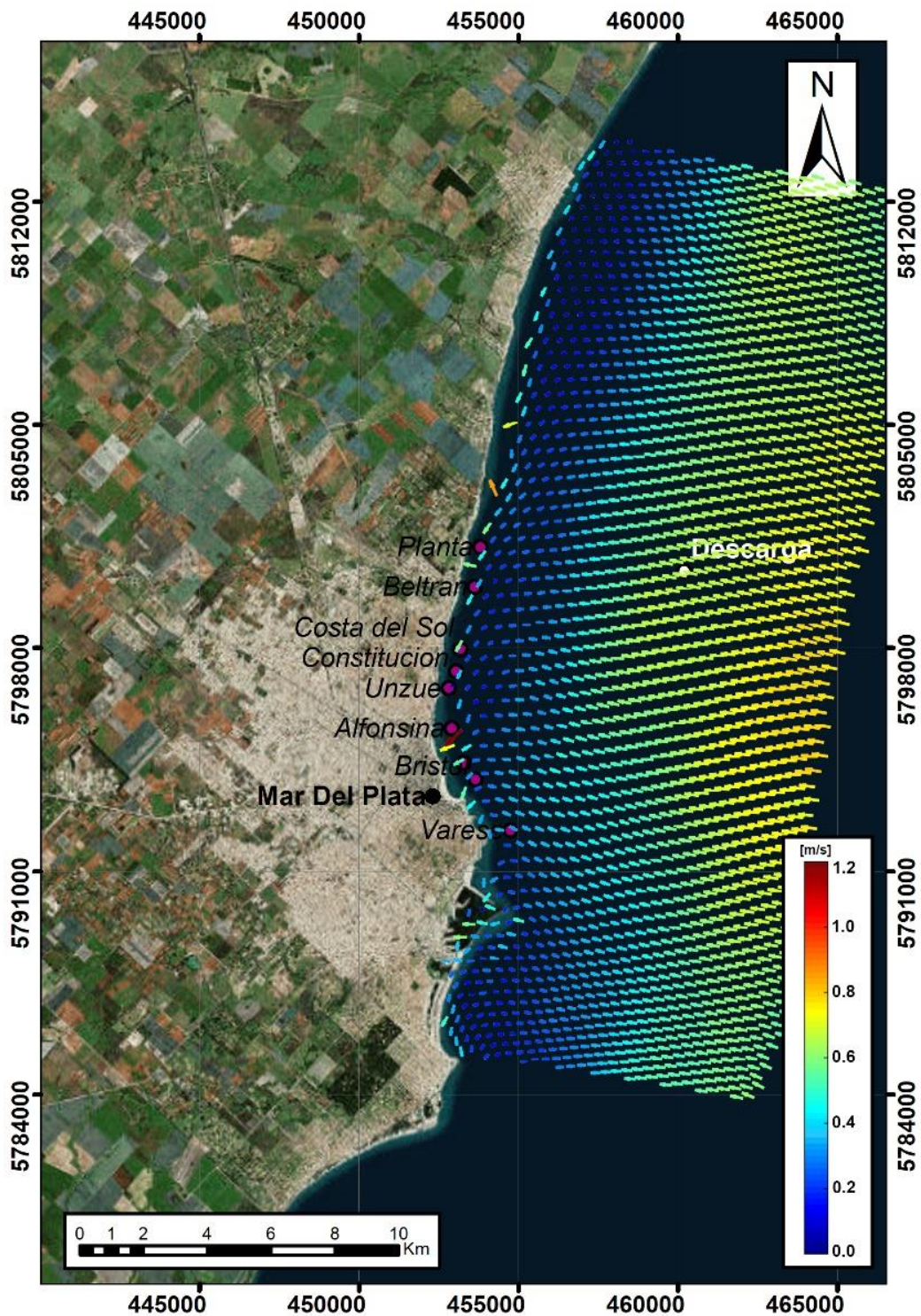


Ilustración 47: Caso 3 al cabo de 16h

Como se puede ver en la ilustración 48 el cambio de dirección del viento entre las 20h y 22h deja la intensidad sobre la costa y aleja.

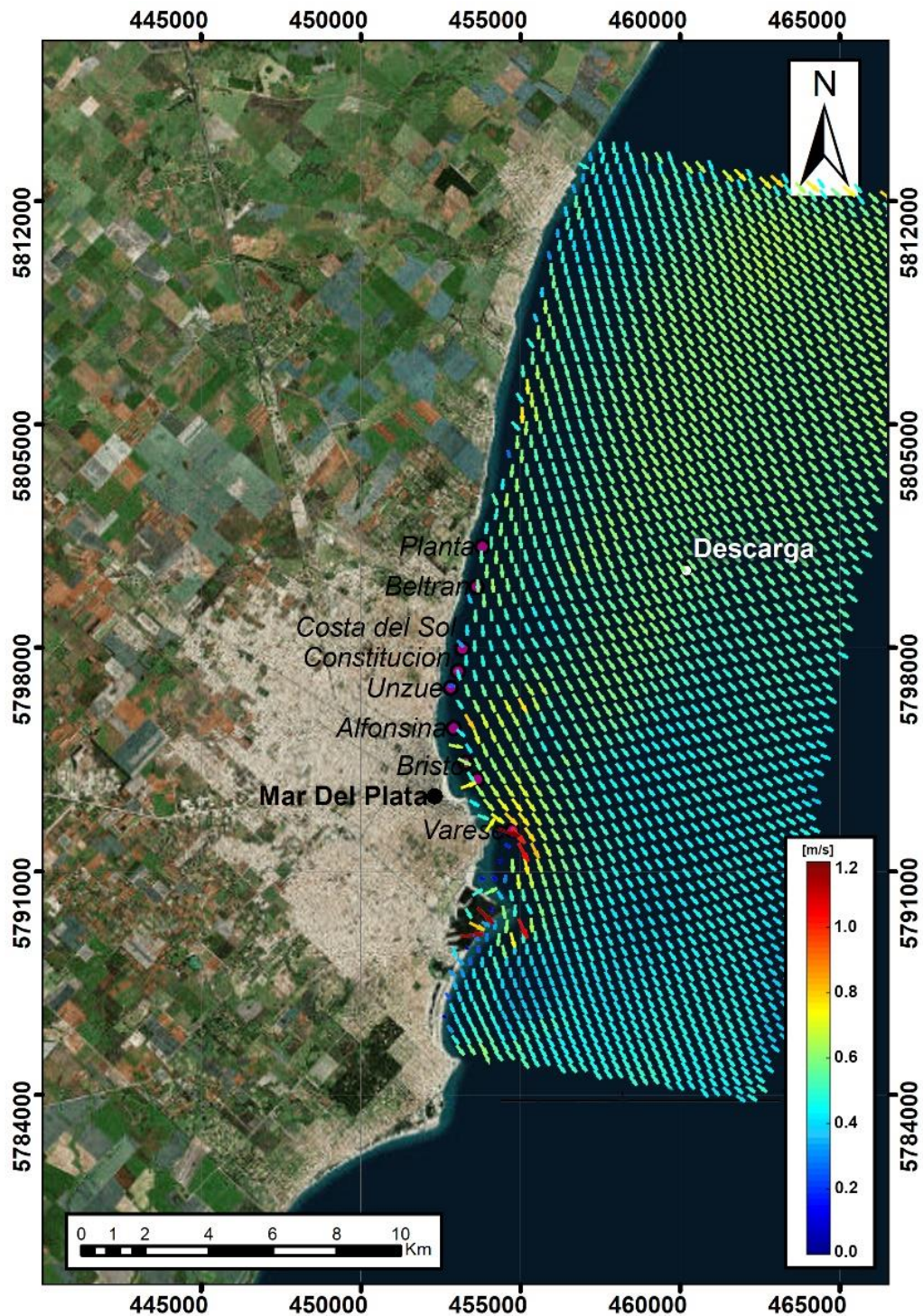


Ilustración 48: Caso 3 al cabo de 21:50h de simulación.

Como se puede ver en la ilustración 49, entre las 22h y las 24h se nota una mayor intensidad lejos de la costa. Lo cual debe favorecer la descarga de coliformes en ese lapso de tiempo.

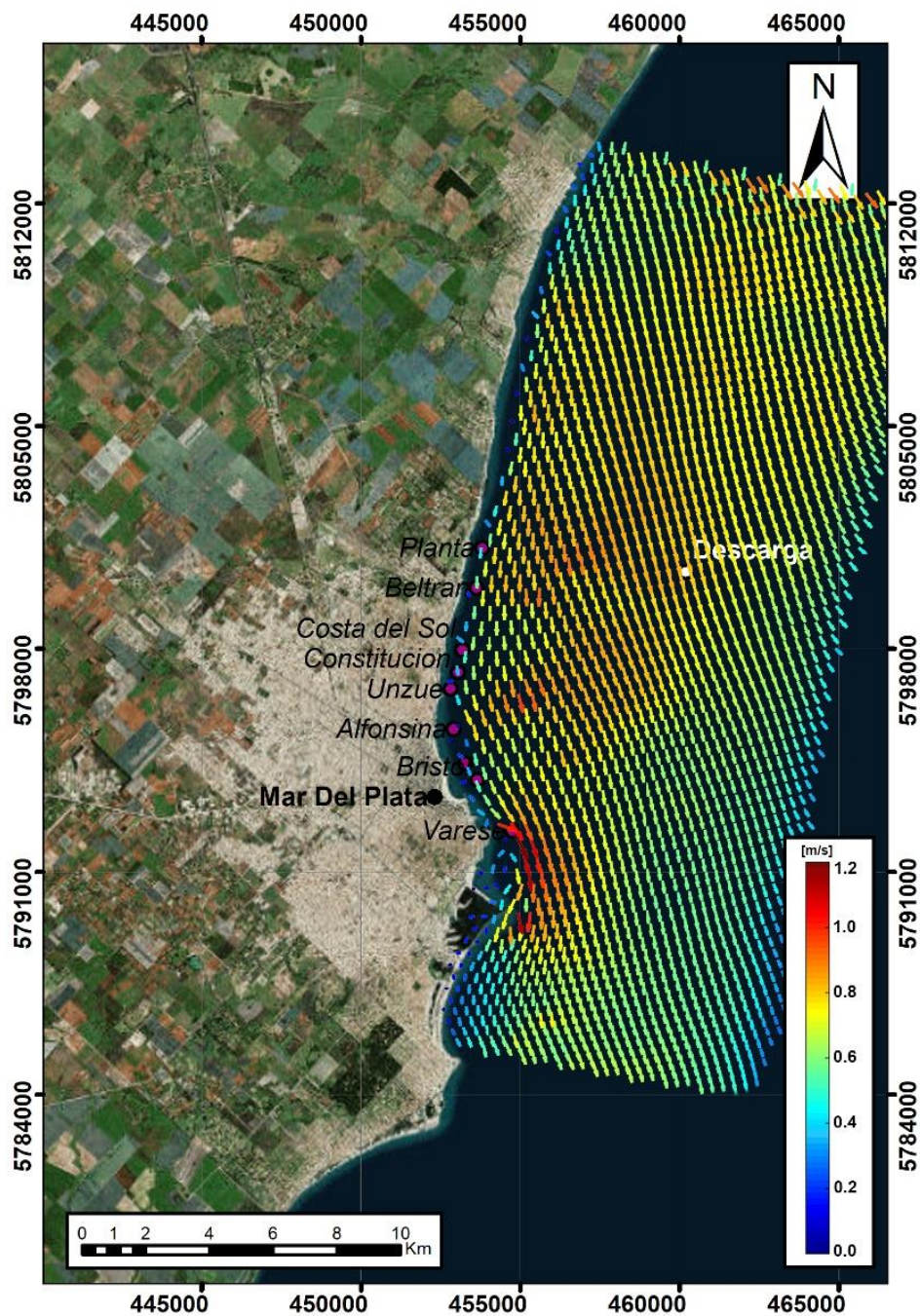


Ilustración 49: Caso 3 al cabo de 23:50 h de simulación.

10.1.4 Hidrodinámica: Caso 4

Este es un caso corresponde al máximo viento registrado directo a costa (4 m/s). Por supuesto es un caso crítico, ya que por la ubicación del emisario 4 km mar adentro y con esas condiciones de viento, existiría una posibilidad de que el agua contaminada llegue a costa.

Como se puede ver en la ilustración 50. Se denota que en el primer día no son estables las soluciones que arroja la simulación, por lo cual es indispensable un segundo día para que ofrezca una mejor representatividad del fenómeno.

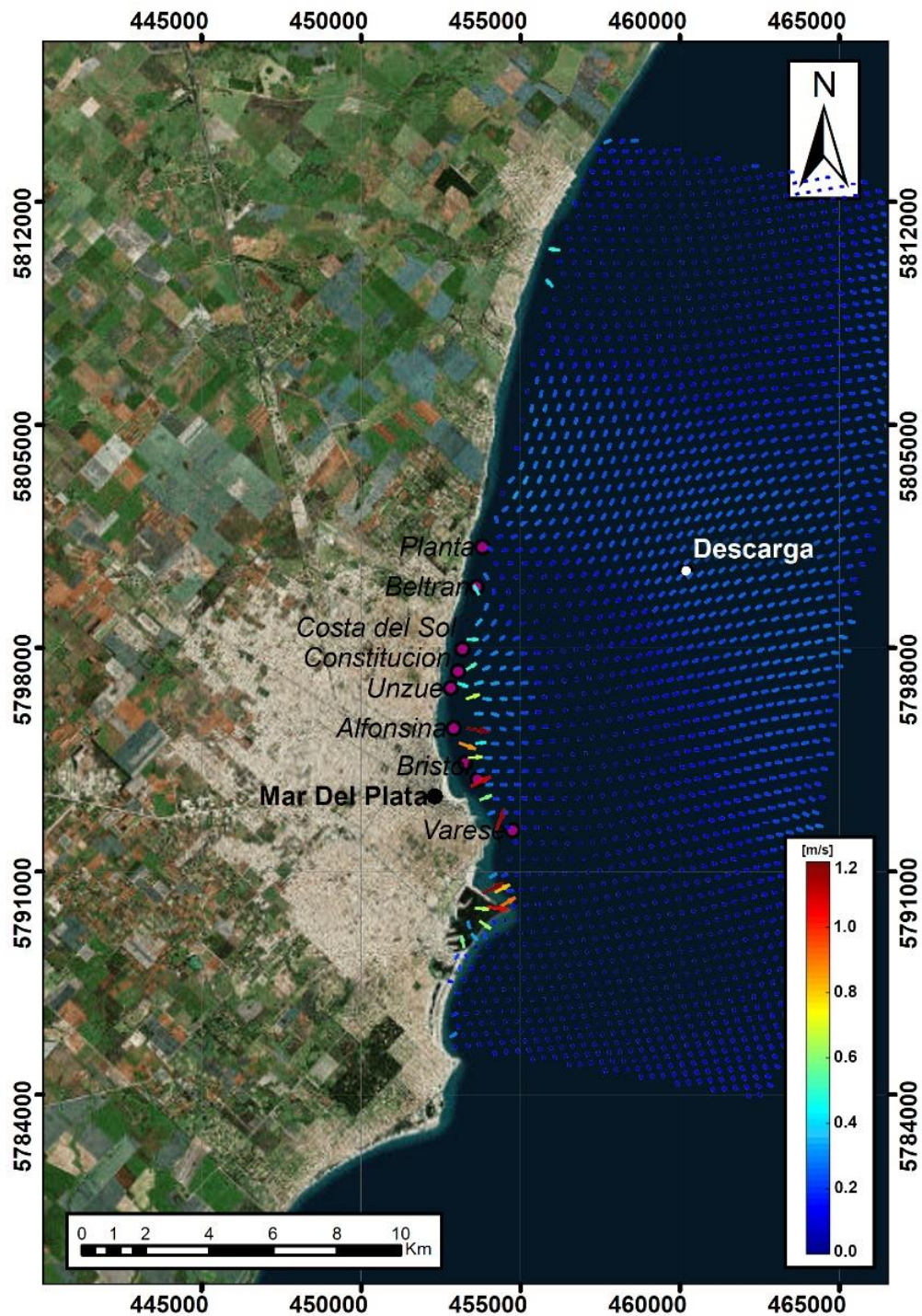


Ilustración 50: Caso 4 al cabo de 10h de simulación.

Como se puede ver en la ilustración 51. Se alcanza el objetivo de estabilización de los vectores superficiales y la corriente de marea.

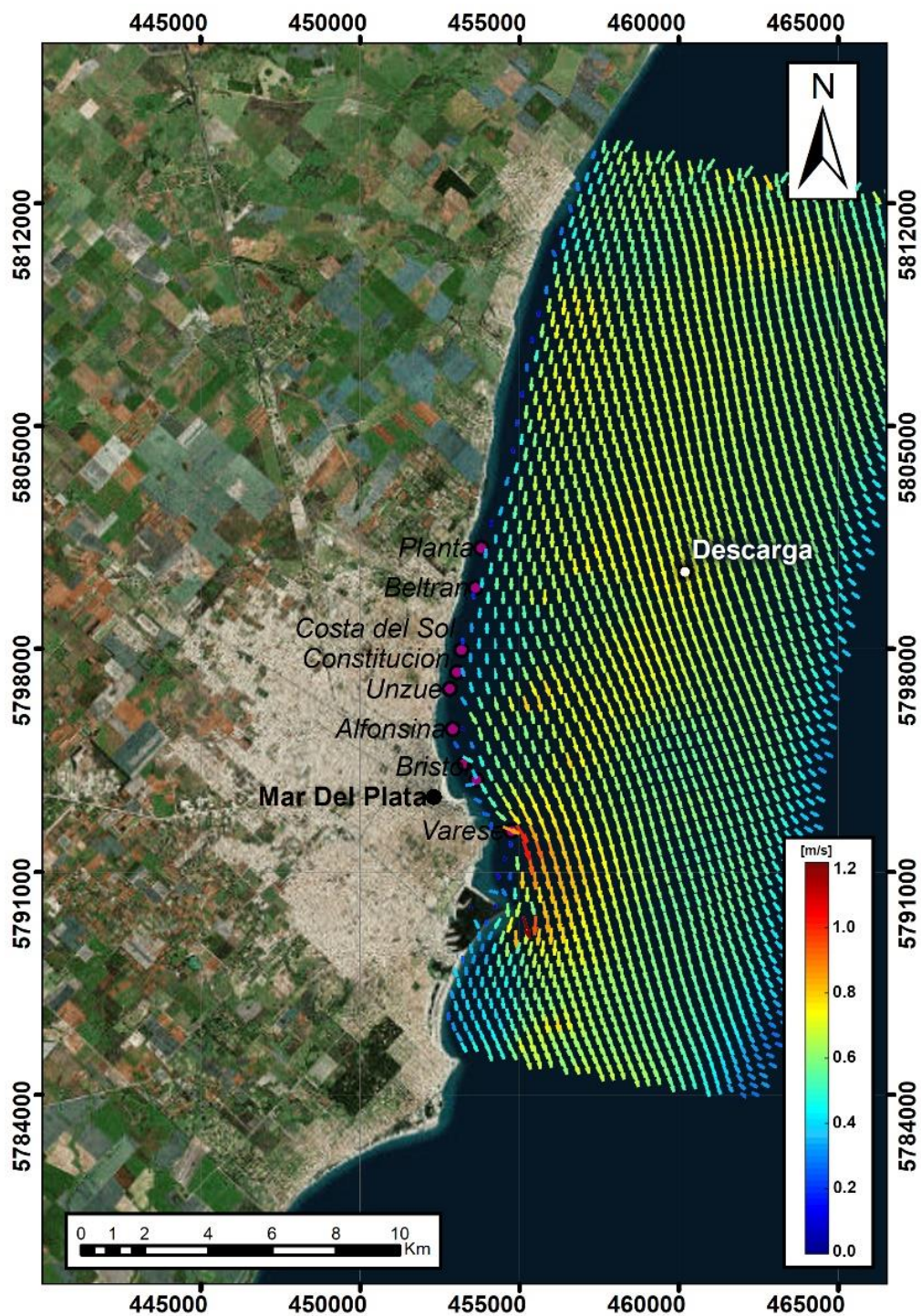


Ilustración 51: Caso 4 al cabo de 48h de simulación

10.1.5 Hidrodinámica: Caso 5:

En la campaña 13 se registró un viento de 7.4m/s con 67° hacia la costa, considerado un posible evento crítico.

En los casos de simulación se realizaron 2 días de hidrodinámica incluyendo solo en el segundo día la descarga de coliformes, con la intención de contar con unas condiciones estables de marea y viento cuando se efectúe la descarga.

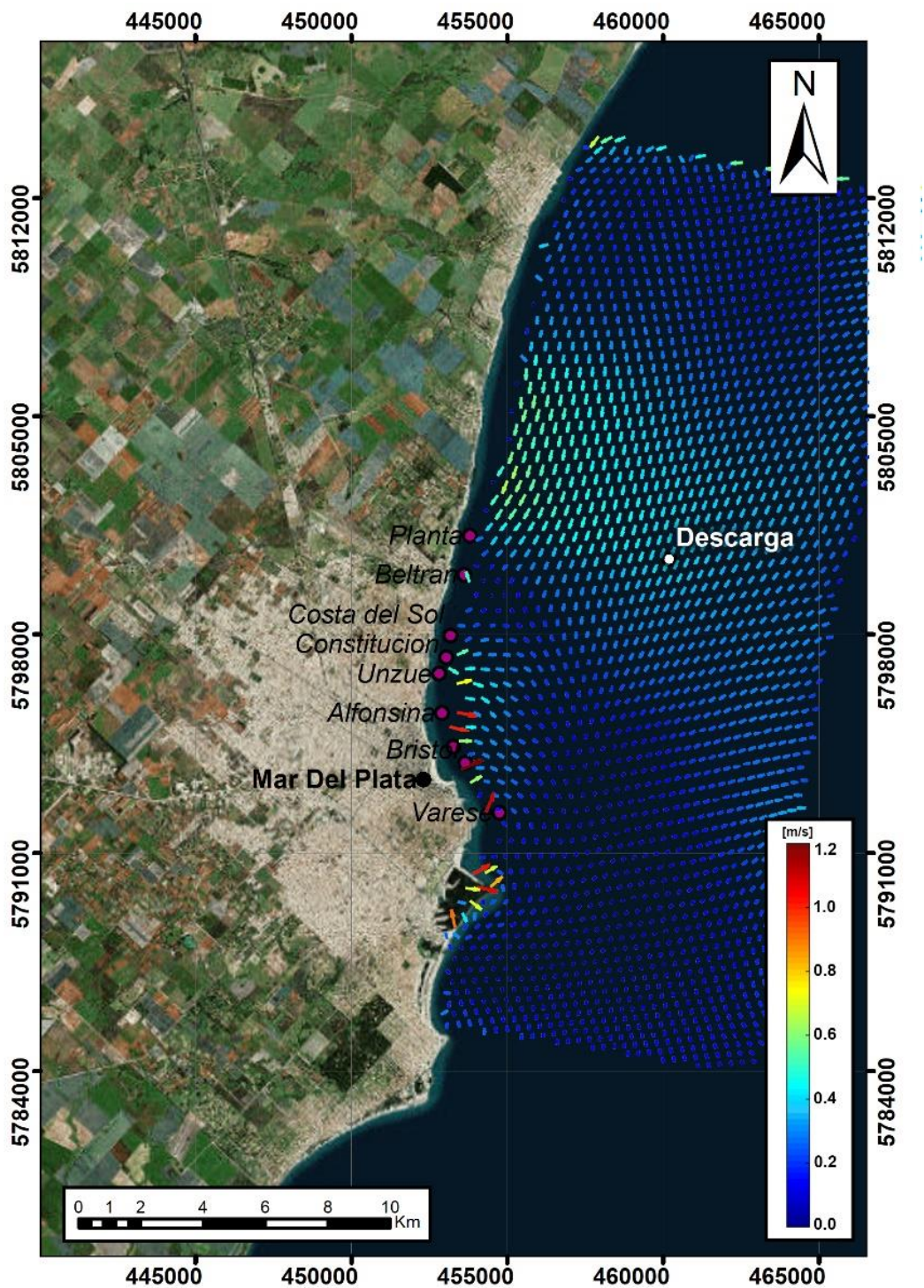


Ilustración 52: Caso 5 - 6h de simulación.

Como se puede ver en la ilustración 52. Aparentemente a pesar de que hay un viento hacia la costa los vectores denotan una baja intensidad entre 0,3 y 0,4 en la zona de dispersión.

10.2 Resultados de dispersión:

Se exponen los resultados de dispersión en los casos seleccionados haciendo énfasis en el campo lejano. Es importante recordar que el límite de descarga de coliformes permitido en la legislación Argentina es de $1E12$ NMP/ m^3 y que este debe ser inferior a $1E6$ NMP/ m^3 E. Coli en zonas de baño (300m de la costa), teniendo en cuenta que el emisario de Mar del Plata tiene una capacidad máxima de $9m^3/s$, el valor medio es de $6m^3/s$ y el valor típico de descarga es de $1E10$ NMP/ m^3 .

En las imágenes se muestran las concentraciones de E. Coli, donde $1E6$ NMP hasta $1E8$ NMP corresponden al color amarillo; desde $1E8$ NMP hasta $1E9$ NMP corresponden al color rojo; desde $1E9$ NMP hasta $1E10$ NMP corresponden al color violeta; y de $1E10$ NMP hasta $1E12$ NMP corresponden al color azul.

10.2.1 Dispersión: Caso 1

En este escenario se una simulación con viento fuerte de 80 km/h del sur, registrado el 9 de julio de 1996, con caudal medio de descarga de $6m^3/s$ y una concentración E. Coli de $1E10$ NMP.

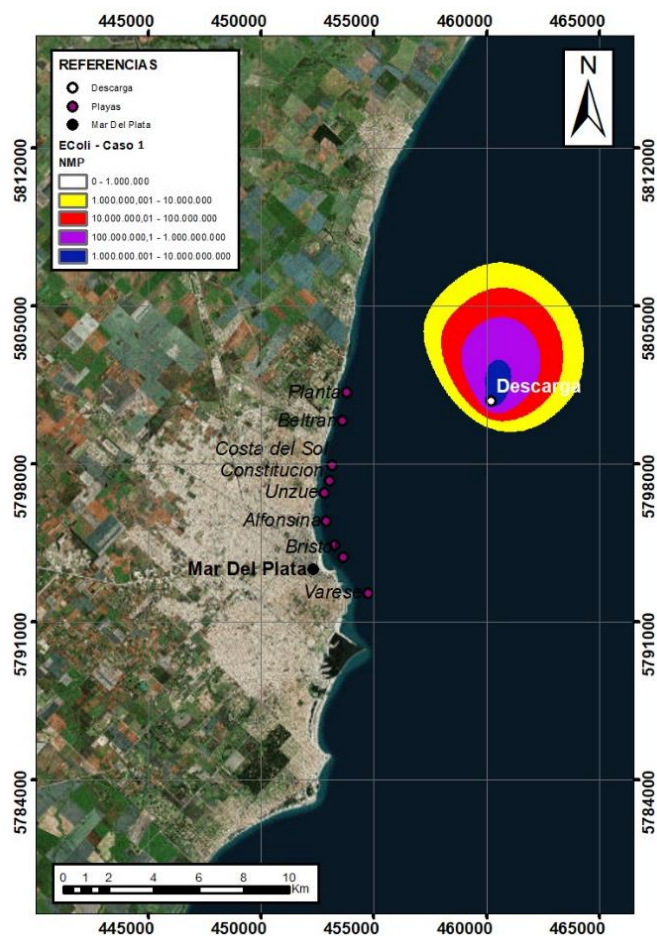


Ilustración 53: Caso 1 al cabo de 9 horas de descarga

En este caso se notó (ver ilustración 53) que al cabo de las 4 horas la mancha entraba en un estado estable, prácticamente se mantiene a cabo de un día completo de simulación.

Hay que destacar que en este caso no se ve reflejada ninguna posibilidad de que se afecte las playas, el área de disolución al cabo de las nueve horas era de $8.11 \text{ E}6 \text{ de m}^2$. y en el caso de 9 horas alcanza un área de $1.04 \text{ E}7 \text{ m}^2$.

En algunas simulaciones de prueba se subió el caudal a 9 m^3 (máximo) con $1\text{E}12$ de E. Coli sin embargo no existió afectaciones en playa.

10.2.2 Dispersión: Caso 2

Se ilustran los resultados del caso N°2, del 20 de julio de 1996, en el que se registró viento de 80 km/h del norte. Si el emisario hubiera estado en funcionamiento en ese momento, hubiera trabajado con caudales típicos de descarga y de E. Coli de $6 \text{ m}^3/\text{s}$ con una contaminación de $1\text{E}10 \text{ NMP}$ de E. Coli.

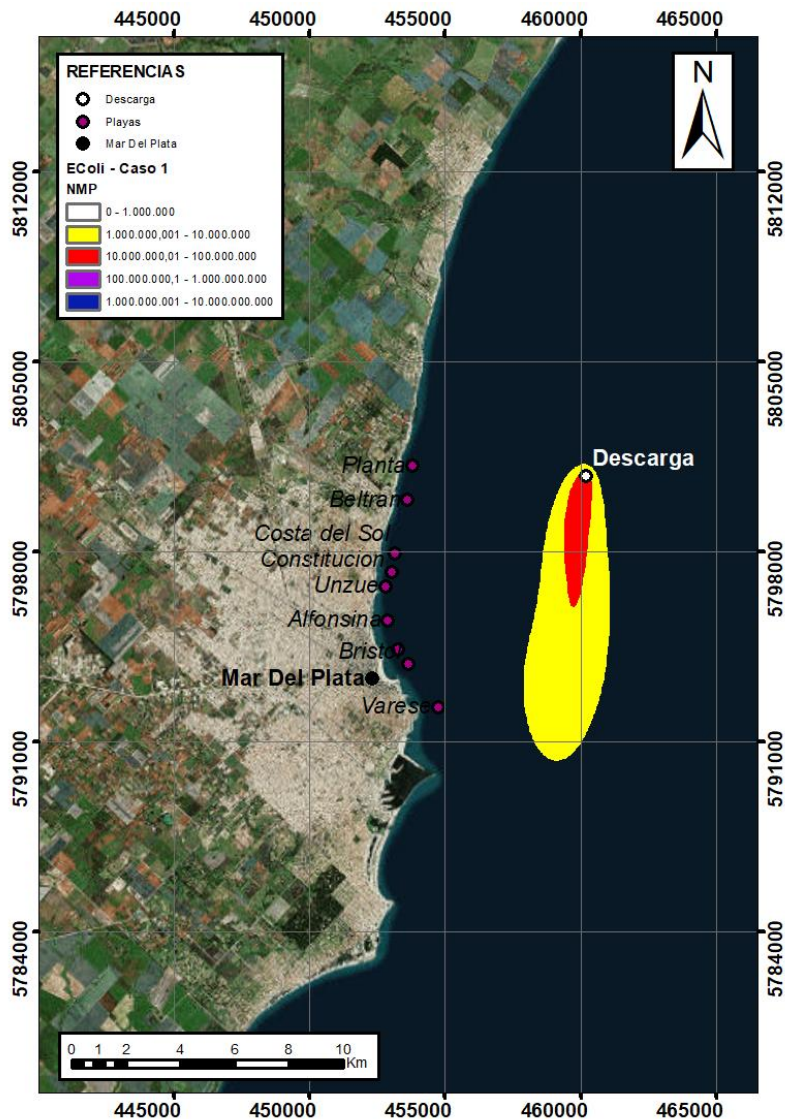


Ilustración 54: Caso 2 al cabo de 12 horas de descarga.

Como se puede observar en la ilustración N° 54, la mancha es mucho más alargada que en el anterior caso ya que interviene un viento más fuerte y que a su vez la corriente típica va en la misma dirección del viento.

También se realizaron simulaciones con caudales y descargas máximas, y en ningún caso existió una posible afectación en playa.

10.2.3 Dispersión: Caso 3

En este caso de condiciones medias, hay que recalcar la posición de la mancha dependiendo la hora, ya que, al variar el viento y la marea, se va modificando su área de dispersión, pero en ningún momento llega a provocar algún peligro en zonas de baño. Ver ilustración 55.

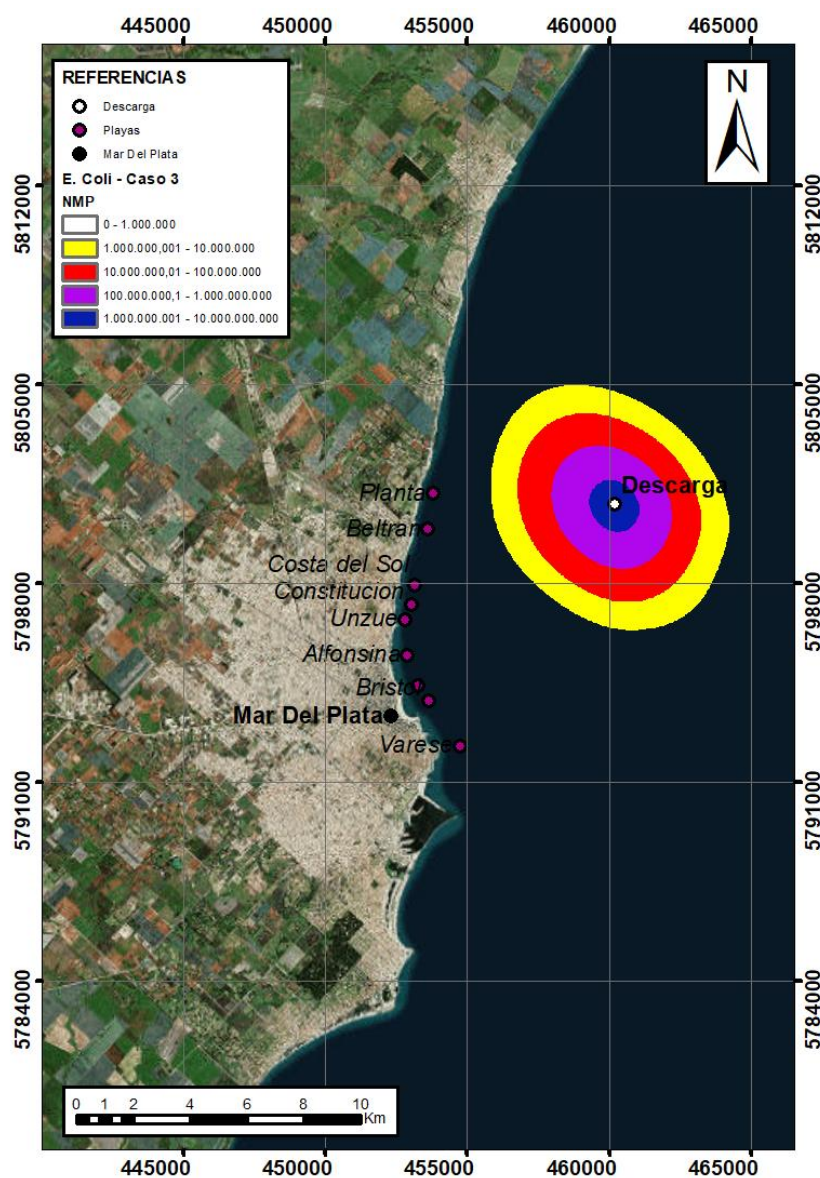


Ilustración 55: Caso 3 al cabo de 10h de descarga

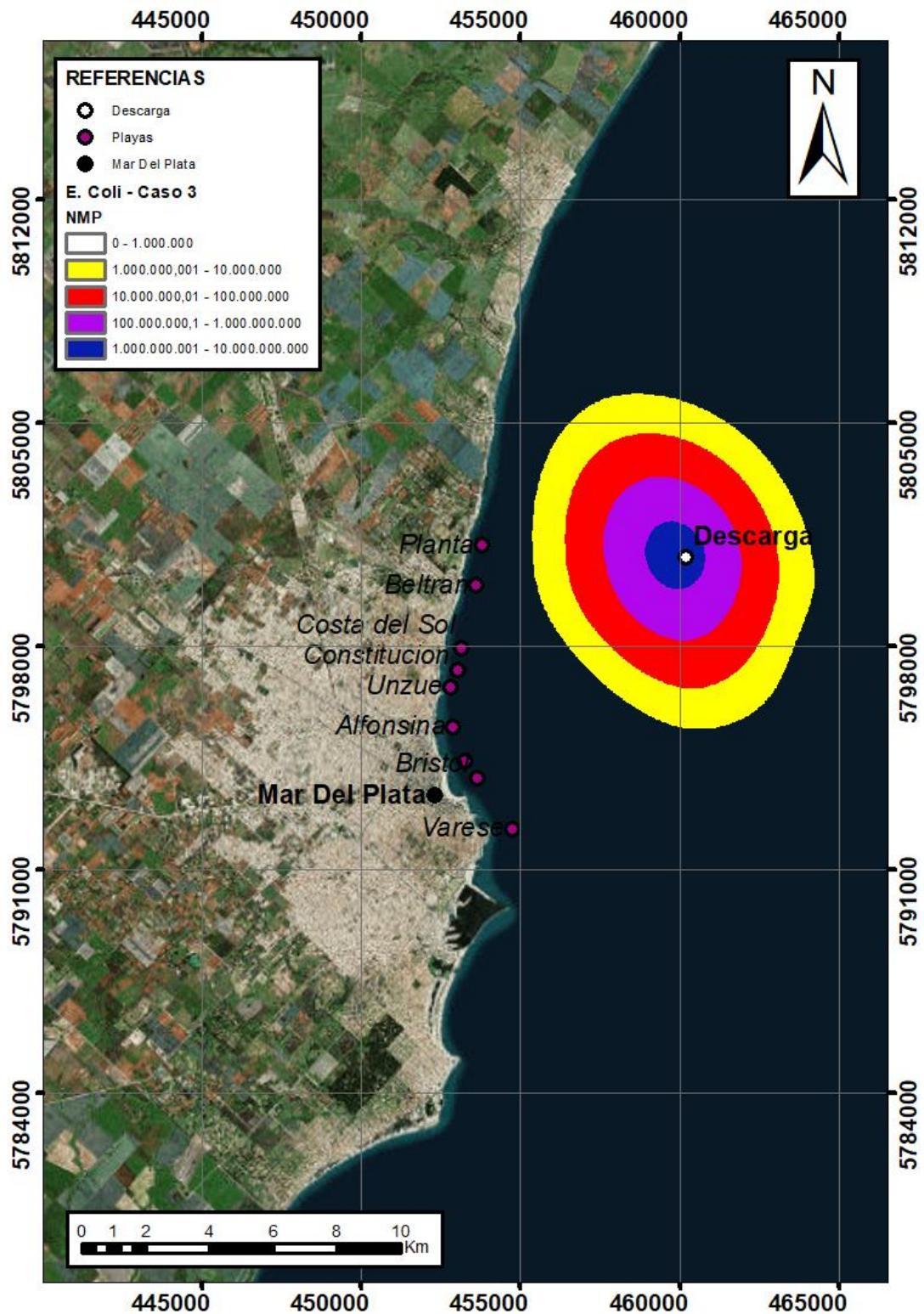


Ilustración 56: Caso 3 al cabo de 16 h de descarga.

Como se puede ver en la ilustración 56, a pesar de que aumenta levemente el área de disolución, esto no representa un peligro en zonas de baño cercanas.

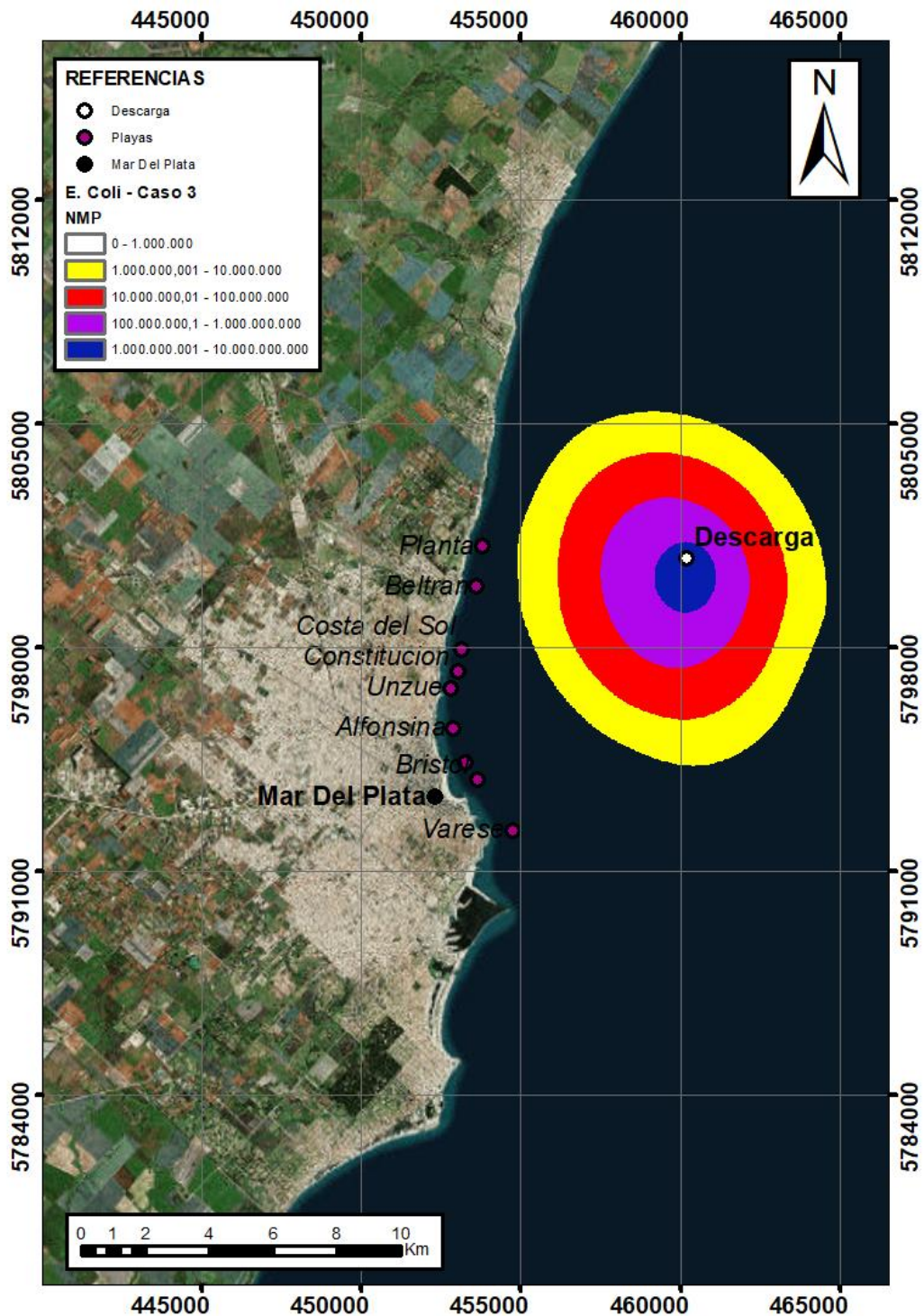


Ilustración 57: Caso 3 al cabo de 21 h de simulación.

Como se puede ver en la ilustración 57, a pesar de que aumenta levemente el área de disolución, y se estira hacia el sur, no representa un peligro en zonas de baño cercanas.

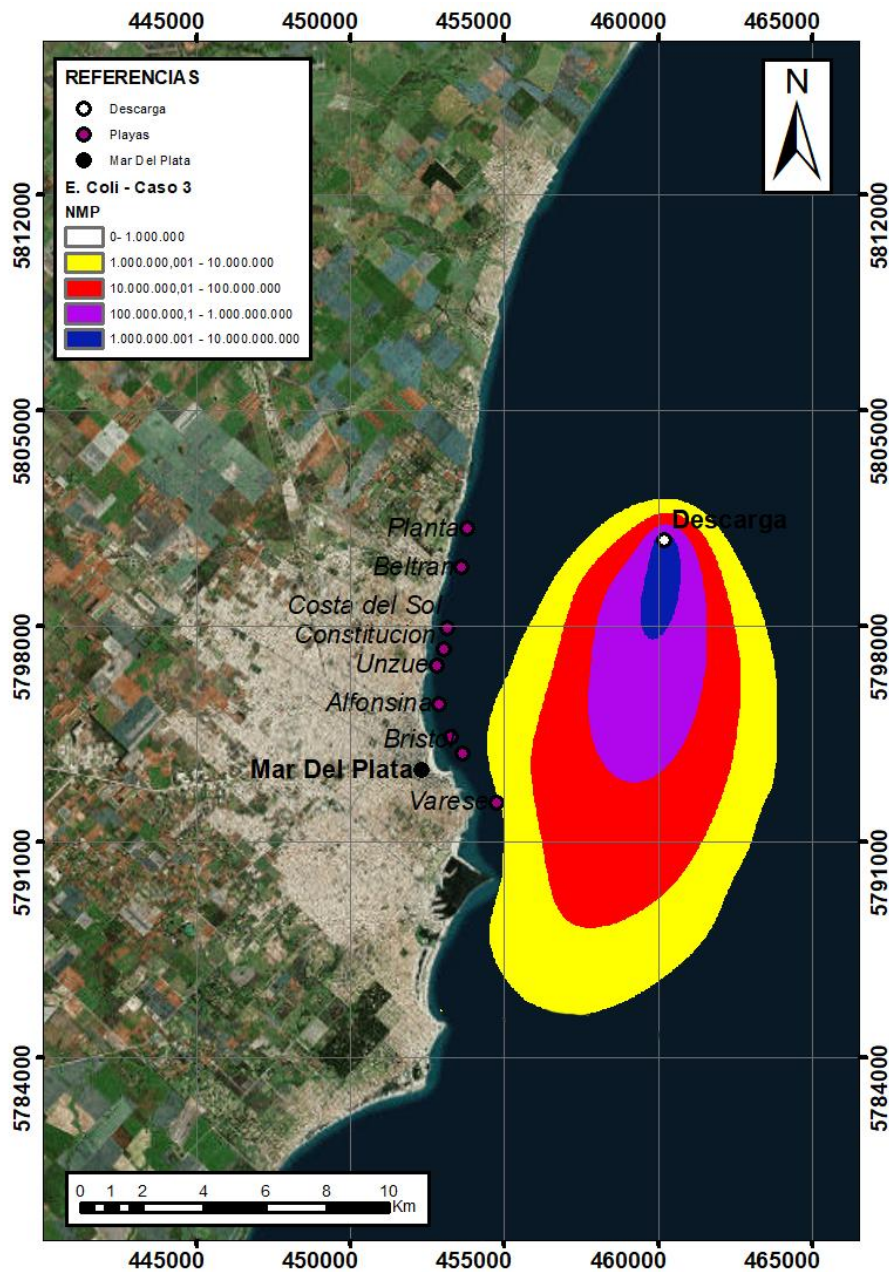


Ilustración 58: Caso 3 al cabo de 23h de simulación

Como se puede ver en la ilustración 58, a pesar de que aumenta el área de disolución, no representa un peligro en zonas de baño cercanas. Por otro lado, los olores generados su tendencia será hacia el sur.

10.2.4 Dispersión: Caso 4

En este escenario, no se evidenció que el máximo viento directo a costa lograra llegar hacia la costa, ya sea con caula medio ($6\text{m}^3/\text{s}$) o caudal máximo ($9\text{m}^3/\text{s}$) durante 1 día completo de descarga, sin cambio en la dirección del viento. Ver ilustración 59.

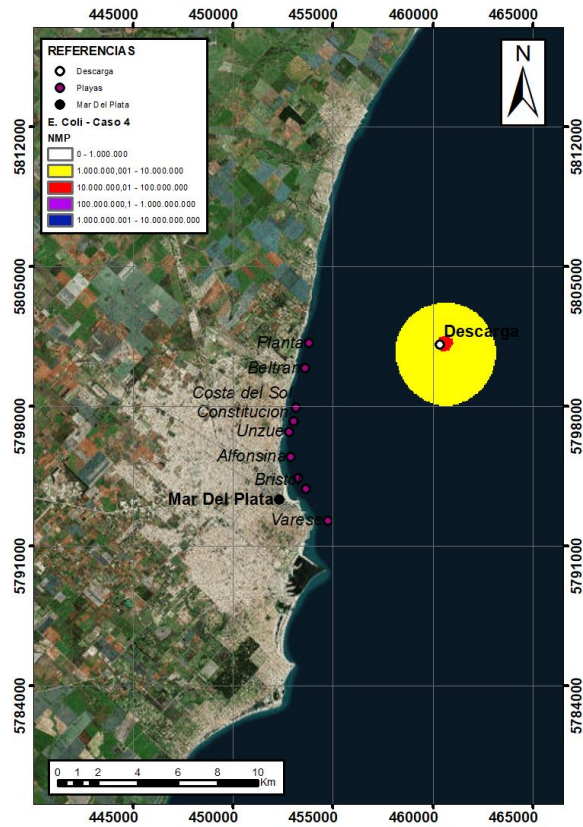


Ilustración 59: Caso 4 al cabo de 6h

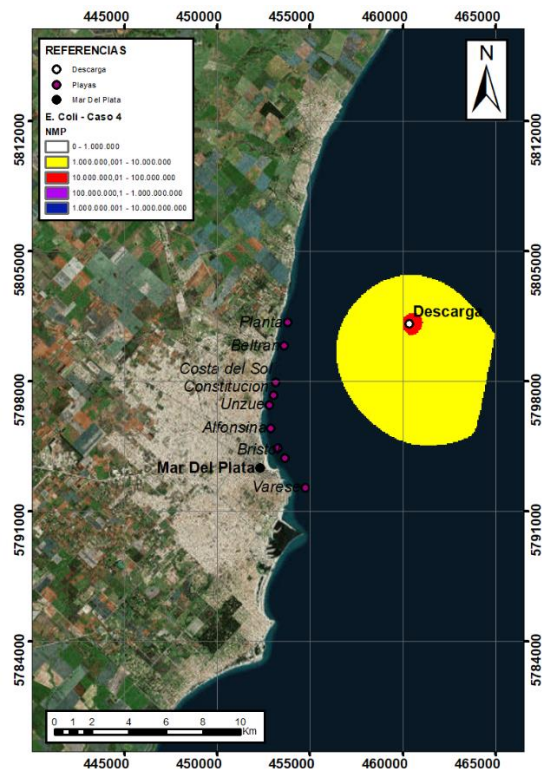


Ilustración 60: Caso 4 al cabo de 24h. de simulación.

Como se puede ver en la ilustración 60. Este caso que se realizó con $6m^3$ y una descarga de $1E10$ NMP. Se notaba que a pesar que fuese el viento más fuerte hacia costa (4 m/s), la prevalencia de corriente marina de (1.5 m/s) hace que este caso no sea tan crítico, e incluso entre 24h y 36h no se registra peligro alguno.

Se mantenía constante en el tiempo al cabo de 24 horas. Por lo cual surgió la pregunta acerca de en cuánto tiempo manteniendo este viento máximo registrado directo a costa, lograría tocar la costa. Pregunta que sería una de las conclusiones de esta tesis.

10.2.5 Dispersión: Caso 5

En este caso a pesar de que en los estudios previos se determinaba como un caso crítico en la práctica se denoto que no existía riesgo alguno, ya sea con caudal medio de descarga o caudal máximo de descarga. Ver ilustración 61.

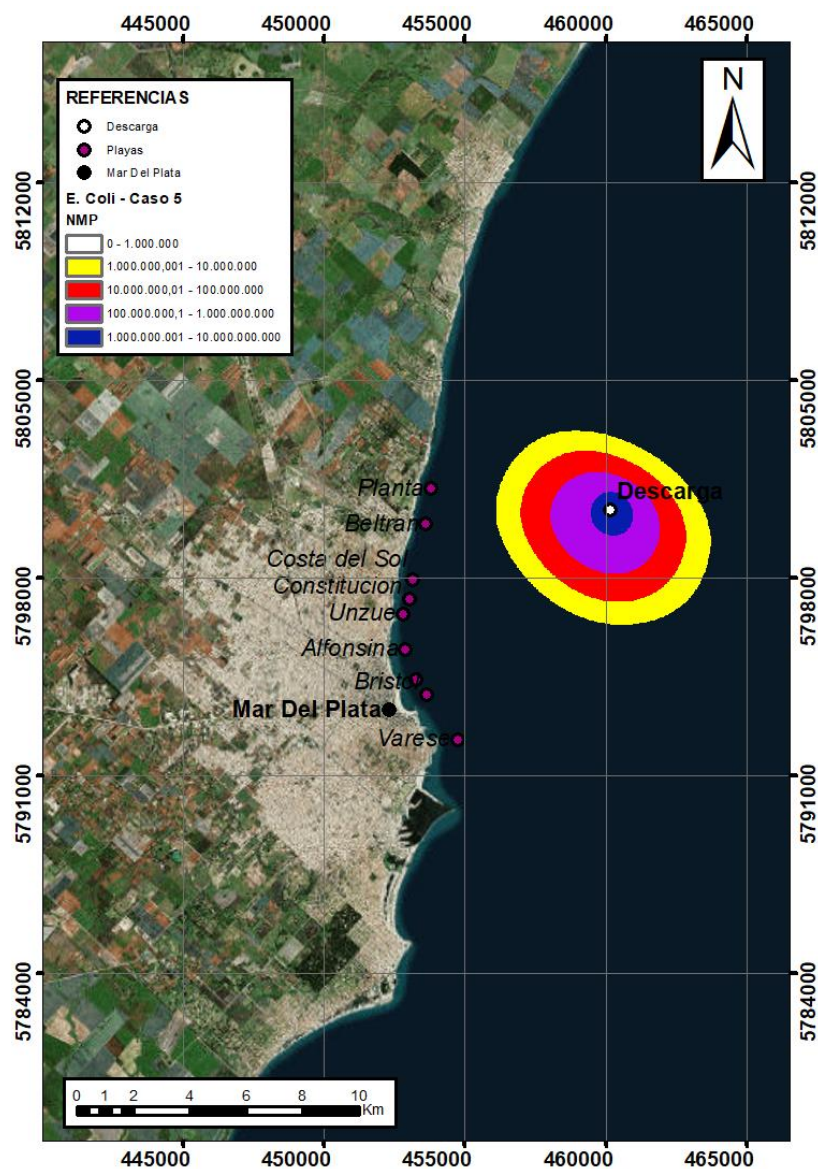


Ilustración 61: Caso 5 al cabo de 12h de simulación

En este caso se realizó con 6m^3 y una descarga de $1\text{E}10$ NMP. Se mantenía una mancha de coliformes constante en el tiempo, durante las 24 horas simuladas.

10.3 RESUMEN DE RESULTADOS

A continuación, se hace un breve resumen de análisis de los resultados:

- Se muestra la gran dependencia que la mancha de disolución de coliformes fecales tiene en relación con la dirección del viento.
- En las simulaciones presentadas, al ver las imágenes, no se logra notar alguna situación de viento que ponga en riesgo la salud de los ciudadanos de Mar del Plata con posible afectación de coliformes fecales a playas, con concentraciones por encima de los $1\text{E}6$ NMP.
- En la siguiente tabla se muestran los valores de área de disolución:

Tabla 26: Área de concentración de Coliformes

Nombre Imagen	Área [m^2]			
	Amarilla > $1\text{E}6$ NMP	Roja > $1\text{E}8$ NMP	Violeta > $1\text{E}9$ NMP	Azul > $1\text{E}9$ NMP
Caso 1 - 6 horas	40510923,8	24211601,3	11225783,0	1989678,5
Caso 1 - 7 horas	47719555,8	29148546,1	13671706,9	1935353,3
Caso 2 - 12 horas	18393726,0	3567960,6	0,0	0,0
Caso 2 - 42 horas	40289485,6	3699247,9	0,0	0,0
Caso 2 - 9 horas	25674716,2	3700957,3	0,0	0,0
Caso 3 - 10 horas	55420764,6	32506636,4	13953179,9	2523123,3
Caso 3 - 16 horas	70759982,9	41012612,3	16936469,3	3033841,9
Caso 3 - 21 horas	82685523,2	47051211,1	19039937,7	3345120,6
Caso 3 - 23 horas	11975615,6	67750622,5	24565394,1	3438261,9
Caso 4 - 48 horas	61295885,6	1080684,5	0,0	0,0
Caso 4 - 6 horas	20436554,8	485767,7	0,0	0,0
Caso 5 - 24 horas	61233631,7	1015318,2	0,0	0,0

Esta información sería relevante para determinar bajo qué eventos, en relación con el área de disolución, podrían darse posibles olores en playa o ciudad que desencadenen enfermedades de tipo respiratorio por los coliformes fecales transportados a través del aire.

- Se resalta que, a través de los modelos de predicción de oleaje y viento actuales, D-Waq es una herramienta poderosa para predicción y toma de decisión, debido a la

dependencia que demuestra el área de disolución del emisario en relación a las condiciones de viento.

- El Delft 3D se constituye en una herramienta de gran valor para las labores ingenieriles debido a su uso libre, a los adecuados resultados que a través de diferentes publicaciones ha mostrado tener, y a la versatilidad que demuestra al servir de herramienta en el estudio en causas de río, estuarios y mar abierto.

- En el 2016 se logró la publicación del presente trabajo, en el XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica (LADHI - Perú); allí, la exposición del trabajo contó con una mínima explicación del proceso e imágenes poco procesadas. Sin embargo, se resaltó la actualidad del trabajo, ya que involucra herramientas de simulación en la ingeniería civil como una apuesta para mejorar la disposición final de aguas residuales en forma segura, que no afecten el medio ambiente. Se muestra prioridad científica actual en dichas publicaciones.



11. CONCLUSIONES.



11. CONCLUSIONES

En este trabajo se hizo un análisis general del por qué se utiliza un emisario submarino como medida de saneamiento estructural en ciudades costeras, como Mar del Plata. Obteniendo información de registros, parámetros (temperatura, viento, corrientes, topografía, y demás), variables propias para simulación en D-Waq, haciendo calibración del coeficiente de dispersión, proponiendo posibles escenarios críticos y condiciones típicas, se realizan simulaciones de posibles eventos de riesgo, cumpliendo los objetivos planteados y evaluando el posible impacto ambiental con descargas de E. Coli, teniendo en cuenta la legislación Argentina.

A partir de este trabajo se llega a las siguientes conclusiones:

1. Se verificó el diseño con la modelación de cinco eventos usando el software D-Waq, cuatro de ellos considerados como eventos críticos, y uno dedicado a las condiciones medias de descarga de coliformes en Mar del Plata. Los eventos críticos posibles fueron elaborados para recrear eventos reales en fechas específicas, con registro de fuertes vientos; estas simulaciones fueron de gran importancia debido a la dependencia que tiene el campo lejano de dispersión de contaminantes fecales en relación con la orientación del viento. Es de notar que cuando éstos sucedieron, aún no se había construido el emisario submarino, ni tampoco se contaba con la herramienta D-Waq para generar las simulaciones y el análisis de ellos.
2. En ninguno de los casos críticos y de condiciones medias simulados se tuvo indicio de fallas en el diseño de descarga de coliformes en el emisario de Mar del Plata, que afectaran la salud pública de la población o zonas de baño.
3. El único escenario en el cual existe riesgo para las zonas de baño solo se da si el emisario utilizara su capacidad máxima de $9 \text{ m}^3/\text{s}$, con el máximo permitido de coliformes ($1\text{E}+12 \text{ NMP}/\text{m}^3$) junto con un viento medio hacia costa de $4\text{m}/\text{s}$ y dichas condiciones se mantuviesen durante 2 días, o que se mantuviese un viento de $12\text{m}/\text{s}$ por un día con descarga máxima. Pero estos escenarios son hipotéticos, ya que el viento predominante, los niveles de descarga previstos y el sentido de la corriente no vislumbran un escenario de riesgo para zonas de baño cercanas a Mar del Plata.
4. Considerando un evento posible de cercanía de E. Coli a la costa y cumplimiento respecto a la norma de zonas de baño (300m con una concentración por debajo de $1\text{E}6 \text{ NMP}$), se realizó análisis a los casos presentados con algunas otras simulaciones que no fueron presentadas (ver tabla 27).

Tabla 27: Distancia vs Concentración 1E6 NMP

Nombre Imagen	Distancia a la planta [m]	Menor distancia a la costa [m]	Cumple con la Norma
Caso 1 - 6 horas	507,7	310,7	Sí
Caso 1 - 7 horas	650,2	320	Sí
Caso 2 - 12 horas	586,8	479,7	Sí
Caso 2 - 42 horas	550,7	327,3	Sí
Caso 2 - 9 horas	567	404,4	Sí
Caso 3 - 10 horas	386,6	382,4	Sí
Caso 3 - 16 horas	324,9	309	Sí
Caso 3 - 21 horas	307,2	304,5	Sí
Caso 3 - 23 horas	295,6	270,7	No
Caso 4 - 48 horas	664,8	664,8	Sí
Caso 4 - 6 horas	502,4	471,3	Sí
Caso 5 - 24horas	333,8	333,8	Sí

Concluyendo que, si bien uno de los casos mostrados en esta tabla sobrepasan los 300m de referencia en zonas de baño, éstos son solo simulaciones que pretenden representar la realidad con el fin de generar análisis, así que cualquier alerta entorno a posible afectación debería estar sustentada con una prueba de campo “in situ”. Por otro lado, en dicha simulación se puede denotar un posible efecto de frontera o de borde en la malla, ya que esta mancha permanece en este sitio durante el segundo día de simulación y las condiciones de viento e hidrodinámica permitirían predecir que la mancha debería volver a su posicionamiento inicial (1 -7h), y esto no ocurre.

- Al realizar todas las simulaciones y trabajar en este modelo, se puede asegurar que el decaimiento de coliformes se da principalmente por la salinidad del mar, en segunda medida de importancia por la temperatura ambiente y en tercera medida por la radiación solar.

En múltiples simulaciones se varió la tasa de decaimiento entre 0,8 y 5,0 sin mostrar un cambio significativo con respecto al área de disolución.

- Contar con un emisario submarino como medida de saneamiento estructural en una ciudad costera se hace importante en la medida en que éste permite tener control de las condiciones de las aguas negras y por tanto permitir un uso confiable del territorio costero.

Con base en el trabajo realizado y considerando las anteriores conclusiones, se hace pertinente presentar las siguientes recomendaciones:

❖ Existen muchas versiones Delft 3D, la gran mayoría fueron probadas y la que mejor funcionaba en relación con:

- ✓ Procesamiento
- ✓ Compatibilidad de software (diferentes versiones de Windows)
- ✓ Solución de ecuaciones (simulación)
- ✓ Visualización de resultados (algunas presentan problemas al visualizar los resultados)
- ✓ Generación de errores (durante la simulación otras versiones presentaban errores inexplicables)

fue la **versión delft3d_ohmw_4.01.00.rc.12** junto con el **MCR_R2013b_win32** y **vcredist_x86 (2010)**. Estos 3 elementos fueron los que mejor desempeño obtuvieron y menos errores generaron, dentro de todas las pruebas realizadas.

- ❖ Delft 3D es un software poco amigable en la visualización de resultados (wickplot) pero presenta la facilidad de exportar los datos en formato Matlab, Samples (txt) ó Dxf (AutoCAD) y así mejorar la presentación del producto final a través de otro software.
- ❖ Debe tenerse en cuenta que una vez instalado el software, al realizar simulaciones, éste no utiliza el 100% de la RAM, ni tampoco el 100% del procesador; escasamente usa el 20 % de la capacidad del computador, por lo cual es necesario ajustar la prioridad del software. A continuación, un breve resumen de cómo hacerlo:

Abrimos la Configuración del sistema, ejecutando desde la ventana Ejecutar (WIN+R) el comando **msconfig** y a continuación en la pestaña Arranque, pulsamos sobre el botón **Opciones avanzadas** que se muestra encima de las opciones de arranque y que nos abrirá otra ventana. En esta vamos a poder indicar el número de procesadores que queremos que utilice el sistema operativo para ofrecer un mayor rendimiento, así como la **cantidad máxima de memoria RAM**.

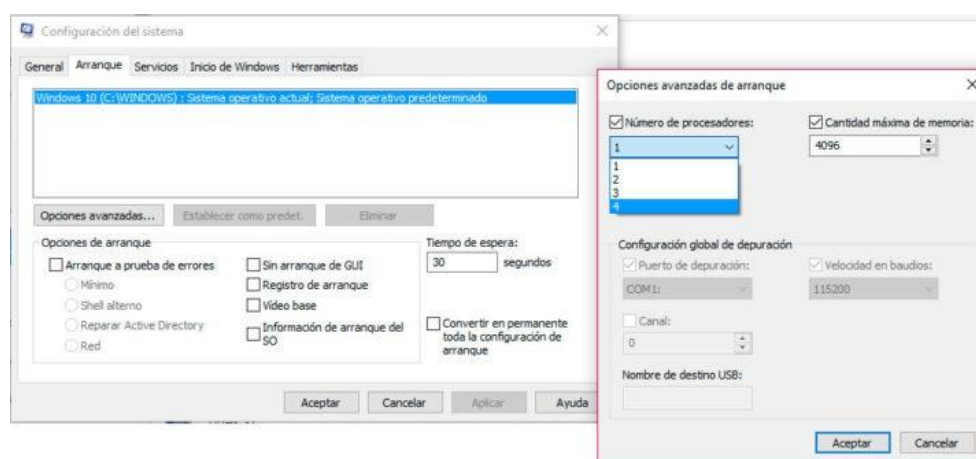


Ilustración 62: Optimización núcleos para simulación de Delft 3D

Al marcar la casilla del Número de procesadores, podremos elegir de la lista desplegable los que queremos que use Windows, estaremos indicando al sistema que

utilice **el máximo número de núcleos** que le sea posible en cada caso. Al marcar la casilla de la **cantidad máxima de memoria**, también se habilitará el campo para que podamos aumentar o disminuir la cantidad máxima que queremos que utilice nuestro sistema operativo.

- ❖ Este trabajo, abre una puerta para que se realice un estudio de DBO (demanda biológica de oxígeno) Y DO (oxígeno disuelto) ya que el software D-Waq soluciona las ecuaciones de Streeter-Phelps acopladas en el tiempo, en una descarga de coliformes a mar abierto.

Bibliografía

- Instituto de hidráulica ambiental de la universidad de cantabria (IH Cantabria). (2010). *Presentacion de las fichas descriptivas de los modelos comerciales*. Madrid: Gobierno de España.
- Banco interamericano de desarrollo. (1998). *Strategy for Coastal and marine Resources Management in Latin America and the Caribbean*. Washington DC: BID.
- Blogplastics. (30 de 12 de 2016). *Blogplastics*. Obtenido de <http://www.blogplastics.com/difusores-y-otros-elementos-de-los-emisarios-submarinos-de-pe/>
- Canosa de Barrero, A. (1995). Indicadores bacteriologicos de eutrofización en los embalses de Chuza, Neusa y Tominé, y en la laguna de Chingaza. *Colciencias*.
- Cashman, A. (2013). *La seguridad del abastecimiento de agua en el caribe*. Washington D. C.: BID.
- CEPAL. (2002). División de Recursos Naturales e Infraestructura. *CEPAL*, 63.
- CEPIS. (2000). *Informe número 43: Evaluación del impacto ambiental - Ubicación y diseño de emisarios submarinos*. Perú: Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente.
- CIHE. (20 de octubre de 2015). *Centro de investigación hábitat y energía*. Obtenido de <http://cihe.com.ar>
- Congreso nacional del medio ambiente. (2010). *Deterioro de las costas y litorales*. Madrid: Conama.
- Cormix. (12 de 12 de 2016). *Cormix home page*. Obtenido de <http://www.cormix.info/>
- Croce, M. C. (16 de 1 de 2013). Obtenido de Youtube: https://www.youtube.com/watch?v=ZrdcNd__j0M
- Croce, M. C. (17 de 01 de 2013). Obtenido de Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=-YTk37Vylvk>
- Delft 3D. (2012). *User manual*. Netherland: Deltares.
- Deltares. (2013). *D-water quality - User manual*. Netherlands: Delateres.
- Deltares. (2014). *Hydro-Morphodynamics*. The Netherlands: Deltares.
- Deltares. (2014). *user manual D-Water quality*. Netherland: Deltares.
- Diario La Gaceta. (28 de Diciembre de 2009). *Diario La Gaceta*. Obtenido de <http://www.lagaceta.com.ar/nota/358580/vacaciones/aconsejan-no-banarse-mar-plata-contaminacion.html>
- Equipos y Laboratorio de Colombia. (20 de Junio de 2018). *Equipos y Laboratorio de Colombia S.A.S*. Obtenido de https://www.equiposylaboratorio.com/sitio/contenidos_mo.php?it=1537
- ESO, G. 4. (20 de octubre de 2016). Obtenido de Geomorfología 4° Eso: <http://geomorfologiaccl.blogspot.com/>
- España, D. g.-G. (2010). *Análisis de Herramientas de evaluación de la difusión y comportamiento de agentes químicos en el marco de la normativa de Responsabilidad Medioambiental*. Madrid: Ministerio de Agricultura, alimentacion y medio Ambiente.

- ESSEBIO. (1995). *El emisario submarino como sistema de tratamiento de aguas servidas*. Concepción - Chile: ESSBIO S.A.
- FECyN – UNdMP. (1997). *Antecedentes geomorfológicos en Mar del Plata*. Mar del Plata: UNdMP.
- Federico Isla, A. C. (1999). Simulación del transporte dispersivo con decaimiento: futuro emisario submarino de Mar del Plata. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología*, vol.6 no.1-2.
- Fernández A, Molina M, Alvarez A, Alcántara M, Espigares. (2002). Transmisión fecohídrica y virus de la hepatitis A. *Revista de sanidad Ambiental*, 8-24.
- Frickmann, L. (2 de 12 de 2013). Obtenido de Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=cFBZ-tVka5M>
- Gilda, r. (2010). *Apuntes de Bramatología. del departamento de química analítica*. San Vicente del Raspeig (Alicante - España): Universidad de Alicante.
- GLAAS. (2014). *The global analysis and assessment of sanitation and drinking-water (GLAAS)*. Geneva, Switzerland: Publications of the World Health Organization.
- Google. (3 de Octubre de 2016). *Google maps*. Obtenido de <https://www.google.com/maps>
- Gyssels, P. (2011). *Estudio de la dilución en el campo cercano de vertidos cloacales para el diseño de un emisario submarino en Mar del Plata*. Mar del Plata: International Symposium on Outfall Systems.
- Halcrow. (2008). *Ingeniería básica emisario submarino de Mar el Plata*. Mar del Plata: Halcrow.
- Harwood V, L. A. (2005). Validity of the indicator organism paradigm for pathogen reduction in reclaimed water and public health protection. *Appl Environ Microbiol*, 16-70.
- Hernandez, a. (2002). *Manual de diseño de estaciones depuradores de aguas*. Madrid (España): Colegio de Ingenieros de caminos, canales y puertos.
- Jenna R. Jambeck, R. G. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *science magazine*, 347(6223), 768-771.
- Labaronnie, F. (27 de 04 de 2014). *Youtube*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=ZxCgtayMS3k>
- Liseth, P. (1976). Mixing of merging buoyant jets from a manifold in stagnant receiving water of uniform density. *Hydraulic engineering laboratory - Berkeley university*, 23.
- López, j. s. (1997). *Vertido a mar de aguas residuales urbanas*. Cantabria: univervdidad de Cantabria.
- Mancini, J. L. (1978). Numerical estimates of coliform mortality rates under various conditions. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 2477-2484.
- Mardelplatabasecero. (4 de Diciembre de 2009). *Youtube*. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=K81t70V0m_g
- MetEd. (10 de Octubre de 2016). *MetEd*. Obtenido de <https://www.meted.ucar.edu/>
- Metroagua, U. d. (2010). *Estudio oceanográfico y de la calidad del agua en el área del emisario submarino en la bahía de Santa Marta*. santa marta: Universidad de magdalena -Metroagua.

- Miliarium Aureum, S. (5 de Mayo de 2015). *Instrucción para el proyecto de conducciones de vertidos desde tierra al mar*. Obtenido de <http://www.miliarium.com/Paginas/Normas/Instrucciones/O13071993a.asp>
- Moore J, H. N. (2002). Incidence of *Pseudomonas aeruginosa* in recreational and hydrotherapy pools. *Commun Dis Public Health*, 23-26.
- Mueller, J., & Thoman, R. (1987). *Principles of surface wáter quality modeling and control*. New York: Pearson.
- Mueller, T. &. (1987). Principles of surface water quality modelling and control. En T. &. Mueller, *Principles of surface water quality modelling and control* (pág. 231). New york: Harper International Edition.
- Obras sanitarias de Mar del Plata. (1998). *Construcción, Operación y mantenimiento de la segunda etapa de la estación depuradora de aguas residuales de la ciudad de Mar del Plata*. Mar del Plata: Universidad Nacional de Mar del Plata, facultad de ciencias exactas y naturales.
- Obras sanitarias Mar del Plata sociedad de estado OSSE. (1998). *construccion, operacion y mantenimiento de la segunda eata de la estacion depuradora de aguas residuales de la ciudad de Mar del Plata - Separata N°2*. Mar del Plata: Universidad de Mar del Plata.
- Obras sanitarias S.E.-MGP. (15 de 07 de 2013). Obtenido de Youtube: https://www.youtube.com/watch?v=l8Db_Asvf4c
- Organización de las naciones unidas. (1992). *informe #21*. Rio de jaineiro: ONU.
- Periódico virtual Zona 54. (21 de 11 de 2016). *Periódico virtual Zona 54*. Obtenido de <http://www.zona54.com/local/1965-mar-del-plata-la-cloaca-que-ocultaron>
- Philips. (1957). A co-ordinate system having some special advantages for numerical. *Journal of Meteorogy*, 177-187.
- Pnuma, P. d. (2000). *Perspectivas del medio ambiente*. San jose, costa rica: ONU.
- PROMYLEM. (2004). *Informe técnico nº 14 - Tubos de polietileno de gran diámetro*. Madrid: grupo PROMYPLAST.
- Pulido, M. d. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *NOVA - PUBLICACIÓN CIENTÍFICA*, 69-79.
- Rojas, J. A. (2010). *Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización*. mexico: alfa omega.
- Salas, h. (1986). proceedings of an IAWPRC specialised seminar held in Rio de Janeiro. *Marine disposal of wastewater*.
- Sánchez, j. (12 de marzo de 2015). *Hidrología e Hidrogeología*. Obtenido de <http://hidrologia.usal.es/>
- Sorriquieta, A. (2010). *apuntes: aguas residuales: uso, reuso y tratamiento. Laguna de estabilización* . Rosario (provincia de santafe) - argentina : Universidad Nacional de Rosario- Dpartamento de bioquimica clinica - asigatura: salud publica .
- Suematsu, i. g. (2010). *Tratamiento de aguas residuales*. Lima: CEPIS.

- Uittenbogaard, R. E., & van Kester, J. A. (1992). *Implementation of three turbulence models in 3D-TRISULA for rectangular grids, Report Z81*. The Netherlands, 1992: Delft Hydraulics.
- UNC. (2004). *Sistema de rompeolas aislados*. Córdoba: UNC.
- UNdMDP. (1999). *Medición de corrientes superficiales en un sector del litoral costero durante el periodo estival '97 '98*. Mar del Plata: UNdMDP.
- Unesco. (1997). *Mangrove ecosystem studies in latin american and africa*. Francia: United nations educational, scientific and cultural organization.
- Universidad del Magdalena. (2010). *Estudio oceanográfico y de la calidad del agua en el área del emisario submarino en la bahía de Santa marta*. Santa marta: Metroagua.
- UNMdP. (1998). *Construcción, operación y mantenimiento de la segunda etapa de la estación depuradora de aguas residuales de la ciudad de Mar del Plata. Licitación pública N°14/98*. Mar del Plata: UndMdP.
- Valdés, F. C. (1948). *Por los llanos de Apure*. Caracas: Ministerio de Educación de Venezuela.
- Zorrilla, E. J. (2014). *Modelamiento de la dispersión de contaminantes pasivos en la bahía Ferrol – Chimbote*. Lima (Perú): Univesidad mayor de San Marcos.

ANEXOS

Anexo 1.

INFORMACIÓN RECOLECTADA RELEVANTE

PRESIDENCIA DE LA NACION
SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS
ENTE NACIONAL DE OBRAS HÍDRICAS DE SANEAMIENTO

El Contratista deberá presentar la vinculación del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) de su proyecto y el Plan de Gestión Ambiental (PGA), realizados de acuerdo a las exigencias de la Ley Provincial vigente.

La revisión y aprobación que efectúe la Inspección, no eximirá al Contratista de su responsabilidad íntegra por la exactitud de los datos y los errores de cálculo que pudiera haber cometido, subsistiendo la responsabilidad plena del Contratista por los trabajos a su cargo.

Es exclusiva responsabilidad del Oferente/Contratista la evaluación e interpretación de todos los datos suministrados con el presente PByC y la que recabe por su cuenta, la realización de las gestiones estudios y relevamientos que crea necesarias para la adecuada y completa elaboración del Proyecto Ejecutivo y completa y satisfactoria realización de las obras.

Los costos que demande el cumplimiento de este apartado, se encuentran incluidos dentro de los Gastos Generales del Contratista y por lo tanto no darán lugar al reconocimiento de monto adicional alguno.

IV.1.19.2 Parámetros básicos de diseño de las Obras

IV.1.19.2.1 DE LA CALIDAD DE LOS AFLUENTES A TRATAR

Las características del efluente cloacal a tratar, son las que se enuncian en el Anexo relativo a "Características del efluente"; dichas características son las que a criterio de el Comitente y en base a los análisis que obran como antecedentes se consideran representativas.

El efluente a evacuar por el sistema emisario - difusor será cribado por los tamices estáticos existentes de 0,5 mm de abertura de malla y/o por cribas rotativas autolimpiantes de 1 mm de abertura de malla.

No obstante las características consignadas en el Anexo respectivo, los oferentes deberán prever que debido a la presencia en forma aleatoria de picos de grasa en el efluente, los valores de sustancias solubles en éter etílico (S.S.E.E.) y aceites y grasas puedan ser mayores a los indicados en dicha tabla, con el efecto atenuador que el cribado por los tamices de la planta tendrá sobre el efluente.

IV.1.19.2.2 CAUDALES A DISPONER Y EXCEDENTES

El sistema emisario - difusor, deberá diseñarse para los siguientes caudales de efluente cloacal pretratado:

Caudal mínimo absoluto: 1,60 m³/seg.

Caudal medio diario actual (invierno): 2,80 m³/seg.

Caudal medio diario actual (verano): 3,50 m³/seg.

Caudal máximo diario actual (verano): 4,73 m³/seg.

Caudal promedio diario futuro (invierno): 5,08 m³/seg.

Caudal promedio diario futuro (verano): 6,05 m³/seg.

Caudal máximo para el cálculo y diseño de los equipos de bombeo: 8 m³/seg.

Caudal máximo instantáneo: 9 m³/seg.

Se adjuntan en el Anexo respectivo una estimación de proyección de caudales futuros y una curva típica diaria de caudales, tanto de invierno como de verano.

Por otra parte, el sistema cloacal de la ciudad de Mar del Plata se ve frecuentemente afectado por los efectos de la lluvia, produciéndose incrementos del caudal circulante por él. El proyecto deberá prever que cuando el caudal de entrada exceda la capacidad de bombeo y pretratamiento instalada en la Planta (9 m³/s), los "excedentes" serán derivados al sistema de aliviadero.

IV.1.19.2.3 SITUACIÓN ACTUAL

Se adjunta en un Anexo a la presente Especificación una Memoria Descriptiva de las instalaciones actuales de elevación y tratamiento.

En cuanto al suministro eléctrico, está dado por la prestadora del servicio EDEA S.A., el cual consta de un suministro en anillo de media tensión (MT 13,2 KV) por medio de línea aérea y entrada a usuario a través de la cámara de medición y maniobra con cable subterráneo hasta la celda de entrada de energía de la planta también en MT. La capacidad de suministro con que cuenta la planta y admitido por la prestadora EDEA S.A. en la actualidad es de 650 KW. En artículo aparte se detallan estas instalaciones actuales.

Se encuentra construida la mayor parte de la obra civil de la Estación Elevadora Secundaria, que es la que impulsará los líquidos a través del sistema emisario – difusor, quedando por ejecutarse los hormigones de segunda etapa para instalación de clapetas o pasamuros, terminación superficial interna, sellado de filtraciones, aplicación del revestimiento de protección, colocación de tapas de acceso, terminación losa superior y demás tareas que se detallan en las presentes especificaciones y planos adjuntos.

En cuanto a las obras de ejecución del emisario, está excavada una zanja en el sustrato firme marino, la cual actualmente se encuentra colmatada por sedimentos principalmente arenosos. Se adjuntan en el Anexo VI los perfiles batimétricos de la excavación original, con identificación de la progresiva a la que corresponden.

Entre las progresivas de inicio del emisario (PK 16,05m) y la progresiva PK 87,33m, se encuentra colocada la tubería de PRFV, instalada sobre cama de grava y recubierta lateral y superiormente con hormigón.

Entre las progresivas aproximadas PK 640,00 m y 695,50 m hay colocados en la zanja cuatro tubos de PRFV D^o2000 mm con un relleno lateral compuesto principalmente por grava y superiormente tapado por arena decantada. En su interior, esta tubería instalada se encuentra prácticamente colmatada por arena.

En el tramo terrestre de la cañería instalada, se encuentra parcialmente ejecutada una cámara de hormigón armado, con el objeto de instalar un sistema externo de medición de caudales del

- El emisario deberá evacuar un caudal máximo de 11,00 m³/seg, siendo el caudal punta de diseño de 9,00 m³/seg.
- El emisario tendrá una longitud mínima de 3.300 m, desde la Línea de Referencia definida en el Pliego de Bases y Condiciones del Concurso y el punto de inicio del tramo difusor.
- El difusor será del tipo multipuertos y tendrá como mínimo una longitud de 500 m.
- El difusor deberá diseñarse para obtener una dilución inicial mínima de 1:100, calculada por los modelos UM de la E.P.A. (Environmental Protection Agency), en las siguientes condiciones:
 - a).- Caudal promedio máximo en el tubo principal de 6,04 m³/seg.
 - b).- La totalidad de los puertos abiertos.
 - c).- Condiciones de las aguas receptoras:

<u>Profundidad.</u>	<u>Salinidad</u>	<u>Temperatura</u>	<u>Corriente.</u>
(mts)	(0/00)	(° C)	(m/s)
0.00	31.1	24.0	0.1
6.50	32.2	23.3	0.1
13.00	32.2	22.4	0.1
15.00	32.2	22.4	0.1

- El diámetro mínimo de los orificios de los puertos de descarga será de 0,10 m y su separación mínima de 3 m.
- La velocidad mínima en el conducto principal del emisario para un caudal de 2,84 m³/seg será de 0,80 m/seg.
- La velocidad máxima en el conducto principal para un caudal máximo instantáneo de 9 m³/seg será de 3,50 m/seg.
- El Número de Froude mínimo en cada puerto para cualquier caudal será superior a 1. (*super crítico*)

ROGGIO S.A. - DYCASA S.A. UTE
Ing. *Seballi*
REPRESENTANTE TECNICO

Ing. *...*
ROGGIO S.A. - DYCASA S.A. UTE

ROGGIO S.A. - DYCASA S.A. UTE
Ing. *Gustavo Rizzi*
REPRESENTANTE LEGAL

EMISARIO SUBMARINO.
Proyecto Ejecutivo. Agosto 2000. Rev. 1

MEMORIA
Página 3

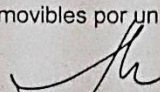
- A los parámetros oceanográficos que se utilicen para el dimensionamiento estructural de las obras marítimas no reemplazables, les corresponderá un periodo de retorno de 100 años.
- Los capuchones del difusor y cualquier otra parte reemplazable y expuesta sobre el fondo marino, serán diseñadas para permitir su sustitución sin poner el emisario fuera de servicio.
- Los puertos deberán ser diseñados de forma tal que eviten ser recubiertos por la arena suelta del fondo del mar, que puede alcanzar niveles de hasta 1,50 m. por encima del fondo actual.
- El emisario submarino se dimensionará de forma que en todo momento se evite el fenómeno de intrusión salina.
- Se considerará que el efluente a evacuar a través del emisario submarino, presenta los siguientes parámetros microbiológicos:

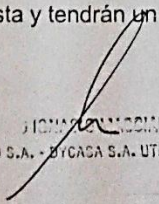
<u>Coliformes totales.</u>	<u>1×10^8</u>
<u>Coliformes fecales.</u>	<u>$10^5 - 10^6$</u>
<u>Estreptococos fecales.</u>	<u>10^5</u>

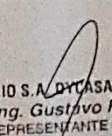
- La pérdida lineal de carga en el emisario se calculará mediante la fórmula de Manning, con los siguientes valores de "n":

Tubería nueva	"n" = 0.010.
Tubería usada.	"n" = 0,012

- Se diseñará el emisario de forma que permita el acceso al mismo, bien cuando esté lleno o vacío. Los puntos de acceso estarán situados a lo largo del emisario, contarán con tapas removibles por un submarinista y tendrán un diámetro interior mínimo de 1 m.


ROGGIO S.A. - BYCASA S.A. UTE
Ing. Roberto Schaffli
REPRESENTANTE TECNICO


Ing. Roggio S.A. - BYCASA S.A. UTE
ROGGIO S.A. - BYCASA S.A. UTE


ROGGIO S.A. - BYCASA S.A. UTE
Ing. Gustavo Rizzi
REPRESENTANTE LEGAL

El difusor, cuya misión es la de introducir de forma adecuada el efluente en el medio receptor, deberá satisfacer una serie de condiciones en su diseño. Entre ellas se han considerado: la posibilidad de que se produzca la intrusión salina, la protección frente a impactos, la limitación en la transmisión de esfuerzos al tubo elevador.

El difusor está compuesto por los siguientes tramos:

- Un primer tramo de 160 m. de longitud, en poliéster reforzado con fibra de vidrio, de 1.900 mm. de diámetro nominal con 40 bocas difusoras de 150 mm. de diámetro, espaciadas entre sí 4,00 m. con salida horizontal y alternada del flujo.
- Un segundo tramo de 160 m. de longitud, en poliéster reforzado con fibra de vidrio, de 1.600 mm. de diámetro nominal con 40 bocas difusoras de 150 mm. de diámetro, espaciadas entre sí 4,00 m, con salida horizontal y alternada del flujo.
- Un tercer tramo de 200 m. de longitud, en poliéster reforzado con fibra de vidrio, de 1.200 mm. de diámetro nominal con 49 bocas difusoras de 150 mm. de diámetro y na boca final de 300 mm. de diámetro, espaciadas entre sí 4,00 m, con salida horizontal y alternada del flujo.

El difusor se instalará en zanja, enterrado en arena y protegido por tres capas, la primera de grava 30/50 mm., luego un filtro de escollera de 100/200 kg. de peso medio y un manto de coronación, bicapa, de escollera de 1000 kg de peso medio.

Para solventar el problema de la intrusión de agua marina, independientemente del caudal que circule por el emisario, se instalará en cada boquilla de salida válvulas antirretorno del tipo "pico de pato".

Los tubos elevadores serán construidos con los mismos materiales que la tubería del emisario, con una longitud tal que la cota de vertido del efluente se sitúe a 1,50 m. sobre el nivel del fondo marino.

Los difusores se instalarán en alojamientos practicados a la tubería principal, provistos de juntas estancas.

ROGGIO S.A. DYCASA S.A. UTE
Ing. César Schaffi
REPRESENTANTE TECNICO

ROGGIO S.A. DYCASA S.A. UTE
Ing. Gustavo Rizzi
REPRESENTANTE LEGAL

EMISARIO SUBMARINO.
Proyecto Ejecutivo. Agosto 2000. Rev. 1

MEMORIA
Página 9

Los resultados del proceso, que figuran en el Anejo nº 2., incluyen tablas de regímenes extremales omnidireccionales (360°) así como de los sectores 5 al 18, que corresponden a temporales provinientes entre los rumbos NE y Sur, susceptibles de afectar al área del emisario

Además se ha obtenido un régimen extremal para cada uno de los sectores de 10° (del 5 al 18) comprendidos entre los rumbos anteriores.

Como resultado del proceso, para las direcciones de oleaje que puedan afectar al emisario (sector 5 al 18) y considerando un periodo de retorno de 100 años, se obtienen los siguientes parámetros de oleaje.

- Altura visual de oleaje en alta mar (Hv_0) = 9,623 m.
- Altura significativa en alta mar ($Hs_0 = Hv_0 \times 0,8$) = 7,689 m.

Posteriormente se ha analizado, sector a sector, el régimen extremal, para poder establecer las características del oleaje a profundidades reducidas, mediante la aplicación de los correspondientes coeficientes de Refracción y Shoaling.

De los datos que figuran en el Anejo nº 2, se deduce que el temporal que puede causar mayor daño a la protección del emisario, es el correspondiente al Sector 10 que coincide sensiblemente con la traza del emisario y teniendo en cuenta que la batimetría es sensiblemente paralela a la línea de costa, el coeficiente de Refracción sería 1, por lo que la altura significativa susceptible de provocar daños e inestabilidad en la escollera de protección sería ($Hs_0 = Hv_0 \times 0,8$) = $7,40 \times 0,8 =$ Apx. 6,00 m.

Existen otros sectores, fundamentalmente los correspondientes a las direcciones Sur-Este y Sur, que teniendo alturas de oleaje superiores (7,50 m. – 8,50 m.), debido a los coeficientes de Refracción y Shoaling, permiten establecer alturas de ataque al emisario inferiores a la considerada.

8. DIMENSIONAMIENTO HIDRÁULICO

ROGGIO S.A. DYCASA S.A. UTE
Ing. *[Firma]*
INGENIERO TÉCNICO

ROGGIO S.A. DYCASA S.A. UTE
Ing. *[Firma]*
REPRESENTANTE LEGAL

ING. PA. DIMENSIONAMIENTO
ROGGIO S.A. DYCASA S.A. UTE

En el Anejo nº 3. se detallan los cálculos hidráulicos para las distintas condiciones de

4 ANTECEDENTES PREVIOS Y LÍNEA BASE

Los resultados relacionados con los estudios de campo, los que en definitiva darán los datos iniciales para realizar las modelaciones pertinentes de la solución que se está planteando, han sido extraídos del siguiente documento.

"Construcción del Emisario Submarino de la Ciudad de Mar del Plata. Pcia de Buenos Aires"; Título IV: Anexo IV.8 Separatas, Separata 1.

En dicho documento se presentan los estudios asociados a Velocidad de Corrientes, Mareas, antecedentes Bentónicos, además de simulaciones de la dispersión.

4.1 Bases de Cálculo

De acuerdo a lo indicado en el Pliego de Bases y Condiciones Particulares, a continuación en la Tabla N° 4.1., se indican los caudales a considerar en el diseño.

Tabla N° 4.1. Caudales de Diseño Emisario Submarino Mar del Plata.

Descripción	Unidad	Valor
Caudal Mínimo Absoluto	m ³ /s	1,60
Caudal Medio Actual (invierno)	m ³ /s	2,80
Caudal Medio Actual (verano)	m ³ /s	3,50
Caudal Medio Futuro (invierno)	m ³ /s	5,08
Caudal Medio Futuro (verano)	m ³ /s	6,05
Caudal Máximo Futuro	m ³ /s	9,00

Fuente: Pliego de Bases y Condiciones Particulares, Obra: Construcción del Emisario Submarino de la ciudad de Mar del Plata - Provincia de Buenos Aires.

4.2 Análisis de los Estudios Disponibles

Se efectuó un análisis de los antecedentes disponibles en la documentación que se adjunta al Pliego, a continuación se indicarán los resultados relevantes a considerar para el dimensionamiento y verificación del Emisario Submarino.

4.2.1 Estudios de Reconocimiento

A continuación se realiza un análisis de la información recabada en los estudios consultados.

JUAN CARLOS DE GOYCOLEA
REPRESENTANTE LEGAL
EMPRESA CONSTRUCTORA DELFI & M.

MARIO JOSE MAXIV
REPRESENTANTE LEGAL
EMPRESA CONSTRUCTORA DELFI & M.

Ing. MARCELO A. G. MILLO
Representante Legal

Ing. JOSE CASTELLANOS
REPRESENTANTE LEGAL
CONTRERAS HERMANOS

EMPRESA CONSTRUCTORA DELFI & M.
Proyecto: Emisario Submarino Mar del Plata - Pav D - Mar 2008

Batimetría General del Área. Como parte de los antecedentes disponibles, se cuenta con la batimetría del sector en donde se plantea instalar el emisario submarino, la que se presenta en la Tabla N° 4.2.

Tabla N° 4.2. Batimetría Sector Emisario Submarino

Progresiva m	Cota m.s.n.m	Pendiente ‰/m	Observación
0	-12,00		
100	-2,61	-146,50	Zona de Playa, pendiente fuerte
200	-3,33	-7,20	
300	-4,25	-9,20	
400	-5,68	-14,30	
500	-6,86	-11,80	
600	-7,36	-7,00	
700	-8,11	-5,50	
800	-8,62	-5,10	
900	-8,93	-3,50	
1.000	-8,96	-0,30	Pendiente moderada, zona de transición
1.100	-8,91	0,50	
1.200	-9,21	-3,00	
1.300	-9,50	-3,00	
1.400	-9,66	-1,60	
1.500	-9,83	-1,70	
1.600	-10,10	-2,70	
1.700	-10,43	-3,30	
1.800	-10,74	-3,00	
1.900	-11,03	-2,90	
2.000	-11,33	-3,00	
2.100	-11,50	-1,70	
2.200	-11,68	-1,60	
2.300	-11,87	-1,90	
2.400	-12,04	-1,70	
2.500	-12,23	-1,90	
2.600	-12,41	-1,80	
2.700	-12,56	-1,50	
2.800	-12,72	-1,60	
2.900	-12,86	-1,40	Baja pendiente, sector plano
3.000	-12,96	-1,00	
3.100	-13,05	-0,90	
3.200	-13,20	-1,50	
3.300	-13,36	-1,60	
3.400	-13,50	-1,40	
3.500	-13,52	-0,20	
3.600	-13,56	-0,40	
3.700	-13,67	-0,80	
3.800	-13,77	-0,90	

En este documento que se presenta en la Figura N° 5.3, se incluye el trazado definitivo del emisario, cuyo rumbo es de 33°. Este documento se presenta en los anexos del presente estudio.

DR. CARLOS DE GUAYACHECA
REPRESENTANTE LEGAL
INSULUX INGENIERIA S.A.

MARIO JOSÉ RIVERA
REPRESENTANTE LEGAL
EMPRESA CONSTRUCTORA GELFI S.A.

ING. MIGUEL A. OLMEDO
Representante Técnico

ING. JOSÉ CASTELLANOS
REPRESENTANTE LEGAL
CONTRERAS HERMANOS

DISEÑO DE LAS OBRAS

Se presenta a continuación el dimensionamiento de las obras comprendidas en el emisario submarino, considerando las condiciones de borde establecidas en el Pliego de la Licitación.

Emisario Submarino

Introducción.

De acuerdo a lo indicado en el Pliego de Licitación, el punto de Arranque y Término del emisario submarino, se presenta en la Tabla N° 5.1.

Tabla N° 5.1. Coordenadas de Ubicación del Emisario

Zona del Emisario	Coordenadas UTM	
	Norte	Este
Punto de Arranque	5.802.926,829	6.453.674,479
Punto de Descarga	5.802.180,103	6.457.414,476

Antecedentes

(a) Decaimiento bacteriano (T_{90}).

De acuerdo a los estudios y modelaciones realizadas, las experiencias de T_{90} , reconocieron una muy significativa dispersión de las bacterias, en las dos experiencias realizadas, los coliformes totales y la rodamina B, disminuyeron rápidamente, arrojando valores mínimos para T_{90} de 1 a 1,2 Hrs. Para efectos de dimensionamiento de las obras, usaremos un valor de 1 hora, que es mismo valor utilizado en la modelación presentada en los Pliegos.

(b) Dilución Inicial

Al realizarse la descarga en forma submarina, la pluma de aguas servidas ascenderá ya que su densidad es menor que la densidad normal del medio marino. Al ascender, la pluma se diluye en la columna de agua y se expande horizontalmente; la dilución que se produce a una cierta distancia alrededor del punto de vertido, en donde la pluma se estabiliza y alcanza su máxima elevación, se denomina dilución inicial.

GUYCOECHA
REPRESENTANTE LEGAL
BETA S.A.

MARIO JOSE MAXIY
REPRESENTANTE LEGAL
EMPRESA CONSTRUCTORA BELFI S.A.

Ing. MIGUEL A. OLVEDO
Representante Técnico

Ing. JOSE CASTELLANO
REPRESENTANTE LEGAL
CONTRERAS HERMANOS

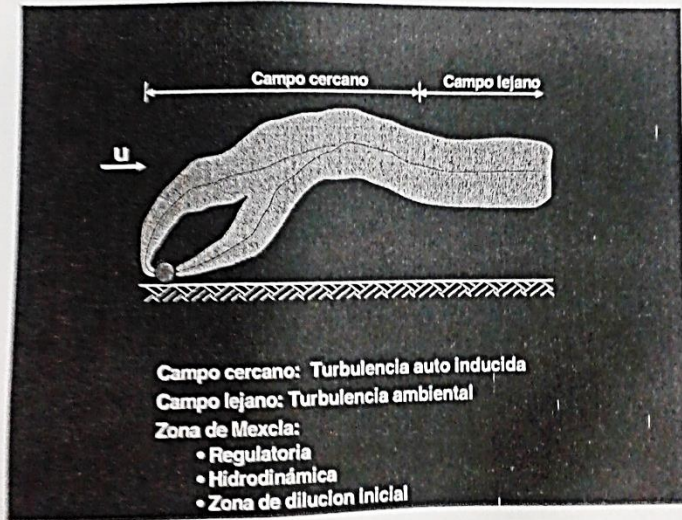
corriente que causa una mezcla lateral de agua de mar renovadora en el campo de las aguas servidas.

El campo de aguas servidas diluidas puede ascender a la superficie, o llegar a un nivel sumergido, dependiendo del grado de estratificación de la columna de agua.

En las últimas décadas se han elaborado diversos métodos para calcular la dilución inicial del efluente vertido a través del emisario, cuyo valor exigido debe ser a lo menos 1:100.

Estos modelos brindan predicciones de base empírica de la dilución que tiene lugar entre el emisario y la superficie, basado en los valores suministrados de efluentes y del cuerpo receptor, caudal de descarga y velocidad de la corriente.

Figura N° 5.1. Comportamiento de la Pluma en una Descarga Submarina



(b) Dilución Inicial

En las últimas décadas se han elaborado diversos métodos para calcular la dilución inicial del efluente vertido a través del emisario, cuyo valor exigido debe ser a lo menos 1:100.

ING. GONZALEZ
REPRESENTANTE LEGAL
CONSTRUCIONES S.A.

MARIO JOSÉ MAXI
REPRESENTANTE LEGAL
EMPRESA CONSTRUCTORA DELFI S.A.

Ing. MIGUEL A. OLMEDO
Representante Técnico

Ing. JOSÉ CASTELLANOS
REPRESENTANTE LEGAL
CONTRERAS HERMANOS

Para efectos de la modelación matemática de la descarga de aguas servidas se asumirán los siguientes valores de temperaturas del efluente:

Temperatura efluente: 13,5 °C

Temperatura del cuerpo receptor

De acuerdo a los valores indicados en el punto 4.2.1, se adoptan los siguientes valores para el cuerpo receptor.

Temperatura mínima: 9,0 ° C.

Temperatura máxima: 15,5 ° C.

Remoción bacteriana

Los organismos patógenos tienen un cierto período de supervivencia que depende de múltiples factores ambientales. En general, se reconoce que el grupo coliforme fecal es termotolerante, y por ende sobreviven en aguas servidas por largos períodos de tiempo (sobre las 48 Hrs).

Para el cálculo de emisarios, se acostumbra suponer que la tasa de decaimiento de las diferentes bacterias y organismos patógenos es semejante al grupo coliforme fecal.

La normativa ambiental, normalmente establece criterios de calidad para los coliformes fecales, en consecuencia, el análisis y diseño del emisario se sensibilizará para este grupo de organismos patógenos.

Decaimiento del grupo coliforme fecal

El decaimiento bacteriano está influenciado por la luz ultravioleta (la que es atenuada rápidamente en la columna de agua), por la salinidad, la temperatura y la presencia de sustancias antibióticas en el cuerpo receptor. Este parámetro estima la rapidez con que el ambiente es capaz de neutralizar la contaminación bacteriana.

Por lo general, el decaimiento bacteriano se aproxima a una cinética de poblaciones de primer orden, donde la razón de inactivación microbiológica es proporcional a la concentración de la bacteria indicadora. La constante de decaimiento se obtiene por regresión lineal de cuentas de bacteria en el tiempo y normalmente se expresa

JUAN CARLOS DE GUYOQUEA
REPRESENTANTE LEGAL
INDUSTRIAS HERMANOS S.A.

MARIO JOSE VILLAN
REPRESENTANTE LEGAL
EMPRESA CONSTRUCTORA BELFI S.A.

Ing. MIGUEL A. OLMEDO
Representante Técnico

ING. JOSE CASTELLANOS
REPRESENTANTE LEGAL
INDUSTRIAS HERMANOS

en términos del tiempo requerido para que la bacteria decrezca hasta 1/10 de su número original. A este valor se le llama T_{90} , y se expresa en horas.

Las mediciones de T_{90} se realizan por lo general, sumergiendo botellas de vidrio inoculadas con aguas servidas, la que se dejan incubando por distintos períodos de tiempo, que van desde 1 hasta 100 horas, o más. También se acepta el uso de contenedores de gran volumen expuestos al aire.

De acuerdo a las experiencias realizadas en el sector de la descarga, adoptaremos un valor de 1 hr para el parámetro T_{90} .

Estructura densimétrica de la columna de agua

De acuerdo con los antecedentes examinados correspondientes a las campañas realizadas, se concluye que el cuerpo de agua receptor presenta una estructura homogénea (no estratificada), sin variaciones estacionales que puedan afectar el diseño del emisario.

En lo relativo a la modelación de la calidad del agua en el cuerpo receptor, se consideran los valores que más adelante se indican, las mediciones de campo fueron realizadas en el mismo punto de descarga del emisario, siendo en consecuencia muestras más representativas.

Tabla N° 5.2. Estructura de la Columna de Agua Época Calurosa

Profundidad (m)	Salinidad (gr/cm ³)	Temperatura (°C)
0	33,1	15,5
2	33,1	15,5
4	33,3	15,4
6	33,4	15,3
8	33,6	15,2
10	33,6	15,1

Tabla N° 5.3. Estructura de la Columna de Agua Época Fría

Profundidad (m)	Salinidad (gr/cm ³)	Temperatura (°C)
0	32,0	9,1
2	32,9	9,1
4	33,0	9,0
6	33,1	9,0
8	33,1	9,0

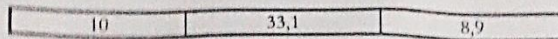
OS DE GONZALEZ
REPRESENTANTE LEGAL
INGENIERIA S.A.

MARIO JOSE MAXIT
REPRESENTANTE LEGAL
EMPRESA CONSTRUCTORA DELFI & C

Ing. MIGUEL A. OLMEDO
Representante

Ing. JOSE CASTELLANOS
REPRESENTANTE LEGAL
CONTRERAS HERMANOS

Ingeniería Básica Emisario Submarino Mar del Plata - Rev D - Mar 2008



(d) Simulación con Modelo 3 Plumes.

Con los antecedentes antes expuestos, podemos simular un emisario de las siguientes características:

- Dos emisarios paralelos de las siguientes características:
 - a) Emisario 1: $D = 1.400$ mm HDPE PN 4 ($D = 1.298,8$ mm interior), $L = 3.586$ m
 - b) Emisario 2: $D = 1.400$ mm HDPE PN 4 ($D = 1.298,8$ mm interior), $L = 3.326$ m
- Profundidad de descarga: 11 m.
- Difusor en cada emisario, con las siguientes características:
 - a) Emisario 1: 65 portas $D = 0.18$ m cada una ($L = 260$ m).
 - b) Emisario 2: 65 portas $D = 0.18$ m cada una ($L = 260$ m).
- Espaciamiento portas: 4 mts.
- $Q = 6,05$ m³/s, $T_{90} = 1$ hrs.

A continuación se indican los datos de Entrada del Modelo 3 Plumes:

a) Datos de entrada.

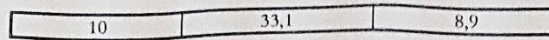
- Tot flow: caudal de diseño expresado en m³/s: 6,05.
- # ports: número de portas: 65 - 65.
- spacing: espaciamiento de las portas, en este caso 4 m.
- port dep: profundidad de las portas (es decir del extremo del emisario): 11 m.
- port dia: diámetro interior de cada porta: 0,1668 m.
- port elev: altura de salida de cada porta con respecto al fondo: corresponde al diámetro del emisario mas una cierta altura de la porta.: En este caso: 1,8 m.
- cont coef: coeficiente asociado a la forma del orificio de la tubería que conforma la porta: es 0,62 si es redondeado o 1 si es recto.

JUAN CARLOS DE BOYCOECHA
REPRESENTANTE LEGAL
PROLUX INGENIERIA S.A.

MARIO JOSE MAXIT
REPRESENTANTE LEGAL
EMPRESA CONSTRUCTORA BELFI & A.

Ing. MIGUEL A. OLMEDO
Representante Técnico

Ing. JOSÉ CASTELLANOS
REPRESENTANTE LEGAL
CONTRERAS HERMANOS



(d) Simulación con Modelo 3 Plumes.

Con los antecedentes antes expuestos, podemos simular un emisario de las siguientes características:

- Dos emisarios paralelos de las siguientes características:
 - a) Emisario 1: $D = 1.400$ mm HDPE PN 4 ($D = 1.298,8$ mm interior),
 $L = 3.586$ m
 - b) Emisario 2: $D = 1.400$ mm HDPE PN 4 ($D = 1.298,8$ mm interior),
 $L = 3.326$ m
- Profundidad de descarga: 11 m.
- Difusor en cada emisario, con las siguientes características:
 - a) Emisario 1: 65 portas $D = 0.18$ m cada una ($L=260$ m).
 - b) Emisario 2: 65 portas $D = 0.18$ m cada una. ($L=260$ m).
- Espaciamiento portas: 4 mts.
- $Q = 6,05$ m³/s, $T_{90} = 1$ hrs.

A continuación se indican los datos de Entrada del Modelo 3 Plumes:

a) Datos de entrada.

- Tot flow: caudal de diseño expresado en m³/s: 6,05.
- # ports: número de portas: 65 - 65.
- spacing: espaciamiento de las portas, en este caso 4 m.
- port dep: profundidad de las portas (es decir del extremo del emisario): 11 m.
- port dia: diámetro interior de cada porta: 0,1668 m.
- port elev: altura de salida de cada porta con respecto al fondo: corresponde al diámetro del emisario mas una cierta altura de la porta.: En este caso: 1,8 m.
- cont coef: coeficiente asociado a la forma del orificio de la tubería que conforma la porta: es 0,62 si es redondeado o 1 si es recto.

DR CARLOS DE GOYCOECHEA
REPRESENTANTE LEGAL
SOLIX INGENIERIA S.A.

MARIO JOSE MAXIT
REPRESENTANTE LEGAL
EMPRESA CONSTRUCTORA DELFI & A

Ing. MIGUEL A. OLMEDO
Representante Técnico

Ing. JOSE CASTELLANOS
REPRESENTANTE LEGAL
CONTRERAS HERMANOS

Ingeniería Básica Emisario Submarino Mar del Plata - Rev D - Mar 2008

- ver angle: ángulo que tiene la porta respecto a la vertical: 0°.
- Hor angle: ángulo de la corriente respecto al eje del emisario. En este caso se aplica 90°.
- Far dif: coeficiente de dispersión de campo lejano: unidades en $m^2/m^3/s$.
- Far vel: velocidad de la corriente de campo lejano, expresado en cm/s , este es el parámetro más importante y corresponde al valor asumido de la velocidad de la corriente. En este caso 0,15 m/s respectivamente.
- Depth, current, density, salinity y temp, corresponde a las propiedades de la columna de agua (cuerpo receptor) en la zona de descarga del emisario. Estos valores se determinan a través de las campañas marítimas.
- Far inc: significa los incrementos en este caso de 500 mts, para analizar los resultados.

b) Características de las Aguas Servidas:

- Effl sal: salinidad del efluente: 0,12 ‰
- Effl temp: Temperatura del efluente: 13,5 °C
- Poll conc: concentración de coliformes del agua servida: 10×10^7
- Decay: decaimiento bacteriano: T 90: 55,26 day⁻¹, equivale a un T₉₀ de 1 hr.

c) Los datos siguientes son autocalculados a partir de datos anteriores.

- Port flow: es el caudal de cada porta: total flow / número de portas
- Pluma día: es el diámetro de la pluma a la salida de cada porta: notar que es menor que el diámetro de la porta, ya que hay una contracción.
- Total vel: velocidad total del flujo a través de cada porta. Este valor aumenta si el número de portas disminuye.
- Horiz vel: componente horizontal de la velocidad
- Vertl vel: componente vertical de la velocidad.
- Effl den: densidad de las aguas servidas: unidades sigma-t, equivale a 0,999470 g/cm^3 .
- Red space: espacio entre portas, aplicando la componente neta de la corriente sobre el emisario, dado que la corriente se considera perpendicular al emisario, el valor es 4 mts.

ARLUS DE SUYUDECHEA
REPRESENTANTE LEGAL
INGENIERIA S.A.

MARIO JOSÉ VAXIT
REPRESENTANTE LEGAL
EMPRESA CONSTRUCTORA BELFI S.A.

Ing. MIGUEL A. OLMEDO
Representante Técnico

Ing. JOSÉ CASTELLANO
REPRESENTANTE LEGAL
CONTRERAS HERMANOS

Ingeniería Básica Emisario Submarino Mar del Plata - Rev D - Marzo 2000

- ver angle: ángulo que tiene la porta respecto a la vertical: 0° .
- Hor angle: ángulo de la corriente respecto al eje del emisario. En este caso se aplica 90° .
- Far dif: coeficiente de dispersión de campo lejano: unidades en $m^2/m^3/s$.
- Far vel: velocidad de la corriente de campo lejano, expresado en cm/s , este es el parámetro más importante y corresponde al valor asumido de la velocidad de la corriente. En este caso $0,15 m/s$ respectivamente.
- Depth, current, density, salinity y temp, corresponde a las propiedades de la columna de agua (cuerpo receptor) en la zona de descarga del emisario. Estos valores se determinan a través de las campañas marítimas.
- Far inc: significa los incrementos en este caso de 500 mts, para analizar los resultados.

b) Características de las Aguas Servidas:

- Effl sal: salinidad del efluente: $0,12 \text{ }^\circ/_{\text{oo}}$
- Effl temp: Temperatura del efluente: $13,5 \text{ }^\circ\text{C}$
- Poll conc: concentración de coliformes del agua servida: 10×10^7
- Decay: decaimiento bacteriano: $T_{90}: 55,26 \text{ day}^{-1}$, equivale a un T_{90} de 1 hr.

c) Los datos siguientes son autocalculados a partir de datos anteriores.

- Port flow: es el caudal de cada porta: total flow / número de portas
- Pluma dia: es el diámetro de la pluma a la salida de cada porta: notar que es menor que el diámetro de la porta, ya que hay una contracción.
- Total vel: velocidad total del flujo a través de cada porta. Este valor aumenta si el número de portas disminuye.
- Horiz vel: componente horizontal de la velocidad
- Vertl vel: componente vertical de la velocidad.
- Effl den: densidad de las aguas servidas: unidades sigma-t, equivale a $0,999470 \text{ g/cm}^3$.
- Red space: espacio entre portas, aplicando la componente neta de la corriente sobre el emisario, dado que la corriente se considera perpendicular al emisario, el valor es 4 mts.

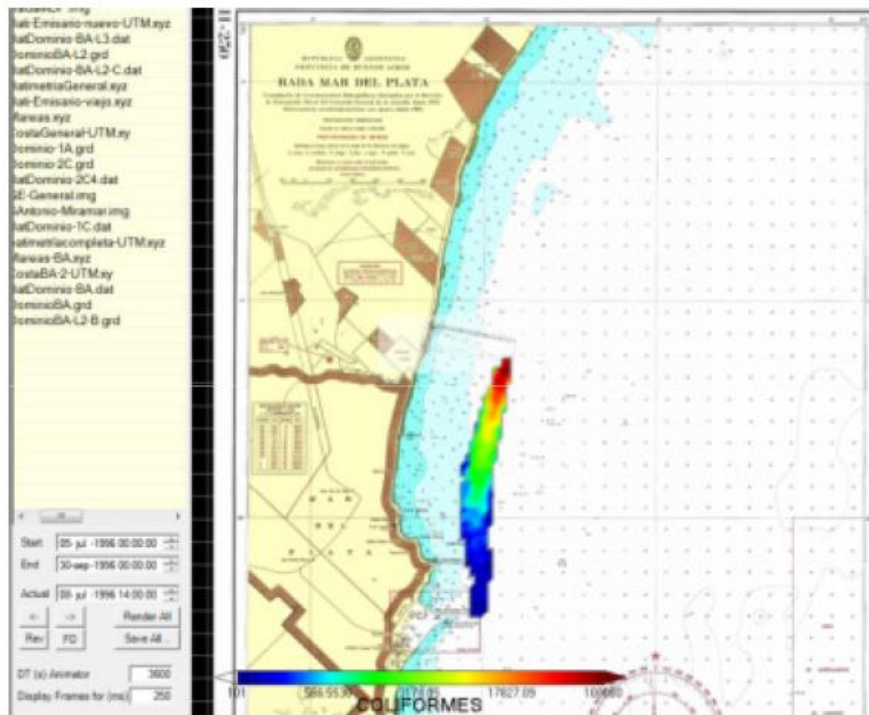
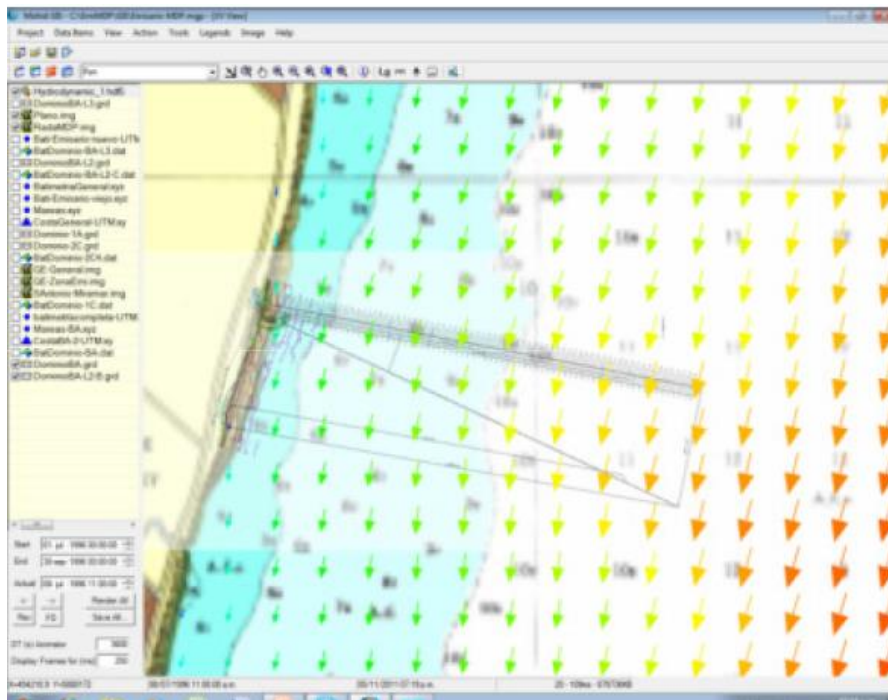
ING. JOSÉ GUYCOECHA
REPRESENTANTE LEGAL
INGENIERÍA S.A.

MARIO JOSÉ MAXI
REPRESENTANTE LEGAL
EMPRESA CONSTRUCTORA BELFI S.A.

Ing. MIGUEL A. OLMEDO
Representante Técnico

Ing. JOSÉ CASTELLANO
REPRESENTANTE LEGAL
CONTRERAS URBANO

Serie Básica Emisario Submarino Mar del Plata





Municipalidad del Partido
de General Pueyrredón 13



Obras Sanitarias Mar del Plata
Sociedad de Estado



2794

Licitación Pública:

**"Construcción, Operación y Mantenimiento de la
Segunda Etapa de la Estación Depuradora de
Aguas Residuales de la Ciudad de
Mar del Plata"**

Separata N° 2:

- Medición de Corrientes Superficiales en un Sector del
Litoral Costero de Mar del Plata Durante
el Período Estival 1997/98 -**

Universidad Nacional de Mar del Plata
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

2794

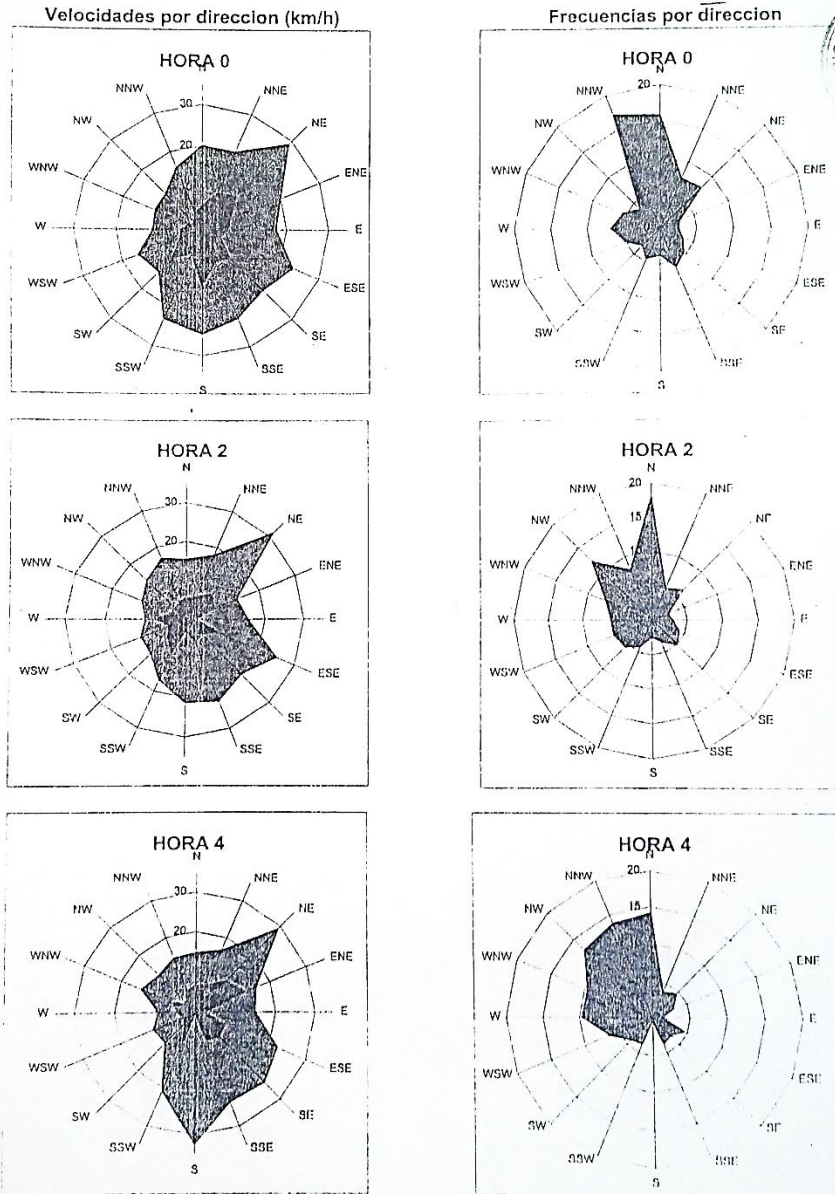


Fig. 6: Análisis horario de las frecuencias de dirección y velocidad de los vientos correspondientes al período diciembre '97 - marzo '98.

2194

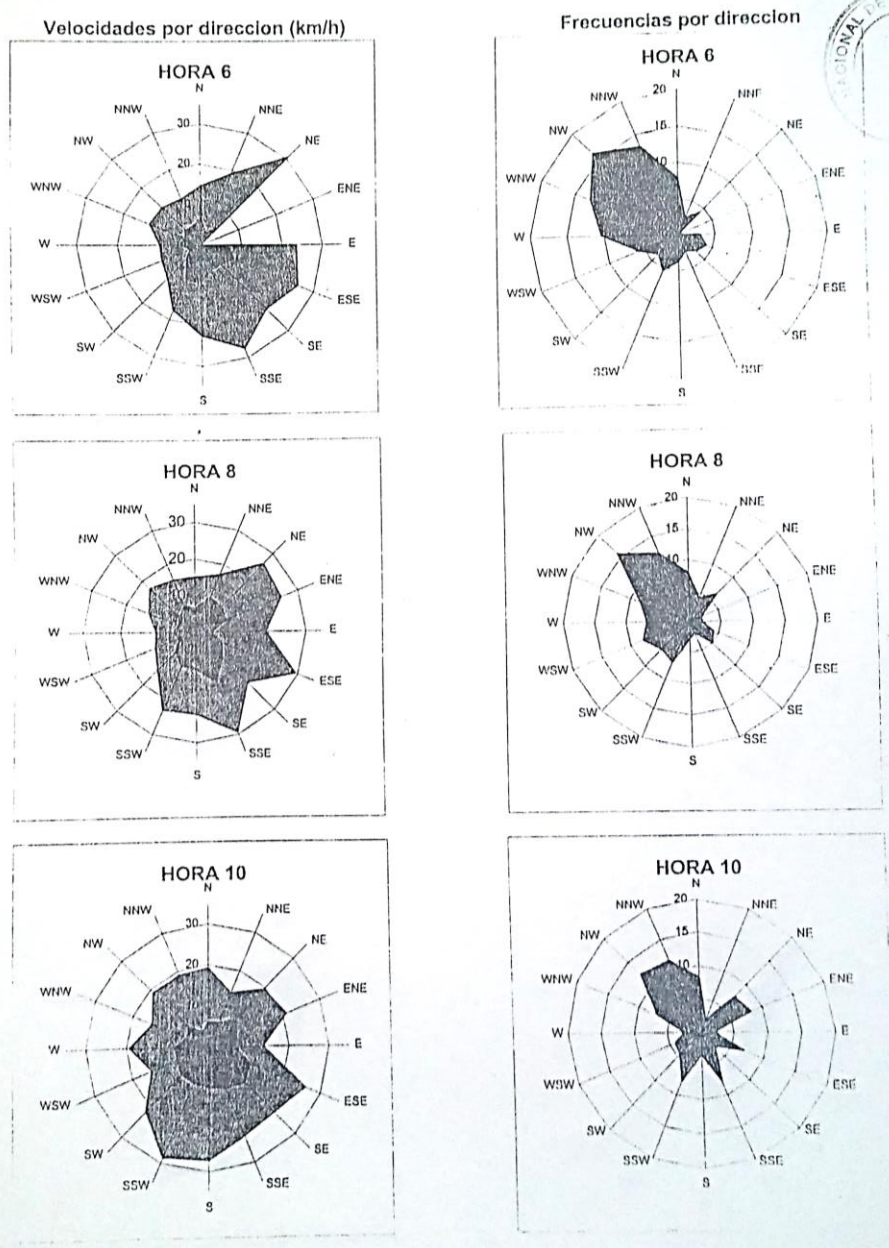


Fig. 6: (continuación)

6694

34

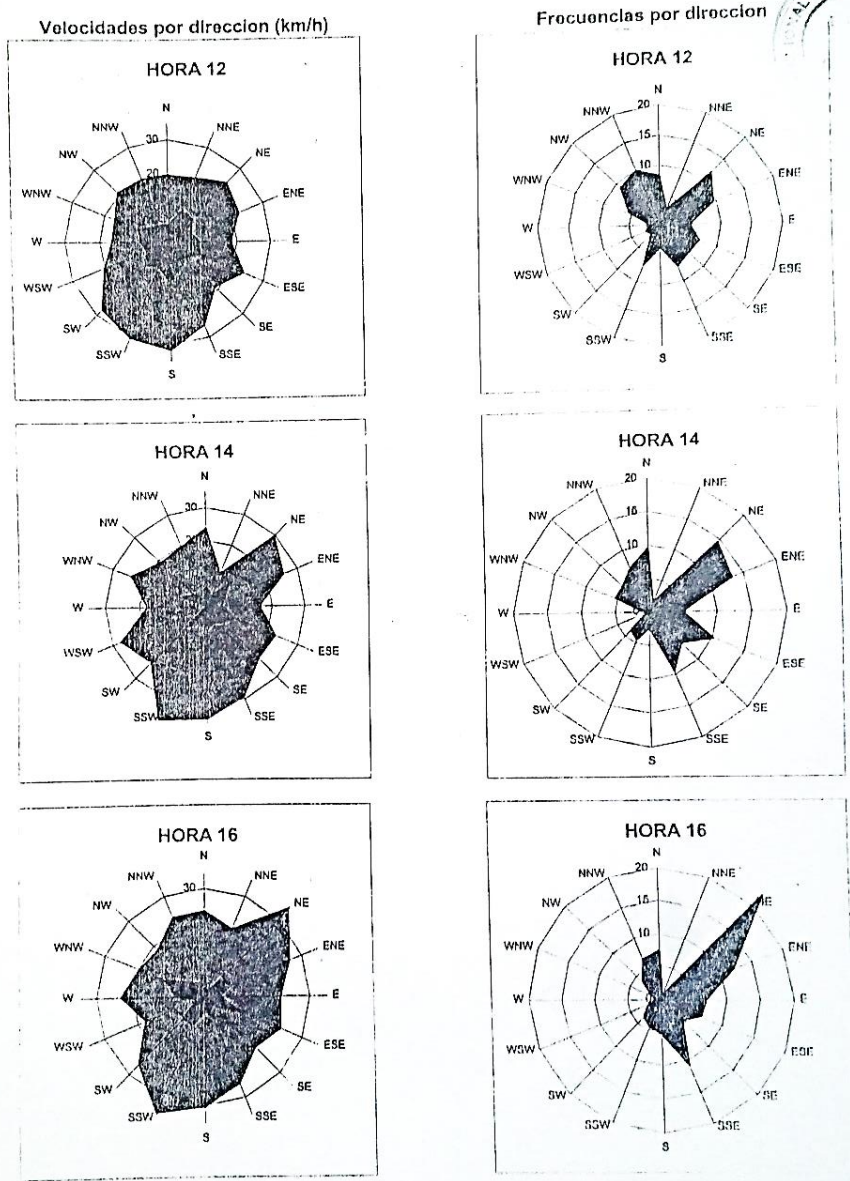


Fig. 6: (continuación)

273
INSTITUTO NACIONAL DE OBRAS PÚBLICAS
FOU

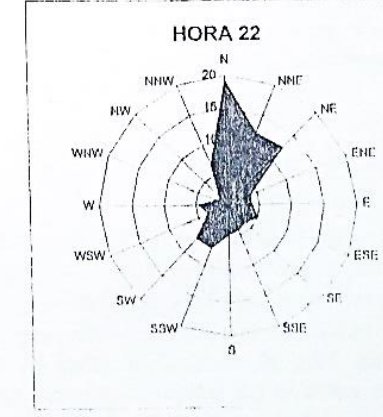
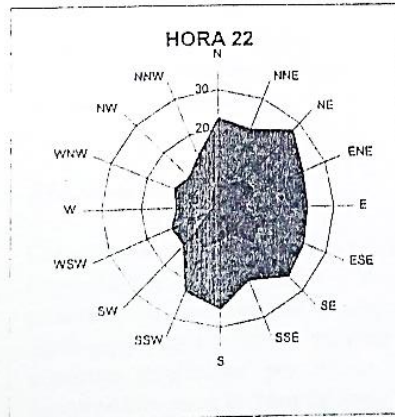
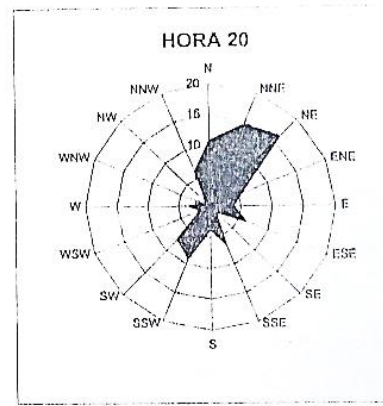
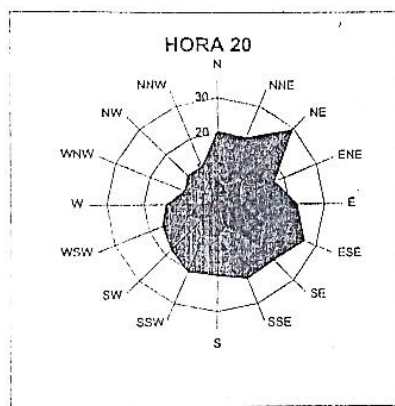
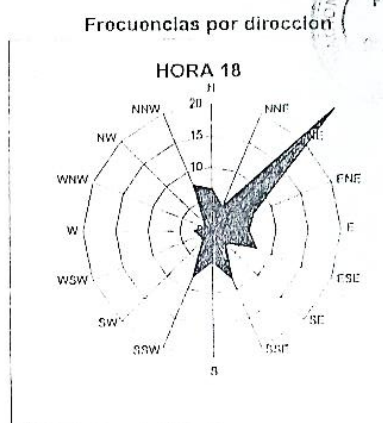
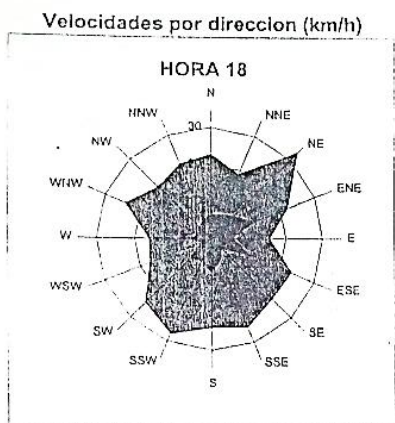


Fig. 6: (continuación)

Durante las horas nocturnas desde la hora 0 hasta la hora 8 los vientos son provenientes del sector continental, fundamentalmente del cuarto cuadrante. Se trata en estos casos de vientos suaves y leves que oscilan entre los 10 a 20 km/h como valores de velocidad media. A partir de la hora 10 si bien continúan siendo frecuentes los mismos vientos, se insinúan vientos de origen marítimo de los sectores NE y ENE de características también suaves y leves. A partir de la hora 12 los vientos comienzan a rotar del NW y N hacia el NE para alcanzar un pico tanto de frecuencia como de intensidad entre la hora 16 y 18. Cabe destacar que estos vientos fueron los más enérgicos detectados en el período del verano 97-98, siendo vientos de rangos moderados a fuertes. En promedio los vientos del sector NE alcanzaron los 30 km/h tanto para la hora 14 como para la hora 20 y superando este valor para las horas intermedias. A partir de la hora 20 los vientos disminuyen su intensidad y comienzan a rotar nuevamente al sector N y NW.

Los valores medios de la brisa del orden de los 30-34 km/h para nuestras observaciones, son levemente inferiores a los obtenidos en las costas oeste de Australia (36 km/h) y considerada una de las brisas más intensas en el mundo entero. Algunos ejemplos de intensidades máximas de brisa para otras regiones como son, 50 km/h en Barcelona; 18 km/h en Santa Rosa Island, Florida; 25 km/h en Monterey, California; 29 km/h en Tokio; 36 km/h en Piraes cerca de Atenas, Grecia; demuestran que la brisa en el sector costero de Mar del Plata, no es para nada despreciable, por el contrario se sitúa como una de las más intensas.

Una característica sobresaliente de la brisa en Mar del Plata es que sopla con una dirección no perpendicular a la línea de costa en el sector de playas de la zona de Camet. Si consideramos que la costa tiene un ángulo aproximado a los 10° con respecto al N, y que el sector predominante de la brisa es del NE (45°), sólo tiene un apartamiento de 35°.

Esta dirección, diferente a un sistema de brisa típico (perpendicular a la costa), es atribuido a la interacción entre el sistema de brisa de mar y los patrones del tiempo sinóptico (circulación general) explicados anteriormente. Sin embargo, en otras regiones también existen apartamientos muy diferentes a las situaciones típicas. Así por ejemplo, en la zona costera de Necochea, la brisa sopla del SE y del S. Situaciones más extremas, con brisas paralela a la línea de costa, sucede por ejemplo en Barcelona, costa oeste de Australia, entre otras.

Efectos de la brisa de mar

Como se mencionó anteriormente, la brisa de mar tiene efectos directos en el clima de olas, las corrientes costeras y la topografía de playas. Sin entrar en detalle de estos procesos, ya que escapan al objetivo de nuestros estudios, en líneas generales la bibliografía internacional muestra, que los drásticos incrementos de velocidad de corriente producidos por efecto brisa están limitados a la zona de surf (zona comprendida entre la línea de rompiente y la línea de costa), mientras que en zonas más alejadas, el efecto de brisa es menor (Patiaratchi et al, 1997). Un aumento en la velocidad del viento, juega un rol importante en procesos costeros, particularmente en el

transporte litoral de sedimentos. Los trabajos a nivel local (Ulibarrena, 1980; Sunrise, 1969; Waterman, 1994), señalan los efectos que tiene el viento en este tipo de procesos costeros, aunque no hacen referencia estricta a vientos producidos por sistemas de brisa de mar.

La influencia que tiene la brisa en capas subsuperficiales (3m de la superficie) ha sido demostrado en la costa oeste de Australia por Patiaratchi et al (1997) a una distancia de 2 km de la costa y a una profundidad de 10 m, señalando que las corrientes subsuperficiales responden a cambios en la velocidad del viento casi instantáneamente.

3.3.6 PERSISTENCIA DE VIENTOS DEL PRIMER CUADRANTE.

Como se ha visto, los vientos del sector marítimo del primer cuadrante son los de mayor frecuencia y velocidad. Por tal razón se realizó un detallado análisis de la persistencia de estos vientos, es decir, la cantidad de horas que en forma continua han soplado del mismo sector. Esta situación de circulación general ocurre cuando existe un anticiclón al este de la Provincia de Buenos Aires y una baja en el centro del país.

La permanencia de estos centros de altas y bajas por períodos prolongados son los generadores de los vientos marítimos, que al conjugarse con los fenómenos de la brisa, provocan situaciones de peor escenario para las playas marplatenses, dado que juegan un rol importante en la velocidad y dirección de las corrientes superficiales que se dirigen hacia la zona de línea de costa como se verá al describir cada una de las campañas realizadas. Para el período analizado la permanencia de los vientos no superó las 42 horas, situación ocurrida durante los días 9 y 10 de diciembre. No obstante es típico encontrar permanencias superiores a 24 horas al menos una a dos veces por mes.

3.4 CONDICIONES MAREOGRÁFICAS

Como se mencionó anteriormente, el régimen de la marea en Mar del Plata es del tipo de *desigualdades diurnas*, presentando diferencia de altura entre las dos pleamares o dos bajamares de cada día.

Estas diferencias de alturas entre las pleamares no son constantes, sino que presentan variaciones a lo largo del mes. De esta manera, durante los períodos de sicigia las diferencias se hacen máximas, mientras que durante los períodos de cuadratura las diferencias de alturas son mínimas.

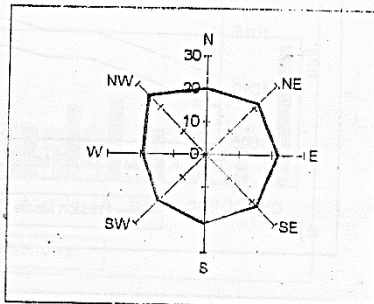
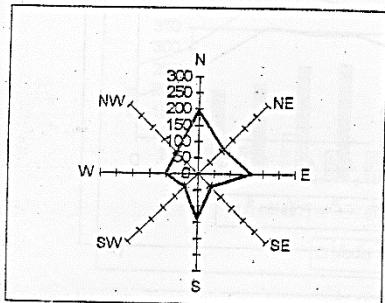
La marea astronómica² tiene una amplitud máxima de 1,57 m y un valor medio de 0.82 m (SHN. Tablas de marea, 1998).

² Marea astronómica: es la marea producida exclusivamente como resultado de la acción de la atracción gravitatoria de la Luna y el Sol sobre la Tierra en rotación.

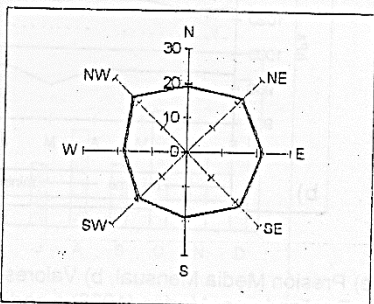
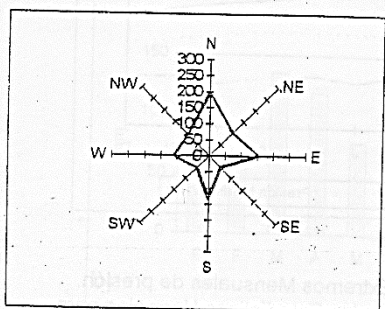
FRECUENCIA DE DIRECCIONES/1000

VELOCIDAD MEDIA (Km/h)

ENERO



FEBRERO



MARZO

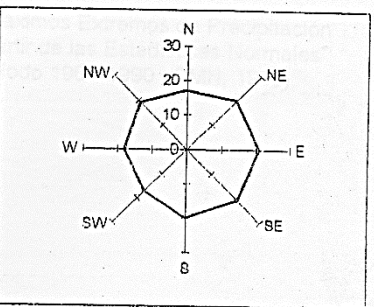
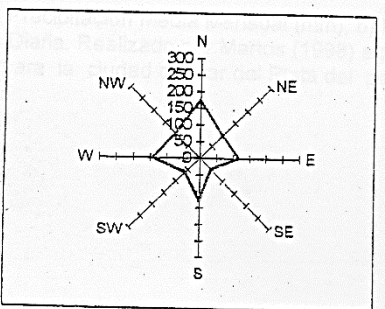
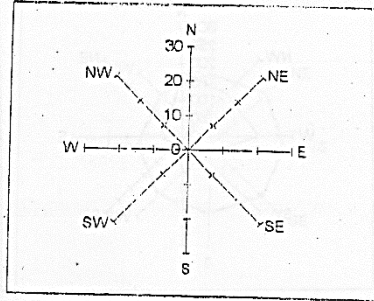
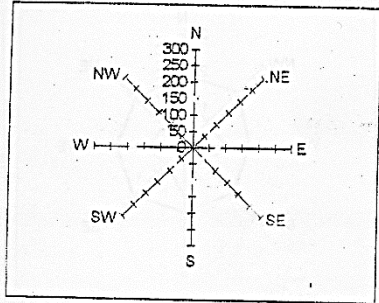


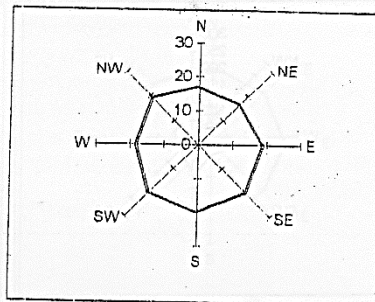
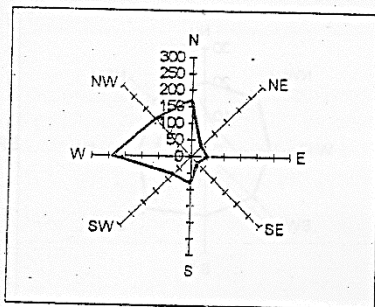
Figura 6- Rosa de los vientos de Frecuencia de Direcciones (en escala 1000) y Velocidad del viento en (Km/h) de los meses de ENERO, FEBRERO y MARZO. Realizado por Martos (1998) a partir de las Estadísticas Normales para la ciudad de Mar del Plata del periodo 1961-1990 (SMN, 1998).

FRECUENCIA DE DIRECCIONES/1000 VELOCIDAD MEDIA (Km/h)

ABRIL



MAYO



JUNIO

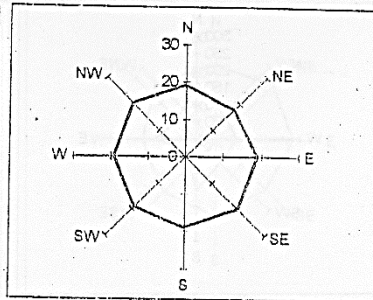
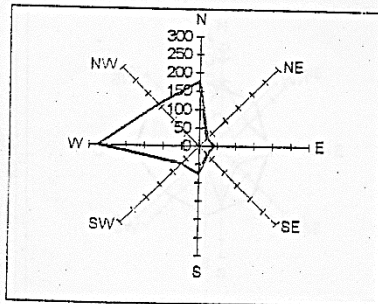
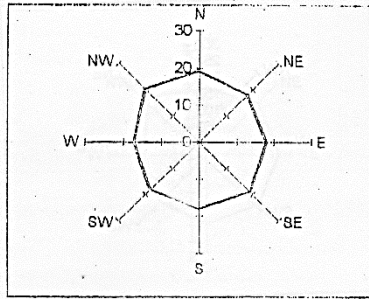
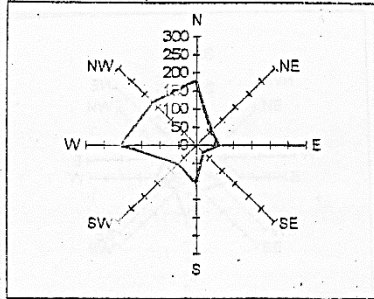


Figura 7- Rosa de los vientos de Frecuencia de Direcciones (en escala 1000) y Velocidad del viento en (Km/h) de los meses de ABRIL, MAYO y JUNIO. Realizado por Martos (1998) a partir de las Estadísticas Normales para la ciudad de Mar del Plata del periodo 1961-1990 (SMN, 1998)

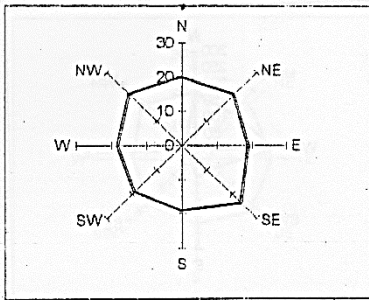
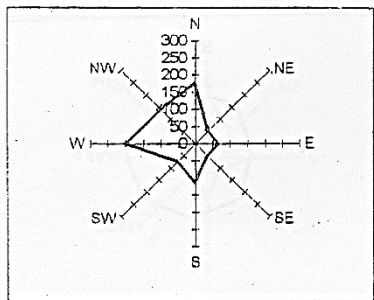
FRECUENCIA DE DIRECCIONES/1000

VELOCIDAD MEDIA (Km/h)

JULIO



AGOSTO



SEPTIEMBRE

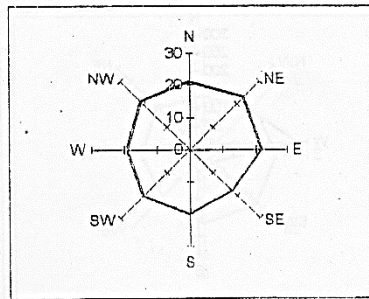
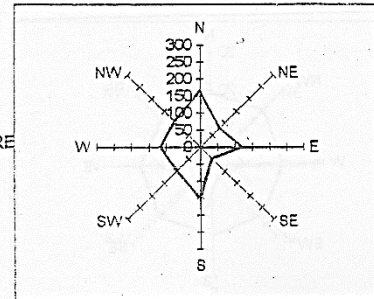


Figura 8- Rosa de los vientos de Frecuencia de Direcciones (en escala 1000) y Velocidad de viento en (Km/h) de los meses de JULIO, AGOSTO y SEPTIEMBRE. Realizado por Martos (1998) a partir de las Estadísticas Normales para la ciudad de Mar del Plata del periodo 1961-1990 (SMN, 1998).

FRECUENCIA DE DIRECCIONES/1000

VELOCIDAD MEDIA (Km/h)

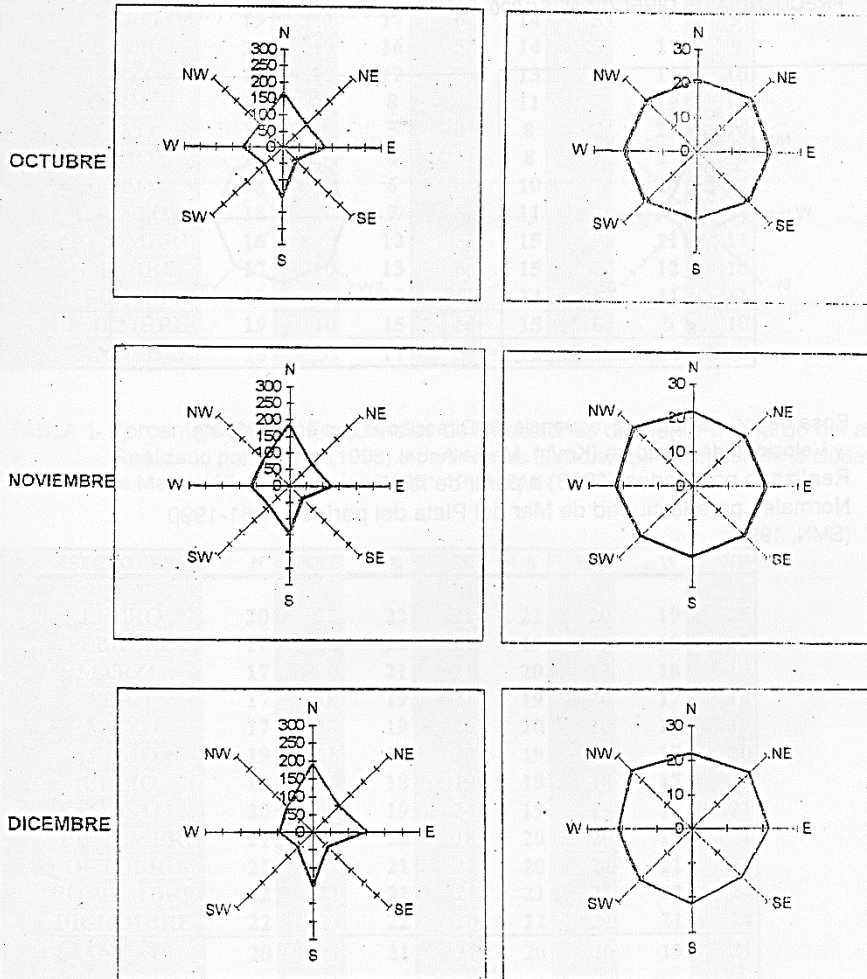
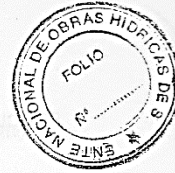


Figura 9- Rosa de los vientos de Frecuencia de Direcciones (en escala 1000) y Velocidad de viento en (Km/h) de los meses de OCTUBRE, NOVIEMBRE y DICIEMBRE. Realizado por Martos (1998) a partir las estadísticas Normales para la ciudad de Mar del Plata del período 1964-1990 (SMN, 1998).



FRECUENCIA DE DIRECCIONES/1000

VELOCIDAD MEDIA (Km/h)

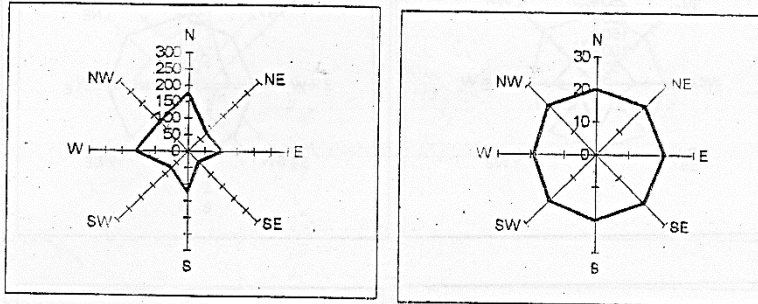


Figura 10- Rosa de los vientos de Frecuencia de Direcciones (en escala 1000) y Velocidad de viento en (Km/h). Media Anual. Realizado por Martos (1998) a partir de las Estadísticas Normales para la ciudad de Mar del Plata del período 1961-1990 (SMN, 1998).



SECTORES	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
ENERO	19	11	17	6	14	5	9	9
FEBRERO	20	10	16	5	14	5	11	9
MARZO	17	10	12	5	13	6	14	10
ABRIL	15	6	8	4	11	7	19	14
MAYO	17	4	5	3	8	7	23	16
JUNIO	17	3	4	3	8	7	27	16
JULIO	18	6	6	3	10	7	20	17
AGOSTO	18	5	7	5	11	7	20	14
SEPTIEMBRE	16	8	12	5	15	9	11	11
OCTUBRE	17	10	13	6	15	7	12	10
NOVIEMBRE	19	9	13	5	14	8	11	11
DICIEMBRE	19	10	15	6	15	6	9	10
ANUAL	18	9	11	5	12	7	16	12

TABLA 1- Porcentaje (%) de Frecuencias de Direcciones de viento a lo largo del año.
Realizado por Martos (1998) a partir de las Estadísticas Normales de la ciudad de Mar del Plata del período 1961-1990 (SMN, 1998).

SECTORES	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
ENERO	20	22	22	22	21	20	19	25
FEBRERO	19	22	22	22	19	19	18	22
MARZO	17	20	21	21	20	17	18	19
ABRIL	17	18	19	21	19	20	17	18
MAYO	17	17	19	20	20	20	18	19
JUNIO	19	18	19	20	19	19	19	20
JULIO	19	18	18	19	18	18	17	20
AGOSTO	20	21	19	24	19	19	18	21
SEPTIEMBRE	21	23	22	18	20	20	19	21
OCTUBRE	21	22	21	21	20	21	21	21
NOVIEMBRE	22	21	21	21	21	21	22	24
DICIEMBRE	22	23	22	20	22	21	21	24
ANUAL	20	21	21	21	20	20	19	21

TABLA 2- Velocidad Media del viento (Km/h) a lo largo del año en los distintos sectores.
Realizado por Martos (1998) a partir de las Estadísticas Normales de la ciudad de Mar del Plata del período 1961-1990 (SMN, 1998).

2794

Universidad Nacional de Mar del Plata



En la Figura 5b se observan los valores extremos mensuales máximos y mínimos, el valor máximo ocurrió en julio de 1988 con 1038.6 hPa y el mínimo en mayo de 1988 con 980.1 hPa.

Viento

De la observación de mapas sinópticos promedios de la región a lo largo de varios años, se observa que las áreas de alta y baja presión no varían geográficamente en forma considerable y que persisten de mes en mes durante todo el año o gran parte de él (Piccolo, 1982). Las diferencias de presión atmosférica entre estas áreas, define el comportamiento característico de los vientos de la región. La ubicación geográfica de la ciudad de Mar del Plata frente al océano (sin cadenas montañosas que desvíen los vientos) y abierta a la planicie pampeana, la convierte en un área de notable actividad eólica, afectada por las distintas masas de aire que con mayor o menor intensidad penetran en el área (Roccatagliata et al., 1984).

Durante todo el año y especialmente en verano, recibe la influencia de una masa de aire subtropical marítimo que atraída por un centro de baja instalado en el norte de la Patagonia y la provincia de La Pampa provoca vientos de los cuadrantes del NW, N y NE, se caracteriza por ser aire cálido y húmedo, con intensidades moderadas.

La segunda masa de aire que influye en la zona, tiene su origen en el Anticiclón del Pacífico Sur y es atraído por el mismo centro de baja anterior, al llegar tiene características de viento fresco y seco, provocando tormentas rápidas pero energéticas y lluvias de frente, desplazando la masa de aire cálido y húmedo dejando limpia la atmósfera. Proviene del W y SW (viento "pampero") y sopla principalmente en verano extendiéndose en otoño y primavera. Por otra parte, los vientos provenientes de SW, frescos y secos llegan a la región provenientes del cinturón permanente de los vientos del oeste, atraídos por el centro de baja presión provocado por el recalentamiento de la llanura sometida a una masa de aire subtropical.

Atraídos también por el centro ciclónico instalado en la región chaqueña, una alta subtropical y una alta ubicada en la costa norte de la Patagonia hace rotar el viento SW sobre el mar donde carga humedad y penetra en la provincia desde los cuadrantes SSE y E con alto contenido de humedad, produciendo lluvias principalmente en invierno. Por otro lado en invierno penetran desde el S vientos fríos de origen polar que provocan temperaturas debajo de 0°C (Roccatagliata et al, op cit).

Para caracterizar los patrones medios de vientos en el área se utilizan los valores estadísticos correspondientes a la Estación Meteorológica Mar del Plata Aero (Martos, 1998). Debe tenerse en cuenta que, debido a la ubicación de la misma (Aeropuerto de Mar del Plata) los



mismos pueden presentar leves diferencias en las direcciones con respecto a vientos medidos en sectores costeros (Alvarez et al., 1981; Reta, 1998).

Se analizan las rosas de los vientos medios mensuales y la media anual de velocidad (Km/h) y dirección de los vientos (frecuencia en escala de 1000) (Figs. 6 a 10). Cabe destacar que en todo el análisis realizado las velocidades aparecen atenuadas y con pocas variaciones, ya que al ser valores medios de largo período, los mismos son suavizados. Por otro lado, no se cuenta con los desvíos de las medias consideradas para el análisis.

De la observación de la Figuras 6 y 9 podemos decir que la estructura de las rosas de viento en diciembre, enero y febrero son aproximadamente semejantes. Las direcciones predominantes, en orden decreciente, son de los sectores N, E y S, con picos secundarios del NE NW y W, con velocidades medias entre 20 y 25 Km/h. Las mayores velocidades corresponden al sector NW, E y S.

Durante el mes de Marzo existe una pequeña rotación de los vientos siendo las direcciones predominantes de los sectores N, W, S y E, con picos secundarios del NW y NE. Las velocidades son entre 17 y 21 Km/h con los máximos de los sectores E y SE.

Durante los meses de abril, mayo, junio, julio y agosto la rosa de los vientos presenta una estructura semejante entre sí (Figs. 7 y 8). Los vientos predominantes son de los sectores W, N, NW y en forma secundaria del S. El rango medio de velocidades es entre 17 y 24 Km/h, correspondiendo el valor máximo al sector SE (con menor frecuencia) en el mes de agosto y los valores mínimos al sector W en julio.

Durante septiembre las mayores frecuencias permanecen del N, seguido en importancia de los sectores S, E y W, manteniendo el mismo patrón en octubre y noviembre (Figs. 8 y 9). En estos meses suelen darse además frecuencias importante de los sectores intermedios NW y NE. Las velocidades medias se mantienen en el rango de 18 a 24 Km/h, con el valor máximo en el sector NW en noviembre y el mínimo del SE (baja frecuencia) en septiembre.

Analizando las frecuencias estadísticas anuales, se observa que las mayores frecuencias son las provenientes de los sectores N, W, S, NW y E, con velocidades medias entre 19 y 21 Km/h (Fig.10). Mediante el análisis de los valores estadísticos (SMN, 1998) anuales puede determinarse que las frecuencias del sector N se mantienen importantes durante todo el año, con picos de máxima durante los meses de verano; las del W presentan su mayor señal en los meses de invierno y otoño disminuyendo hacia el verano y primavera; el sector S se observan prácticamente durante todo el año con mayor permanencia en los meses de verano y primavera con una disminución en otoño e invierno; el sector NW principalmente en los meses de invierno y otoño y finalmente los del sector E durante el verano y la primavera. Cabe mencionar que si bien en las medias anuales no presentan una frecuencia relativa importante, los vientos provenientes del NE presentan su mayor señal durante los meses de verano y primavera. En las Tablas 1 y 2



se presentan a modo de síntesis los porcentajes (%) de frecuencias de los diferentes sectores y las velocidades medias (Km/h) en los diferentes meses del año.

Con respecto a la ocurrencia de calmas, las estadísticas de los 30 años analizados muestran las mayores frecuencias (en base 1000) en los meses de otoño e invierno, siendo menores para la primavera y verano.

Brisa de Mar

Otro de los vientos característicos de Mar del Plata, que merece mención especial, es la "brisa de mar", el cual tiene su origen en la diferencia de calentamiento entre la tierra y el mar. Su principal ocurrencia es durante el verano ya que es allí donde existe una marcada diferencia de las temperaturas entre la tierra y el mar. Para la aparición del régimen de brisa, es necesario como condición previa que el cielo permanezca despejado o algo nublado, y que los vientos soplen suaves o se encuentren en calma. Bajo estas condiciones, el sol calienta con intensidad desde las primeras horas de la mañana, adquiriendo una mayor temperatura el sector continental. Gradualmente, el suelo transmite su calor al aire, incrementando su temperatura y su volumen, comenzando a ascender y siendo reemplazado por el aire fresco que llega desde el océano generando así la "brisa de mar". La brisa sopla desde una cierta distancia mar adentro y dirigida hacia la tierra (penetrando varios kilómetros), con una dirección aproximadamente perpendicular a la línea de costa. Durante las horas nocturnas, la dirección de la brisa se invierte (por un enfriamiento diferencial), soplando desde el continente hacia el mar ("brisa de tierra"). Esta brisa es generalmente de menor intensidad que la brisa de mar.

La dirección de la brisa marina y su penetración en el continente presenta diferencias en las distintas localidades de las costas bonaerenses. En Mar del Plata la brisa de mar sopla generalmente como viento del NE o del E (Celemin, 1984).

Estudios realizados por Reta (1998) para el verano 1997-1998 muestran que en el sector de las Playas de Camet, la brisa de mar sopla en dirección predominante del NE, manteniendo un ángulo de 35° con la línea de costa. El mencionado autor determina el siguiente esquema: 1- condición inicial de vientos provenientes del sector continental, fundamentalmente del cuarto cuadrante, con intensidades suaves y leves (10 a 20 Km/h); 2- a partir de las 10 hs, si bien continúan los mismos vientos, comienzan a insinuarse los vientos de los sectores NE y ENE, con características de vientos suaves; 3- luego a partir de las 12 hs los vientos rotan al sector NE, con un pico de frecuencias y de intensidades entre las 16 y las 18 hs con valores máximos de hasta 34 Km/h (estos vientos fueron los más energéticos presentados durante el período analizado); 4- a partir de la hora 20 los vientos disminuyen y comienzan a rotar nuevamente hacia el sector continental.

3.3 CAMPO DE VIENTOS EN LA CIUDAD DE MAR DEL PLATA

La información meteorológica y climatológica es útil para la gestión de las zonas costeras y permite basar las decisiones de planificación en información concreta relativa a contaminación potencial, intensidad de las precipitaciones fuertes o la magnitud de las fuerzas ejercidas por el viento y las olas, entre otros aspectos.

El hecho de poder contar con una serie temporal suficientemente larga de varios años (20-30 años) de parámetros meteorológicos, permite describir situaciones medias o climatológicas de las condiciones de una determinada región. La red de estaciones meteorológicas que posee el al Servicio Meteorológico Nacional (SMN) en nuestro país es la que garantiza poseer la fuente de información básica para la descripción de las condiciones climáticas de todo el territorio nacional. Sin embargo, es necesario contar con estaciones adicionales para encarar estudios particulares regionales.

Históricamente la ciudad de Mar del Plata cuenta con la estación meteorológica Mar del Plata Aero (registrada por la Organización Mundial de Meteorología (OMM) con el número 87692) situada en el actual aeropuerto local, perteneciente al SMN dependiente de la Fuerza Aérea Argentina. Esta estación de categoría de tipo sinóptica se halla ubicada a unos 10 km tierra adentro de la línea de costa y es sin duda la estación que más datos posee en el ámbito local.

Durante la década del '60, '70 y parte de los '80 estuvo operativa la estación Base Naval dependiente de la Armada Argentina, actualmente fuera de servicio, que estaba localizada dentro del Puerto local. Su ubicación, si bien estaba enfrentado el océano abierto de los sectores N, E y S, tenía problemas para observar vientos del sector O. Sin embargo, los datos sirvieron de base para estudios realizados por la empresa japonesa Sunrise Technical Consultants CO., LTD a fines de la década del '60 para el *Estudio Mediante Ensayo Hidráulico sobre modelo del Puerto de Mar del Plata y sus alrededores*.

En la actualidad, gracias al advenimiento de estaciones meteorológicas automáticas a bajo costo, la ciudad de Mar del Plata cuenta con estaciones distribuidas en diferentes partes de la ciudad. Dichas estaciones no conforman una red meteorológica local, por el contrario, son pertenecientes a empresas particulares, emisoras radiales, canales de TV, OSSE y la Universidad Nacional de Mar del Plata (UMNdP).

Instalación de una estación meteorológica en la planta de tratamiento

Debido a la necesidad de contar con datos netamente costeros y más precisamente para los estudios llevados a cabo con referencia a la descarga cloacal, la UNMdP ha instalado una estación automática en las propias instalaciones de la Planta de tratamiento de OSSE a partir del 20 de mayo de 1996 y actualmente se mantiene en forma operativa.

Con respecto a la ubicación de los sensores de la estación meteorológica, se siguieron las recomendaciones del fabricante. Por un lado, los sensores de registro de dirección y velocidad del viento se hallan instalados en una torre posada sobre el techo del edificio,

transporte litoral de sedimentos. Los trabajos a nivel local (Ulibarrena, 1980; Sunrise, 1969; Waterman, 1994), señalan los efectos que tiene el viento en este tipo de procesos costeros, aunque no hacen referencia estricta a vientos producidos por sistemas de brisa de mar.

La influencia que tiene la brisa en capas subsuperficiales (3m de la superficie) ha sido demostrado en la costa oeste de Australia por Patiaratchi et al (1997) a una distancia de 2 km de la costa y a una profundidad de 10 m, señalando que las corrientes subsuperficiales responden a cambios en la velocidad del viento casi instantáneamente.

3.3.6 PERSISTENCIA DE VIENTOS DEL PRIMER CUADRANTE.

Como se ha visto, los vientos del sector marítimo del primer cuadrante son los de mayor frecuencia y velocidad. Por tal razón se realizó un detallado análisis de la persistencia de estos vientos, es decir, la cantidad de horas que en forma continua han soplado del mismo sector. Esta situación de circulación general ocurre cuando existe un anticiclón al este de la Provincia de Buenos Aires y una baja en el centro del país.

La permanencia de estos centros de altas y bajas por períodos prolongados son los generadores de los vientos marítimos, que al conjugarse con los fenómenos de la brisa, provocan situaciones de peor escenario para las playas marplatenses, dado que juegan un rol importante en la velocidad y dirección de las corrientes superficiales que se dirigen hacia la zona de línea de costa como se verá al describir cada una de las campañas realizadas. Para el período analizado la permanencia de los vientos no superó las 42 horas, situación ocurrida durante los días 9 y 10 de diciembre. No obstante es típico encontrar permanencias superiores a 24 horas al menos una a dos veces por mes.

3.4 CONDICIONES MAREOGRÁFICAS

Como se mencionó anteriormente, el régimen de la marea en Mar del Plata es del tipo de *desigualdades diurnas*, presentando diferencia de altura entre las dos pleamares o dos bajamares de cada día.

Estas diferencias de alturas entre las pleamares no son constantes, sino que presentan variaciones a lo largo del mes. De esta manera, durante los períodos de sicigia las diferencias se hacen máximas, mientras que durante los períodos de cuadratura las diferencias de alturas son mínimas.

La marea astronómica² tiene una amplitud máxima de 1,57 m y un valor medio de 0.82 m (SHN. Tablas de marea, 1998).

² Marea astronómica: es la marea producida exclusivamente como resultado de la acción de la atracción gravitatoria de la Luna y el Sol sobre la Tierra en rotación.

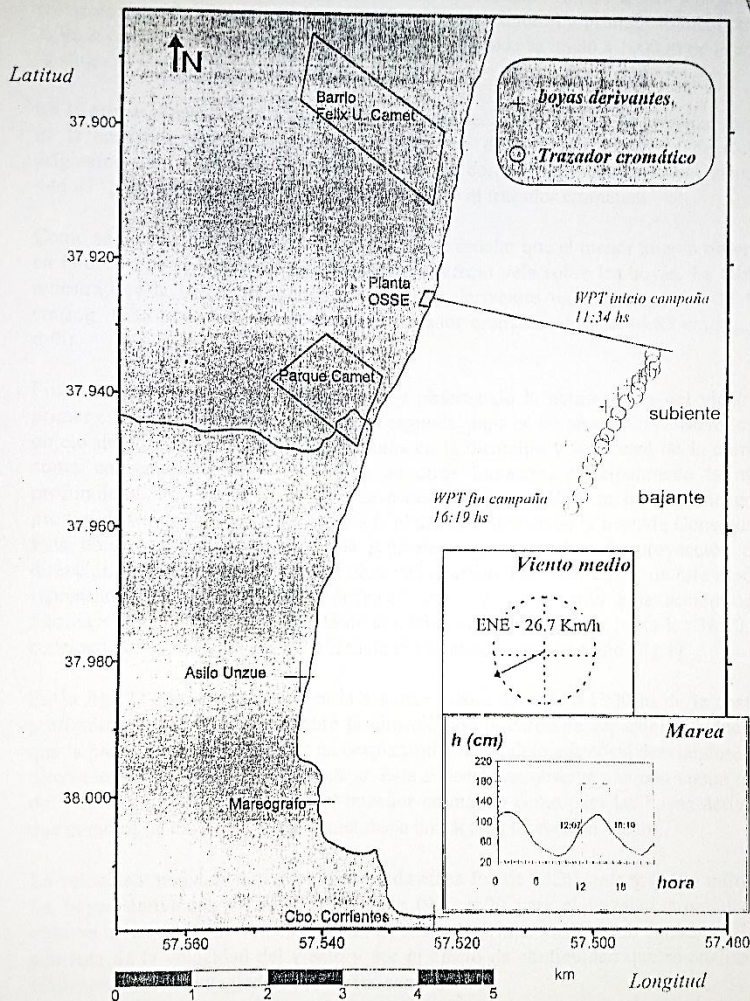
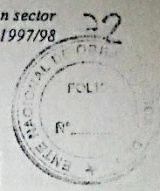
Por su parte los estudios realizados por FCEyN (1997) a partir de correntómetros fondeados a 5 m del fondo indican:

- Las componentes norte-sur de las corrientes de marca son más significativas que las componentes transversales a la costa (este-oeste).
- Los registros de corrientes de marca medidos, tuvieron mayor correlación con la variación de la marea que con los registros de viento.
- Las velocidades oscilaron normalmente entre 3 y 25 cm/s

3.5 BATIMETRÍA

Varios estudios se han realizado en la zona marplatense que describen la batimetría (Sunrise, 1969; INCyTH, 1983; Ríos y Alvarez, 1989; FCEyN, 1997). Para el área que nos ocupa en este estudio, se pueden consignar las siguientes características (Figura 8):

- Profundidades inferiores a 13 m.
- Curvas batimétricas inferiores a 4-5 m dispuestas paralelas a la línea de costa.
- Pendiente más pronunciada en el sector más somero, mientras que hacia el este la inclinación del fondo se reduce.
- Presencia de bancos arenosos en el sector norte, de configuración elongada y ubicados aproximadamente paralelos a la costa.
- Apilamiento de las isobatas frente a accidentes costeros: Punta Iglesia, Torrecón del Monje y Cabo Corrientes.



Método de medición de corriente superficial: Seguimiento de boyas derivantes y trazador cromático

Fig. 21: Mapa de la Campaña N°13. Se muestran todos los puntos de medición (WPT) de la derrota de las boyas derivantes y trazador cromático utilizados para simular el desplazamiento de la partícula de agua. Las rutas indicadas por los WPT, representan las trayectorias de la corriente superficial. Se presenta el viento medio y estado de marea durante el periodo de observación (ver texto).

IAHR

AIH

XXVII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA

LIMA, PERÚ, 28 AL 30 DE SETIEMBRE DE 2016

DISEÑO Y MODELAMIENTO DE DESCARGA DE ESCHERICHIA COLI EN EL EMISARIO SUBMARIO DE MAR DEL PLATA, UTILIZANDO LA HERRAMIENTA D-WAQ.

Javier Alejandro Gómez Rojas, Paolo Gyssels, Mariano Andrés Corral, Andrés Rodríguez.

Laboratorio de Hidráulica – FCEfYN -Bv. Dr Juan Filloy s/n – Ciudad universitaria – Córdoba, Argentina, javier_mgr@hotmail.com, pgyssels@efn.uncor.edu, marianoandrescorral@gmail.com, androadminplan@gmail.com

RESUMEN:

Debido a la contaminación ambiental en ciudades costeras, el emisario submarino es una propuesta eficiente para diluir eficazmente las heces humanas, orina. Lluvia, efluentes urbanos y cloacales. Se estudia el emisario submarino de Mar del Plata, utilizando la herramienta de modelación D-Waq para simular posibles eventos que puedan afectar las playas cercanas, a partir de datos recolectados. Analizando 4 casos de interés, demuestran que si mantienen los niveles de descarga medios de diseño ($6\text{m}^3/\text{s}$) con los niveles de descarga máximos permitidos de E. Coli ($1\text{E}+12\text{ NMP}/\text{m}^3$). No existe riesgo para salud pública en zonas de baño cercanas.

ABSTRACT:

According to the environmental pollution in the coastal cities, the sewage pipe is an efficient approach to dilute the human feces (urine, rain, effluents and urban sewage). We study the sewage pipe from Mar del Plata, using the D-Waq modelling to simulate possible events that could affect the close beaches, we propose 4 cases of interest taking into account the data collected. Showing the level from design ($6\text{m}^3/\text{s}$) could endure maximum allowable discharge levels from E. Coli ($1\text{E}+12\text{ NMP}/\text{m}^3$) there isn't any public health risk in near bathrooms' areas.

PALABRAS CLAVES: Delft wáter quality (D-Waq), Numero más probable (NMP), emisario submarino.

INTRODUCCIÓN

En América latina y el caribe el 49%, tiene servicio de alcantarillado, en el cual se colecta aproximadamente 40 millones de metros cúbicos diarios que se vierten en ríos, lagos y mar. Del volumen colectado tan solo el 10% recibe algún tipo de tratamiento previo a la descarga en agua de forma superficial (Suematsu, 2010). Además, en los últimos informes de la ONU y OMS casi 2,000 millones de personas utilizan a diario agua contaminada, principalmente por heces, cuestión que representa un riesgo para la salud mundial (GLAAS, 2014) .

Actualmente, en ciudades costeras es de gran utilidad contar con un emisario submarino, el cual permite realizar vertidos de origen urbano o industrial en el mar a cierta distancia de la costa. El principal objetivo de los emisarios submarinos es minimizar el impacto que puede tener el vertido de aguas residuales al mar o lo que es lo mismo, garantizar una buena dilución de manera que la mezcla de aguas residuales y agua de mar no altere de forma alguna el aspecto natural y sea inocua para el ecosistema marino, para el litoral y para la salud de los seres humanos. (CEPIS, 2000)

Por lo tanto, en la actualidad es indispensable poseer herramientas de modelación que permitan predecir y gestionar posibles riesgos para la salud pública. A finales del 2014 Delft3D introduce un modelo de calidad de agua de coliformes (Deltares, 2014), debido a que propone una gran utilidad para utilizarlo como herramienta de modelación en descargas de afluentes cloacales ya sea en ríos o aquellos que utilizan un emisario submarino. Se utilizó esta herramienta de modelación, utilizando información recolectada del emisario submarino de Mar del Plata (Argentina) y leyes ambientales, para generar escenarios de calibración y escenarios críticos de vertidos en base al estudio de mareas, vientos, parámetros ambientales en calidad de agua, y de descarga para evaluar posible afectación de la bacteria *Escherichia Coli* (E. Coli) en playas cercanas.

COLIFORMES COMO INDICADORES DE CALIDAD DE AGUA

El grupo de microorganismos coliformes es adecuado como indicador de contaminación bacteriana debido a que estos son contaminantes comunes del tracto gastrointestinal tanto del hombre como de los animales de sangre caliente, estén presentes en el tracto gastrointestinal en grandes cantidades, permanecen por más tiempo en el agua que las bacterias patógenas y se comportan de igual manera que los patógenos en los sistemas de desinfección (Pulido, 2005).

Estas bacterias son de interés clínico, ya que pueden ser capaces de generar infecciones oportunistas en el tracto respiratorio superior e inferior, además de bacteriemia, infecciones de

piel y tejidos blandos, enfermedad diarreica aguda y otras enfermedades severas en el ser humano (Moore J, 2002)

Además, (Suematsu, 2010) muestra su preocupación debido a que la desencadenante de mortalidad infantil en toda la región latinoamericana, debido a diarreas y alimentos infectados, son altamente preocupantes, y afirma que el 70% de 1'400 millones de casos diarreicos en el mundo, registrados afectan a menores de 5 años y a su vez el 25% de estos episodios son producidos por la cepa *Escherichia Coli*. A su vez los 16 ríos principales de Latinoamérica contienen alrededor 1000 coliformes fecales/ 100 ml, ya que para consumo humano no debe ser detectable en una muestra de 100ml. Y lo más preocupante es que parte de esa agua se utilice en la producción de alimentos, incrementando así, factores ambientales de riesgo para la población mundial.

MODELO D-WAQ

El modelo Delft water quality (D-Waq), básicamente utiliza 2 modelos. Primero utiliza un modelo hidrodinámico (Módulo FLOW) y luego es acoplado a un modelo de calidad de agua (Modulo Water Quality).

Modelo Hidrodinámico: Flow resuelve las ecuaciones de Navier Stokes para un flujo incompresible, DELFT3D resuelve las ecuaciones no lineales en aguas poco profundas. Las ecuaciones de aguas someras (SWE por sus siglas en inglés: Shallow Water Equations) se obtienen promediando la ecuación de Navier-Stokes en la dirección vertical. El conjunto de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales en combinación con un apropiado conjunto de condiciones iniciales y de contorno es resuelto en una malla de diferencias finitas utilizando el método RANS (*Reynolds Averaged Navier Stokes*). Las fluctuaciones turbulentas se incluyen en el modelo por medio de los esfuerzos de Reynolds, definidos a través del modelo de cierre de turbulencia, entre los cuales cabe mencionar el k-l o el k-ε (Uittenbogaard & van Kester, 1992).

La solución numérica de las ecuaciones hidrodinámicas requiere la discretización espacial (horizontal) del área de estudio. Con este fin se superpone sobre el dominio de cálculo una malla con un número apropiado de celdas, dependiendo del detalle requerido por la tipología del problema a estudiar (oleaje, corrientes, entrada de ríos) y por la cercanía a las zonas de mayor interés (desembocadura de los ríos, punto de toma de agua).

El número de capas en la vertical es constante para la totalidad del área de estudio. La integración temporal usada por el esquema de solución numérica (método *Cyclic*) se basa en el método ADI (*Alternating Direction Implicit*). Este esquema no impone restricciones al intervalo temporal de cálculo. En cada problema examinado se consideró un intervalo temporal

apropiado determinado por el tipo de problema involucrado y estimado con el cálculo del número de Courant-Friedrichs-Lewy (CFL) para no afectar a la calidad de la solución (Deltares, 2014).

$$CFL = \frac{\Delta t \sqrt{gH}}{\{\Delta x, \Delta y\}} < 10 \quad [1]$$

Δt es el paso de tiempo, g es la aceleración de gravedad, H es el tirante medio, $\{\Delta x, \Delta y\}$ es un valor característico de las dimensiones de la malla en ambas direcciones, comúnmente el valor mínimo.

En la ecuación de transporte, el coeficiente de dispersión es sinónimo de todo el transporte que no pudo ser resuelto con la red finita del módulo Delft3D-FLOW. Esto implica que la dispersión es mucho mayor que la difusión molecular. En primer lugar, a pequeña escala movimiento caótico de las partículas de agua (debido a las fluctuaciones de densidad en la columna de agua) dará lugar a la difusión turbulenta. Sin embargo, este término puede ser muy pequeño. Mayor dispersión entra en el esfuerzo de modelado por pequeños remolinos de escala que no fueron resueltos en la grilla computacional. Estos son los términos que tenemos que tratar en el modelado 3D.

La ecuación de advección-difusión-reacción en D-Waq es la siguiente:

$$\frac{dc}{dt} = -\vec{u} \cdot \vec{\nabla}C + \vec{\nabla} \cdot (\vec{D} \cdot \vec{\nabla}C) + S + f_R(c, t) \quad [2]$$

Donde:

$\vec{u} = (u_x, u_y, u_z)$ = es la velocidad del flujo

$\vec{\nabla}C = \left(\frac{\partial c}{\partial x}, \frac{\partial c}{\partial y}, \frac{\partial c}{\partial z}\right)$ = gradiente de concentración

$\vec{D} = \begin{pmatrix} D_{xx} & D_{yx} & D_{zx} \\ D_{xy} & D_{yy} & D_{zx} \\ D_{xz} & D_{zy} & D_{zz} \end{pmatrix}$ = gradiente de dispersión.

S = termino fuente ó sumidero

$f_R(c, t)$ = reacciones (químicas, biológicas, bacteriológicas o otras reacciones)

Para el flujo incompresible, la ley de conservación de la masa, también es conocida como ecuación de balance del volumen, que está dada por; $\nabla \cdot \mathbf{u} = 0$.

El modelo de coliformes D-Waq, se basa en el modelo de decaimiento bacterial de Mancini, publicado en 1978. En el cual, desarrolla una relación que puede ser utilizada para generar una estimación de las tasas de mortalidad de coliformes en los cuerpos de agua naturales. Estimaciones de la tasa de mortalidad pueden incluir los efectos individuales de temperatura, agua de mar, la radiación solar y el coeficiente de extinción de la luz. Comparando las tasas de mortalidad observadas y calculadas (Mancini, 1978). Presentando datos sobre las tasas de mortalidad de coliformes de la literatura para proporcionar indicaciones de variabilidad de las tasas.

- Luz del sol
- Temperatura
- Salinidad
- Depredación
- Deficiencia de nutrientes
- Sustancias toxicas
- Asentamiento de los organismos después de la descarga
- Resuspensión de partículas asociadas con la sorción de organismos
- Crecimiento bacterial en cuerpos de agua

Estos efectos varían y dependen de la situación en que se presentan, la tasa de decaimiento K_B (1 / día) se puede escribir como:

$$K_B = K_{B1} + K_{BI} + K_{Bs} - K_a \quad [3]$$

Donde

K_{B1} = tasa de mortalidad básica como función de la temperatura, salinidad y depredación

K_{BI} = tasa de decaimiento debido a la luz

K_{Bs} = pérdida por resuspensión

K_a = tasa de crecimiento

A continuación, en la Tabla 1 se resumen las características, unidades y posibles rangos que puedan tomar en el modelo D-Waq

Tabla 1.- Resumen de los principales parámetros de interés del modelo D-Waq

Ítem	Descripción	Unidades	Valor por defecto	Rango
<i>fuv</i>	Fracción de radiación UV visible en una columna de agua.	-	0.12	-
<i>I</i>	Radiación solar en la capa superior de un segmento	W.m ⁻²	<i>Derivada del proceso</i>	-
<i>I₀</i>	Radiación solar total en el agua	W.m ⁻²	160	Depende de la latitud y longitud geográfica
<i>Mrt_{cl}</i>	Mortalidad del cloro (sal)	d ⁻¹	n.a.	-
<i>Mrt_{E.Coli}</i>	Tasa mortalidad total de los E. Coli	d ⁻¹	n.a.	-
<i>Rco</i>	Tasa de mortalidad de primer orden de los E. Coli	d ⁻¹	0.8	0.8 - 5.0
<i>Rc rad</i>	constante de mortalidad de radiación	m ² .W ⁻¹ .d ⁻¹	0.086	-
<i>Ext Im1</i>	Taza de extinción de material inorgánica suspendida	m ² .g	0.01	7.5 0.05
<i>ϑ</i>	coeficiente de mortalidad debido a la temperatura	-	1.07	--

<i>E. Coli</i>	Concentración de Escherichia Coli	MPN.m ⁻³	Dato de entrada	Depende de las condiciones locales
(Cl)	concentración cloro derivada de la concentración de sal	g.m ⁻³	<i>Dato de entrada</i>	Depende de las condiciones locales

OBJETIVOS

El principal objetivo de los emisarios submarinos es minimizar el impacto que puede tener el vertido de aguas residuales al mar o lo que es lo mismo, garantizar una buena dilución de manera que la mezcla de aguas residuales y agua de mar no altere de forma alguna el aspecto natural y sea inocua para el ecosistema marino, para el litoral y para la salud de los seres humanos (CEPIS, 2000). Los objetivos particulares de este trabajo han sido: (i) Identificar los parámetros que utiliza la herramienta D-Waq, haciendo énfasis en el modelo y método que utiliza; (ii) Reproducir eventos de calibración de parámetros de diseño y modelación; (iii) Utilizar la herramienta D-Waq para modelar y evaluar posibles eventos que puedan afectar las playas cercanas, superando los estándares de calidad de E. Coli. Se recuerda que el límite permitido de vertidos a mar en Argentina es de 1E12 NMP/ m³, y 1E6 NMP/m³ es el máximo permitido en zonas de baño (NMP es el método del número más probable).

METODOLOGÍA

Se utilizó el modelo D-WAQ (Deltares, 2014), el cual utiliza un modelo de dispersión de contaminantes, a partir de la hidrodinámica oceánica producida por el oleaje (viento), marea, resolviendo con el modelo FLOW, y teniendo en cuenta la turbulencia y la rugosidad del medio. Con la hidrodinámica resuelta se ha podido generar una descarga de E. Coli, teniendo en cuenta caudales y concentraciones. Se ha evaluado la pluma de dispersión en el campo lejano teniendo en cuenta la salinidad del medio, temperatura, la radiación solar y la tasa de decaimiento etc., y utilizando el modelo de Mancini (1978). Se han producido los eventos críticos para evaluar los parámetros de calidad agua en zonas de baño.

En este trabajo se recolectó información del pliego licitatorio y de construcción del Emisario submarino de Mar del Plata (Obras sanitarias de Mar del Plata, 1998), donde se tenía en cuenta la descarga de coliformes fecales totales, pero se omitía el diseño y modelación de descarga de Escherichia Coli, que a pesar de encontrarse dentro del grupo de los coliformes fecales totales, posee una tasa de decaimiento menor, según el modelo de Mancini (1978). Por lo cual para poder utilizar el D-WAQ, se recolectó información y se calibraron diferentes parámetros (salinidad, temperatura, radiación, marea, viento, corriente submarina, etc.).

PARAMETROS DE DISEÑO

A continuación, en la Tabla 2 se muestran todas las variables que se deben disponer, para poder llevar a cabo simulaciones con el D-Waq.

Tabla 2.- Datos de diseño para D-Waq.

Perfil de temperatura del medio	Serie de Marea de los días a simular.	Salinidad del medio y del agua residual	Serie de Viento y perfiles	Niveles de materia inorgánica del medio y del agua residual
Topografía submarina local.	Caudales de descarga	Niveles E. Coli de descarga y del medio.	Calibración de coeficiente de dispersión (longitudinal y transversal)	Niveles de Radiación solar
Duración de los días de simulación.	Coeficiente de extinción de UV de materia inorgánica	Coeficiente de extinción UV por profundidad	Tasa de mortalidad de los E. coli	Coeficiente de Manning

IMPLEMENTACIÓN D-WAQ

Para poder llevar a cabo la implementación, primero se hicieron varias simulaciones de prueba para conocer el proceso para hacer simulación en D-Waq y se buscaron valores a cada parámetro a partir de la información recolectada en el proyecto licitatorio y de construcción, además se tuvo que llevar a cabo un proceso de calibración y sensibilidad. Para conformar una serie de valores adoptados y a su vez proponer posibles eventos críticos y típicos. A continuación se muestran los valores de los parámetros recolectados.

Tabla 3.- Valores de parámetros de diseño.

Datos de entrada	Valores adaptados
Temperatura	13 °C en invierno y 15 °C en verano
Serie de marea	Se descargó la serie seleccionada, cada 30min, utilizando el software Dashboard (estación Cluiho en Mar del plata).
Salinidad	Salinidad del medio 35 g/Kg

	Salinidad del afluyente 1 g/Kg
Viento	Depende del caso adaptado
Materia inorgánica	Medio: 10 gDM/m ³ Afluyente : 30 gDM/m ³
Radiación solar	530 W/m ² en verano 460 W/ m ² en invierno
Coefficiente de extinción de UV de materia inorgánica	0,0862
Coefficiente de extinción UV por profundidad	0,08
Duración del día	0,58 para verano 0,41 para invierno
Tasa de mortalidad de los E. Coli	0,8
Coefficiente de dispersión	Dx = 10 m ² /s Dy = 20 m ² /s
Caudales de descarga	6m ³ /s caudal medio 9m ³ /s caudal máximo
Coefficiente de Manning	0.014
Nivel de coliformes (E. Coli)	1 E12 MPN/ m ³ (máximo de descarga legal) 1 E6 MPN/ m ³ (máximo permitido en zonas de baño)

Teniendo en cuenta lo anterior y a partir del análisis de vientos realizado (Obras sanitarias de Mar del Plata, 1998), Se postularon 4 casos de interés, que se resumen en la Tabla 4:

Tabla 4: Escenarios

Escenario	Características
6.	Durante el 9/7/1996 se registra fuerte oleaje con una velocidad de viento promedio de 80 Km/h del norte, con caudal de descarga medio (6m ³ /s).
7.	Durante el 20/7/1996 se registra fuertes vientos con una velocidad promedio de 70 Km/h del sur, con caudal de descarga medio.

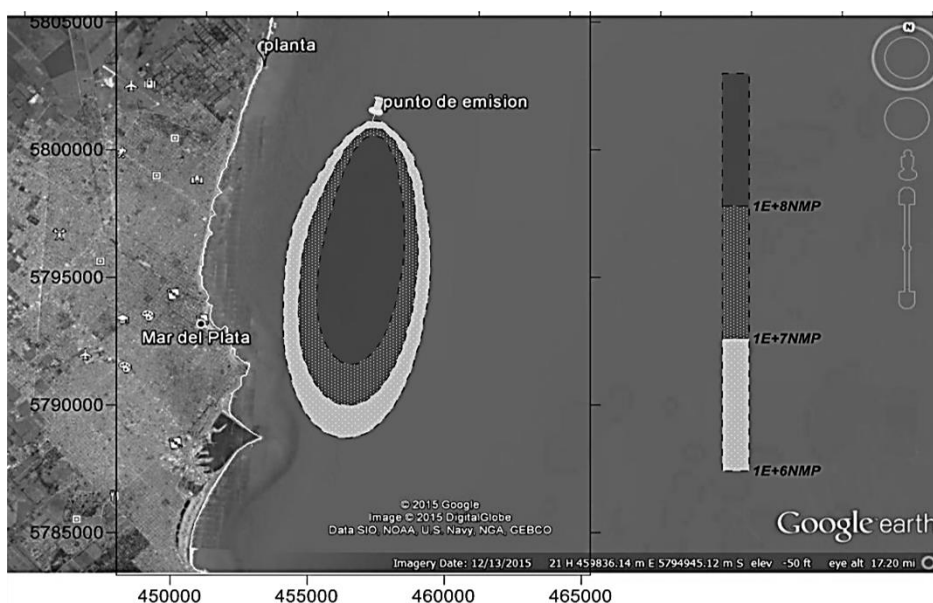
8.	Condiciones medias: marea típica, oleaje típico, con caudal de descarga medio.
9.	Máximo viento registrado directo hacia costa (viento del este), con máxima descarga permitida.

RESULTADOS

Se ha evidenciado una gran dependencia de la mancha de E. Coli al viento, prevaleciendo sobre la corriente típica local. Por lo cual los escenarios (Tabla 4) dependen básicamente de los niveles de descarga y de los posibles vientos locales.

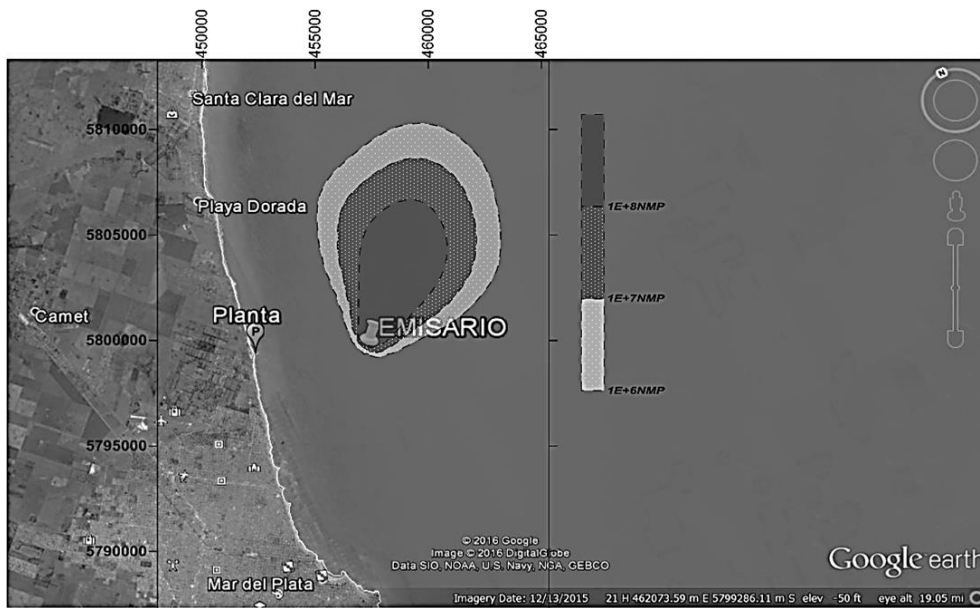
El escenario 1 (figura 1), muestra la orientación de la mancha de coliformes, sin tener posibles afectaciones en playas cercanas. En la cual se tiene una rea de afectación de 28.9 km² y el punto más cercano a costa se encuentra a 1.54km.

Figura 1.- Escenario 1.



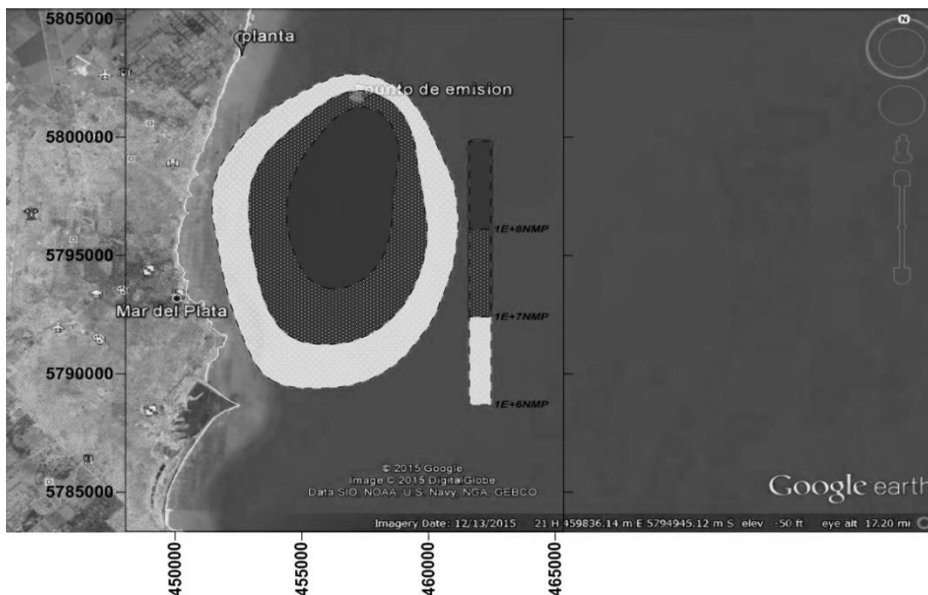
El escenario 2 (Figura 2), muestran que los vientos fuertes que presenta Mar del Plata alejan el área de afectación disminuye a 27.3km² y se aleja a una distancia de 2.8 km de la costa, La orientación muestra menos riesgo cuando se produzcan estos vientos.

Figura 2.- Escenario 2.



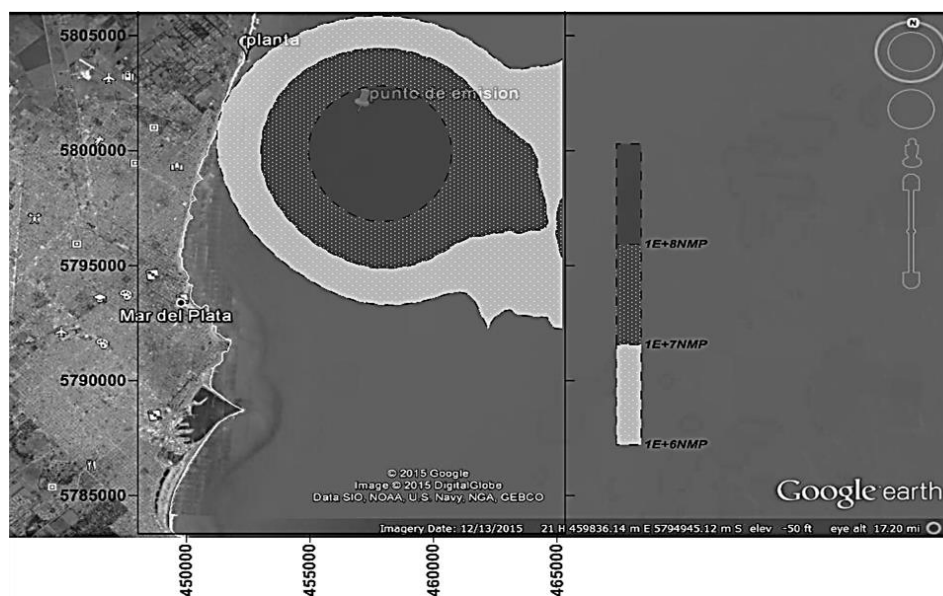
El escenario 3 (Figura 3), muestra que en condiciones media la mancha de coliformes es de 27.1km², pero el área de afectación se acerca a 0.48 km en el punto más cercano.

Figura 3.- Escenario 3.



El escenario 4 (Figura 4), muestra que en condiciones de viento hacia costa, al cabo de un día y con niveles de descarga máxima, Si puede afectar la costa, y el área de afectación alcanza los 60.3 km².

Figura 4.- Escenario 4.



Conclusiones

El único escenario en el cual existe riesgo para las zonas de baño solo se da si el emisario utilizara su capacidad máxima de $9 \text{ m}^3/\text{s}$, con el máximo permitido de coliformes ($1\text{E}+12 \text{ NMP}/\text{m}^3$) junto con un viento medio hacia costa de 12 m/s por un día con descarga máxima. Pero estos escenarios parecen hipotéticos, ya que el viento predominante, los niveles de descarga previstos y el sentido de la corriente no deslumbran un escenario de riesgo para zonas de baño cercanas.

El emisario posee caudales medios de funcionamiento de $6 \text{ m}^3/\text{s}$, si dichas descargas se mantienen dentro los límites permitidos de $1\text{E}+12 \text{ NMP}/\text{m}^3$, no existe riesgo para salud pública en zonas de baño.

A su vez se resalta que a través de los modelos de predicción de oleaje y viento actuales, D-Waq es una herramienta poderosa para predicción y toma de decisión.

El modelo D-Waq, a su vez permite a su vez realizar simulaciones entorno al análisis de DBO, DO y sedimento suspendido.

8. Referencias

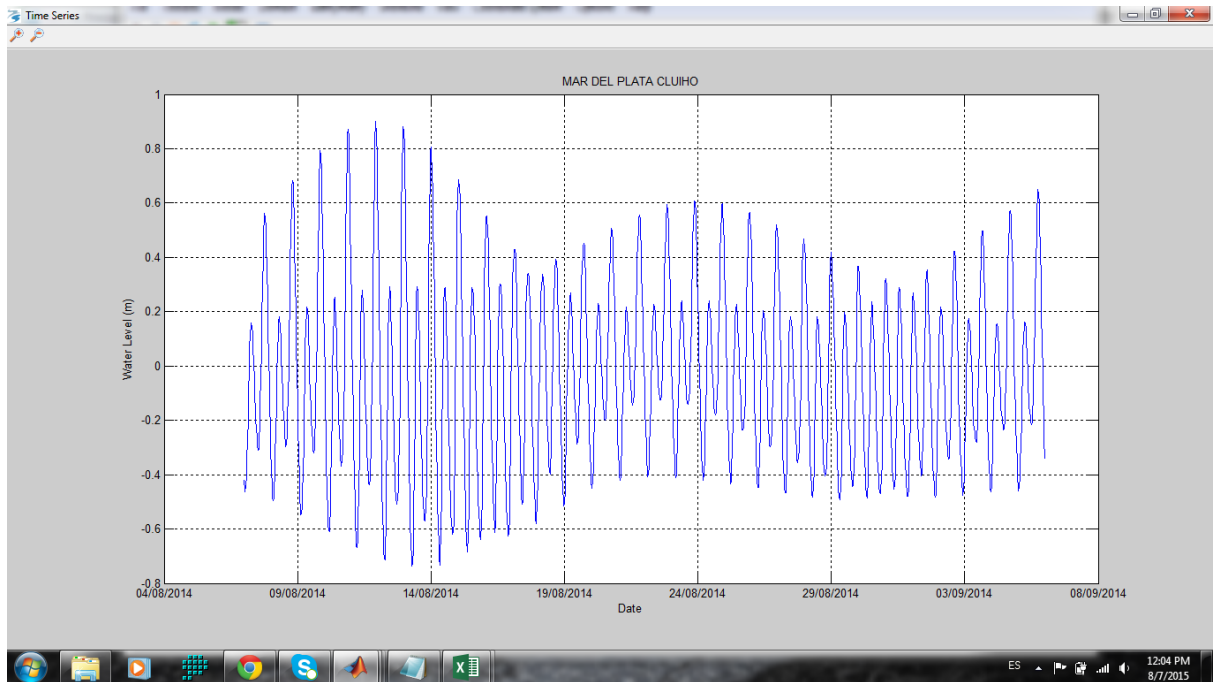
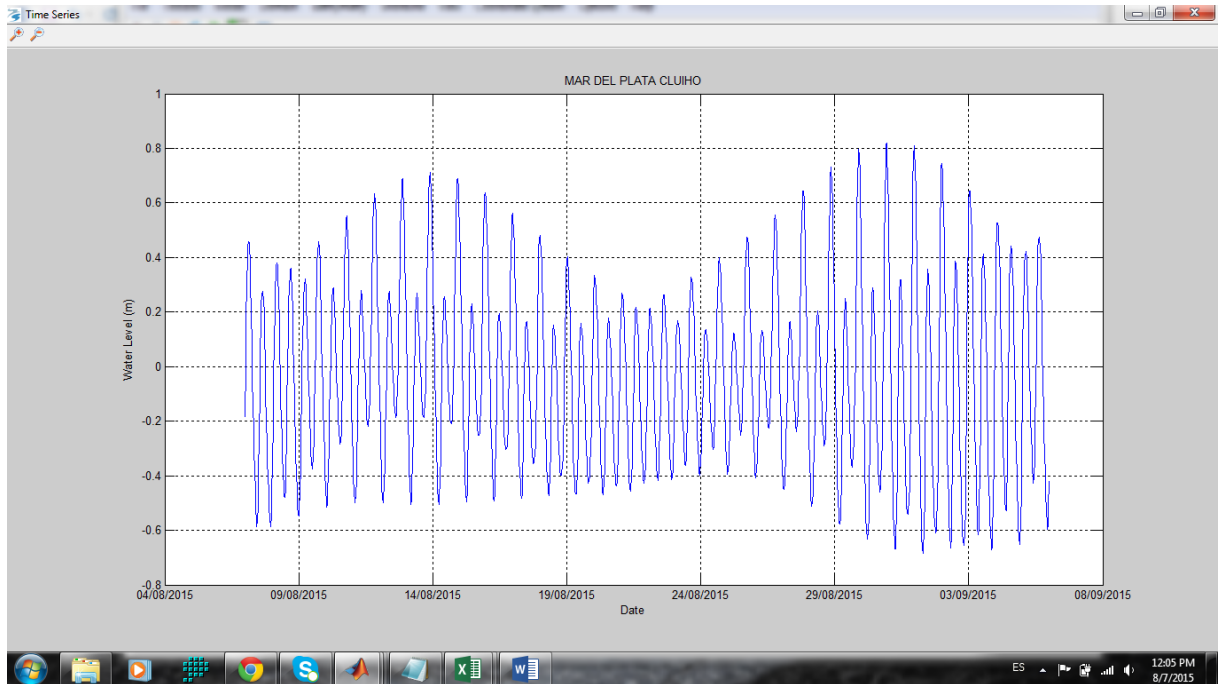
- Equipos y Laboratorio de Colombia. (20 de Junio de 2018). *Equipos y Laboratorio de Colombia S.A.S.* Obtenido de https://www.equiposylaboratorio.com/sitio/contenidos_mo.php?it=1537
- Banco Interamericano de Desarrollo. (1998). *Strategy for Coastal and Marine Resources Management in Latin America and the Caribbean*. Washington DC: BID.
- Blogplastics. (30 de 12 de 2016). *Blogplastics*. Obtenido de <http://www.blogplastics.com/difusores-y-otros-elementos-de-los-emisarios-submarinos-de-pe/>
- Canosa de Barrero, A. (1995). Indicadores bacteriológicos de eutrofización en los embalses de Chuza, Neusa y Tominé, y en la laguna de Chingaza. *colciencias*.
- CANTABRIA, I. D. (2010). *Presentación de las fichas descriptivas de los modelos comerciales*. Madrid: Gobierno de España.
- Cashman, A. (2013). *La seguridad del abastecimiento de agua en el Caribe*. Washington D. C.: BID.
- CEPAL. (2002). División de Recursos Naturales e Infraestructura. *CEPAL*, 63.
- CEPIS. (2000). *Informe número 43- evaluación del impacto ambiental - ubicación y diseño de emisarios submarinos*. Londres: Organización panamericana de la salud.
- CIHE. (20 de octubre de 2015). *Centro de investigación hábitat y energía*. Obtenido de <http://cihe.com.ar>
- Congreso nacional del medio ambiente. (2010). *Deterioro de las costas y litorales*. Madrid: Conama.
- COR MIX. (12 de 12 de 2016). *CORMIX Home Page*. Obtenido de <http://www.cormix.info/>
- Croce, M. C. (16 de 1 de 2013). Obtenido de Youtube: https://www.youtube.com/watch?v=ZrdcNd_j0M
- Croce, M. C. (17 de 01 de 2013). Obtenido de Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=-YTk37Vylvk>
- Delft 3D. (2012). *User manual*. Netherland: Deltares.
- Deltares. (2013). *D-water quality - User manual*. Netherlands: Deltares.
- Deltares. (2014). *Hydro-Morphodynamics*. The Netherlands: Deltares.
- Deltares. (2014). *user manual D-Water quality*. Netherland: Deltares.
- ESO, G. 4. (20 de octubre de 2016). Obtenido de Geomorfología 4° Eso: <http://geomorfologiacccl.blogspot.com/>
- España, D. g.-G. (2010). *Análisis de Herramientas de evaluación de la difusión y comportamiento de agentes químicos en el marco de la normativa de Responsabilidad Medioambiental*. Madrid: Ministerio de Agricultura, alimentación y medio Ambiente.
- ESSEBIO. (1995). *EL EMISARIO SUBMARINO COMO SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS. CONCEPCION - CHILE: ESSBIO S.A.* .
- FECyN – UNdMP . (1997). *Antecedentes geomorfológicos en Mar del Plata*. Mare del Plata: UNdMP.

- Federico Isla, A. C. (1999). Simulación del transporte dispersivo con decaimiento: futuro emisario submarino de Mar del Plata. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología*, vol.6 no.1-2.
- Fernández A, Molina M, Alvarez A, Alcántara M, Espigares. (2002). Transmisión fecohídrica y virus de la hepatitis A. *revista de sanidad Ambiental*, 8-24.
- Frickmann, L. (2 de 12 de 2013). Obtenido de Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=cFBZ-tVka5M>
- gaceta, D. L. (28 de 12 de 2009). *Diario La gaceta*. Obtenido de <http://www.lagaceta.com.ar/nota/358580/vacaciones/aconsejan-no-banarse-mar-plata-contaminacion.html>
- Gilda, r. (2010). *Apuntes de Bramatologia. del departamento de química analítica*. San Vicente del Raspeig (Alicante - España): Universidad de Alicante.
- GLAAS. (2014). *THE GLOBAL ANALYSIS AND ASSESSMENT OF SANITATION AND DRINKING-WATER (GLAAS)*. Geneva, Switzerland: Publications of the World Health Organization.
- Google. (3 de Octubre de 2016). *Google maps*. Obtenido de <https://www.google.com/maps>
- Gyssels, P. (2011). *Estudio de la dilución en el campo cercano de vertidos cloacales para el diseño de un emisario submarino en Mar del Plata*. Mar del Plata: International Symposium on Outfall Systems.
- Halcrow. (2008). *Ingenieria básica emisario submarino de Mar el Plata*. Mar del Plata: Halcrow.
- Harwood V, L. A. (2005). Validity of the indicator organism paradigm for pathogen reduction in reclaimed water and public health protection. *Appl Environ Microbiol*, 16-70.
- Hernandez, a. (2002). *Manual de diseño de estaciones depuradores de aguas*. Madrid (España): Colegio de Ingenieros de caminos, canales y puertos.
- Jenna R. Jambeck, R. G. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *science magazine*, 347(6223), 768-771.
- Liseth, P. (1976). Mixing of merging buoyant jets from a manifold in stagnant receiving water of uniform density. *Hydraulic engineering laboratory - Berkeley university*, 23.
- López, j. s. (1997). *Vertido a mar de aguas residuales urbanas*. Cantabria: univervdidad de Cantabria.
- Mancini, J. L. (1978). Numerical estimates of coliform mortality rates under various conditions. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 2477-2484.
- mardelplatabasecero. (4 de 12 de 2009). Obtenido de Youtube: https://www.youtube.com/watch?v=K81t70V0m_g
- mardelplatabasecero. (4 de 12 de 2009). *Youtube*. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=K81t70V0m_g
- MetEd. (10 de Octubre de 2016). *MetEd*. Obtenido de <https://www.meted.ucar.edu/>
- Metroagua, U. d. (2010). *Estudio oceanográfico y de la calidad del agua en el área del emisario submarino en la bahía de Santa Marta*. santa marta: Universidad de magdalena -Metroagua.

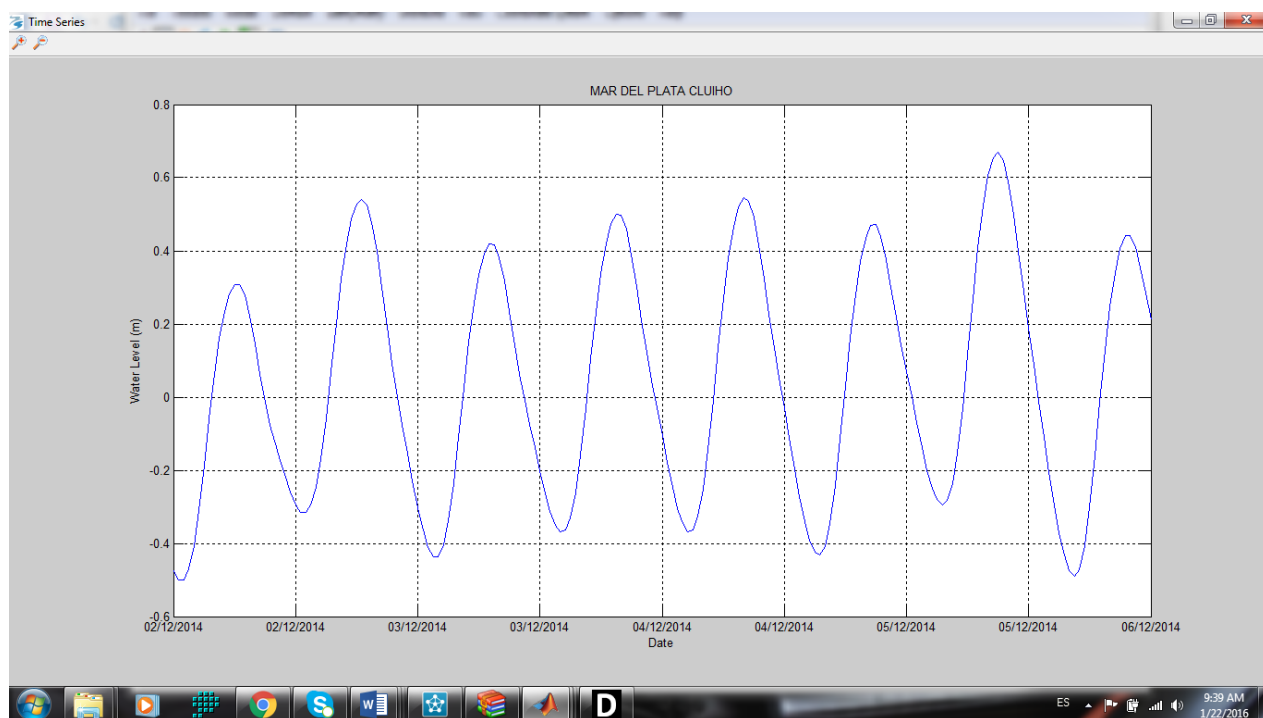
- Miliarium Aureum, S. (5 de 5 de 2015). *Instrucción para el proyecto de conducciones de vertidos desde tierra al mar*. Obtenido de <http://www.miliarium.com/Paginas/Normas/Instrucciones/O13071993a.asp>
- Moore J, H. N. (2002). Incidence of *Pseudomonas aeruginosa* in recreational and hydrotherapy pools. *Commun Dis Public Health*, 23-26.
- Mueller, J., & Thoman, R. (1987). *Principles of surface wáter quality modeling and control*. New York: Pearson.
- Mueller, T. &. (1987). Principles of surface water quality modelling and control. En T. &. Mueller, *Principles of surface water quality modelling and control* (pág. 231). New york: Harper International Edition.
- Obras sanitarias de Mar del Plata. (1998). *Construcción, Operación y mantenimiento de la segunda etapa de la estación depuradora de aguas residuales de la ciudad de Mar del Plata*. Mar del Plata: Universidad Nacional de Mar del Plata, facultad de ciencias exactas y naturales.
- Obras sanitarias Mar del Plata sociedad de estado OSSE. (1998). *construccion, operacion y mantenimiento de la segunda eata de la estacion depuradora de aguas residuales de la ciudad de Mar del Plata - Separata N°2*. Mar del Plata: Universidad de Mar del Plata.
- Obras sanitarias S.E.-MGP. (15 de 07 de 2013). Obtenido de youtube: https://www.youtube.com/watch?v=l8Db_Asvf4c
- Organización de las naciones unidas. (1992). *informe #21*. Rio de jaineiro: ONU.
- Periódico Virtual Zona 54. (21 de 11 de 2016). *Periódico Virtual Zona 54*. Obtenido de <http://www.zona54.com/local/1965-mar-del-plata-la-cloaca-que-ocultaron>
- Philips. (1957). A co-ordinate system having some special advantages for numerical. *Journal of Meteorogy*, 177-187.
- Pnuma, P. d. (2000). *Perspectivas del medio ambiente*. San jose, costa rica: ONU.
- PROMYLEM. (2004). *Informe técnico nº 14 - Tubos de polietileno de gran diámetro*. Madrid: grupo PROMYPLAST.
- Pulido, M. d. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *NOVA - PUBLICACIÓN CIENTÍFICA*, 69-79.
- Rojas, J. A. (2010). *Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización*. mexico: alfa omega.
- Salas, h. (1986). proceedings of an IAWPRC specialised seminar held in Rio de Janeiro. *Marine disposal of wastewater*.
- Sánchez, j. (12 de marzo de 2015). *Hidrología e Hidrogeología*. Obtenido de <http://hidrologia.usal.es/>
- Sorriquieta, A. (2010). *apuntes: aguas residuales: uso, reuso y tratamiento. Laguna de estabilización* . Rosario (provincia de santafe) - argentina : Universidad Nacional de Rosario- Dpartamento de bioquimica clinica - asigatura: salud publica .
- Suematsu, i. g. (2010). *Tratamiento de aguas residuales*. Lima: CEPIS.

- Uittenbogaard, R. E., & van Kester, J. A. (1992). *Implementation of three turbulence models in 3D-TRISULA for rectangular grids, Report Z81*. The Netherlands, 1992: Delft Hydraulics.
- UNC. (2004). *sistema de rompeolas aislados*. Córdoba : UNC.
- UNdMDP. (1999). *Medición de corrientes superficiales en un sector del litoral costero durante el periodo estival '97 '98*. Mar del Plata: UNdMDP.
- Unesco. (1997). *mangrove ecosystem studies in latin american and africa*. Francia: United nations educational, scientific and cultural organization.
- Universidad del Magdalena. (2010). *Estudio oceanográfico y de la calidad del agua en el área del emisario submarino en la bahía de Santa marta*. Santa marta: Metroagua.
- UNMdP. (1998). *Construcción, operación y mantenimiento de la segunda etapa de la estación depuradora de aguas residuales de la ciudad de Mar del Plata. Licitación pública N°14/98*. Mar del Plata: UndMdP.
- Valdés, F. C. (1948). *Por los llanos de Apure*. Caracas: Ministerio de Educación de Venezuela.
- youtube. (27 de 04 de 2014). Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=ZxCgtayMS3k>

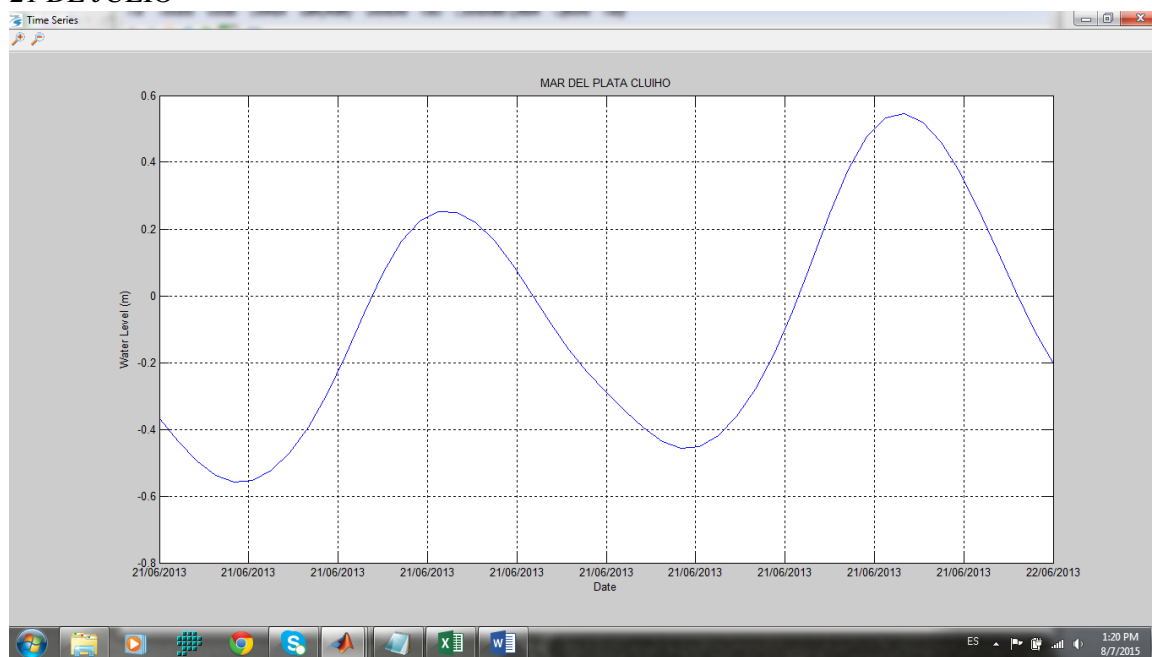
Anexo 3: Series de Mareas utilizadas



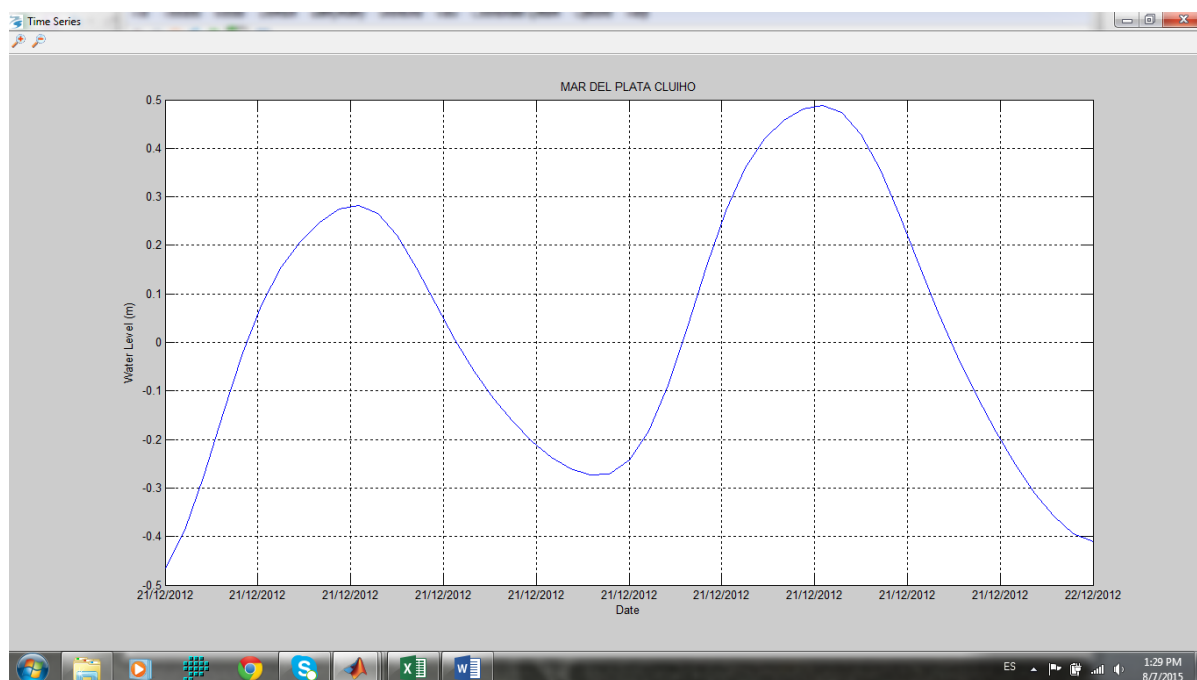
Marea de 4 días para simulación - prueba



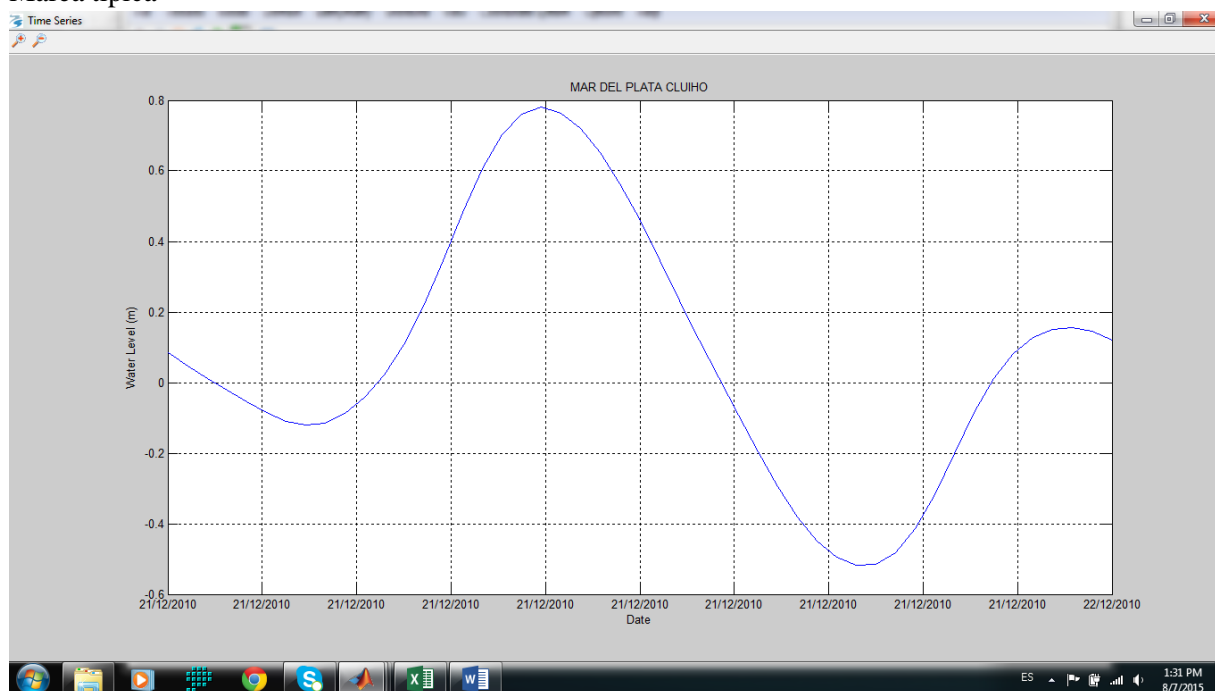
21 DE JULIO



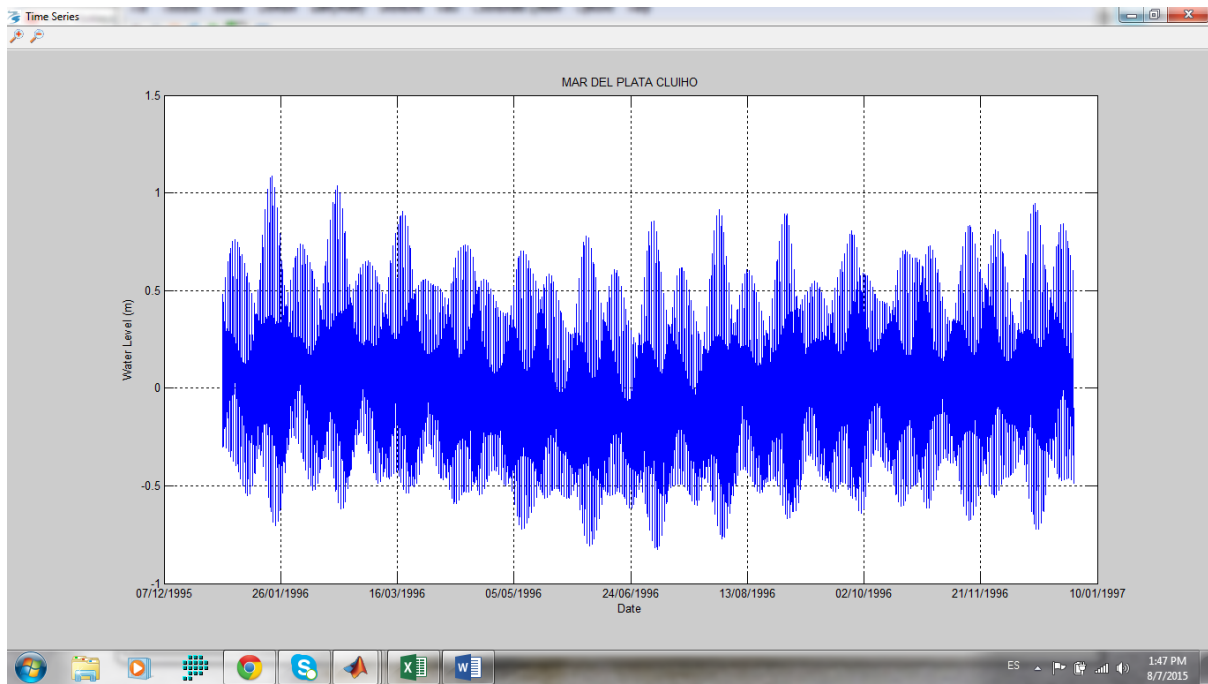
21 DE DIC



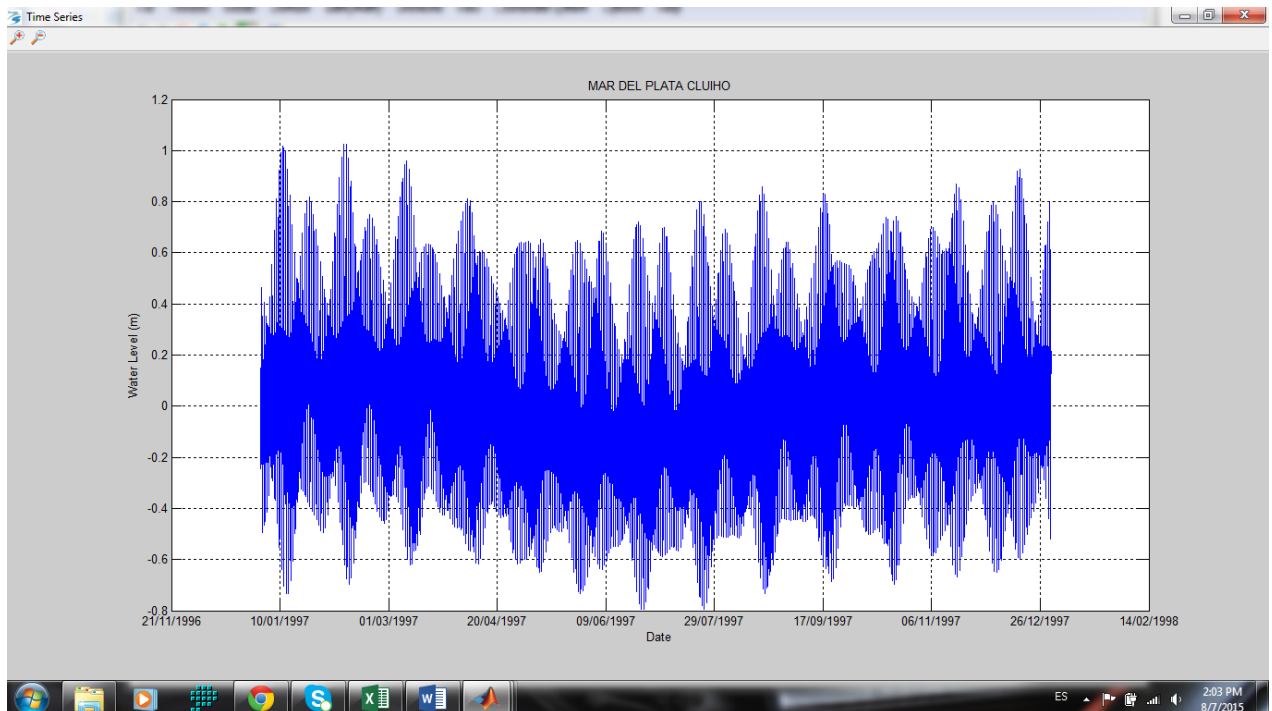
Marea típica



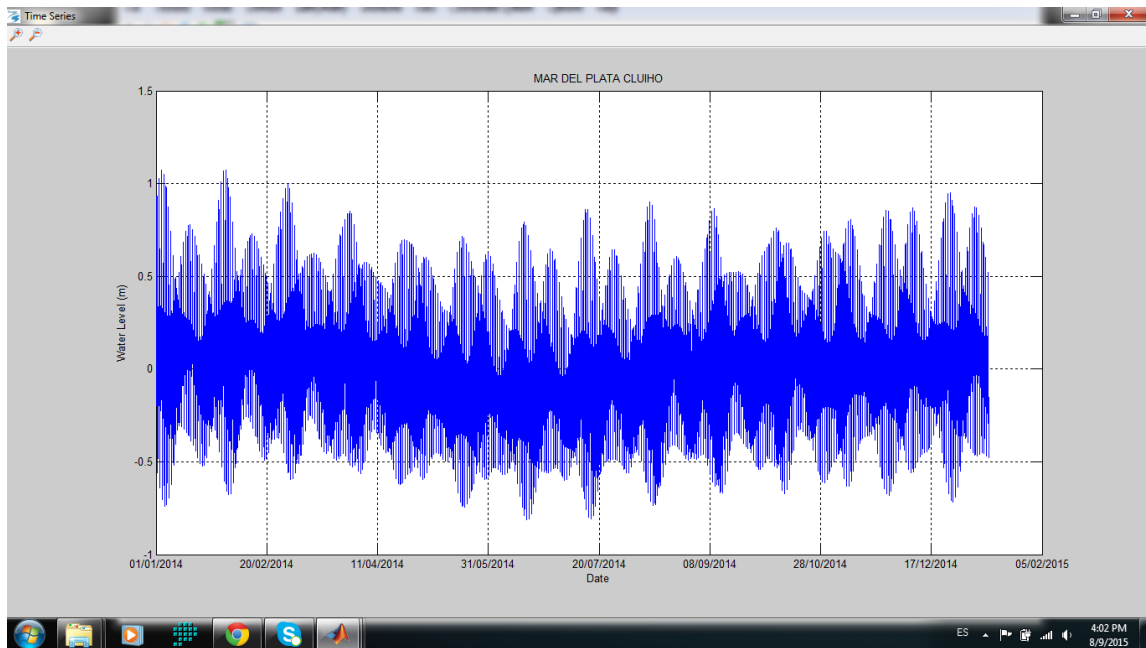
AÑO 96



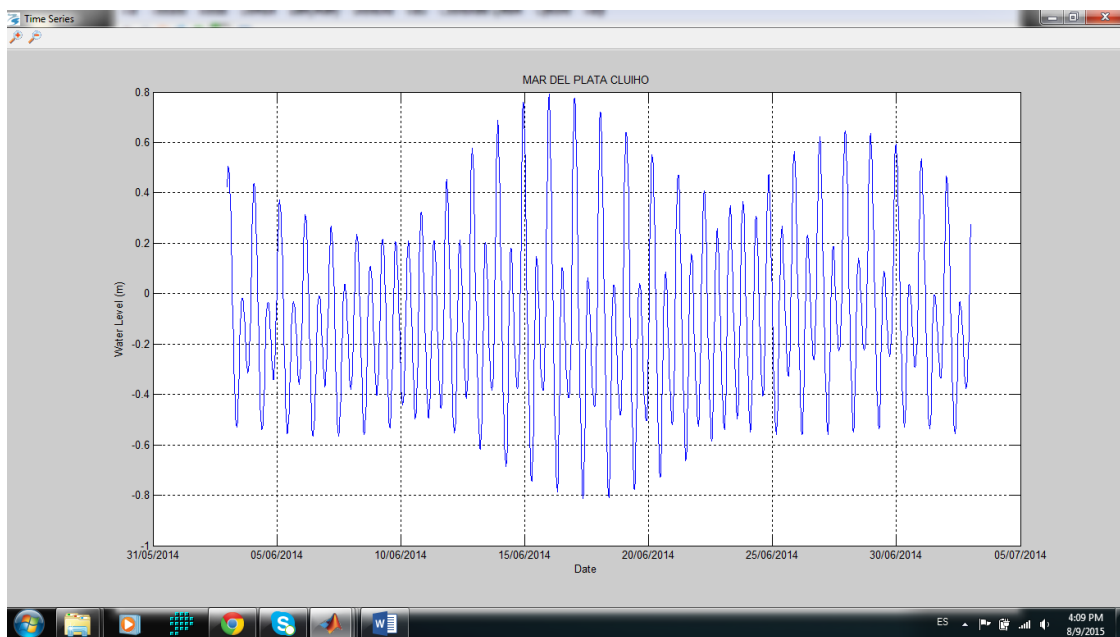
AÑO 97



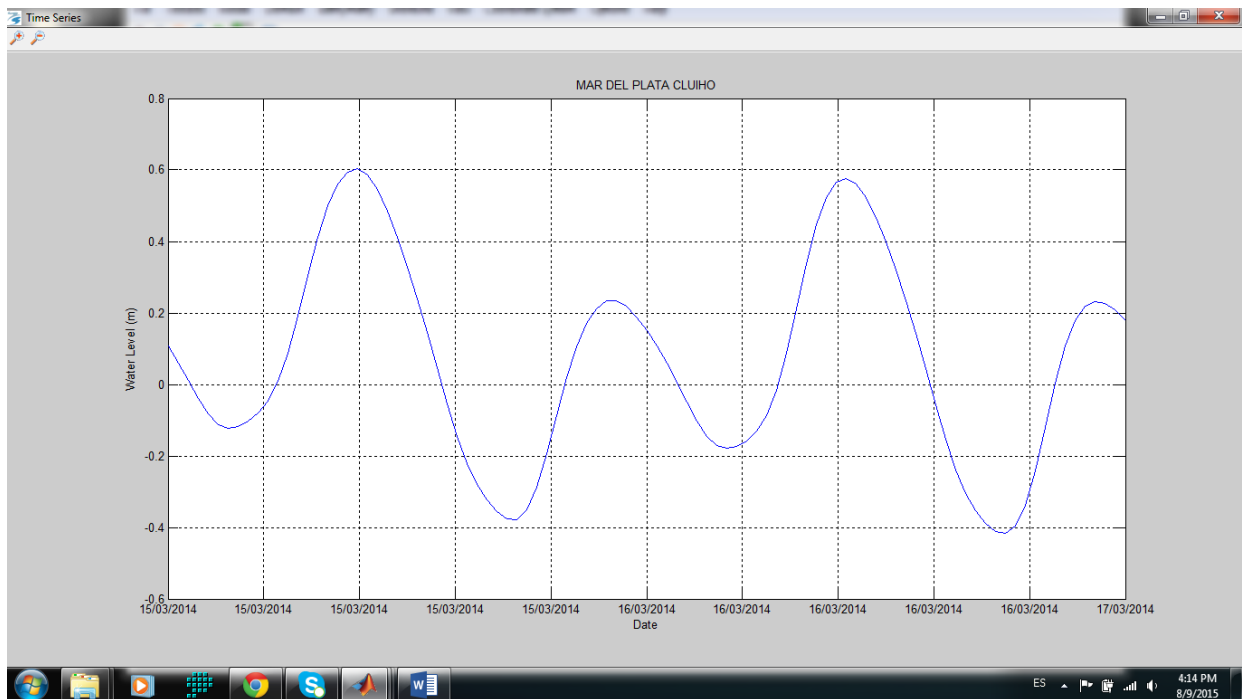
Año 2014



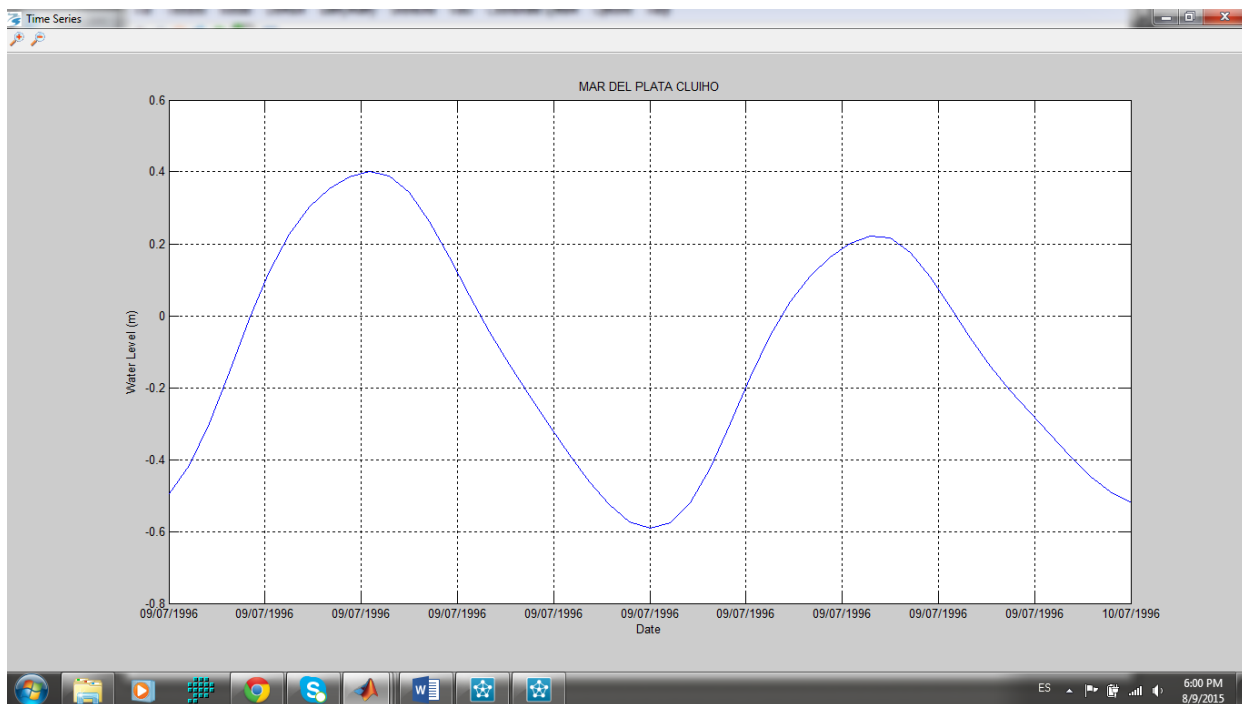
15- marzo al 16 de marzo



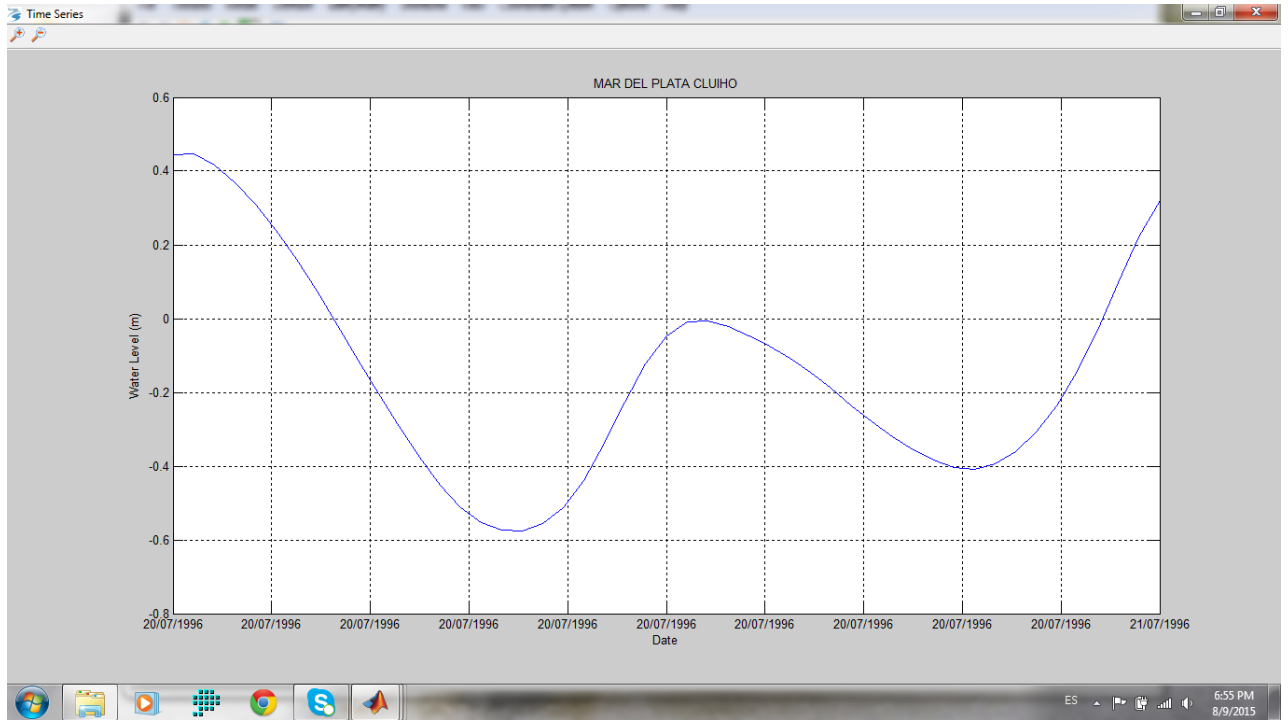
Marea típica



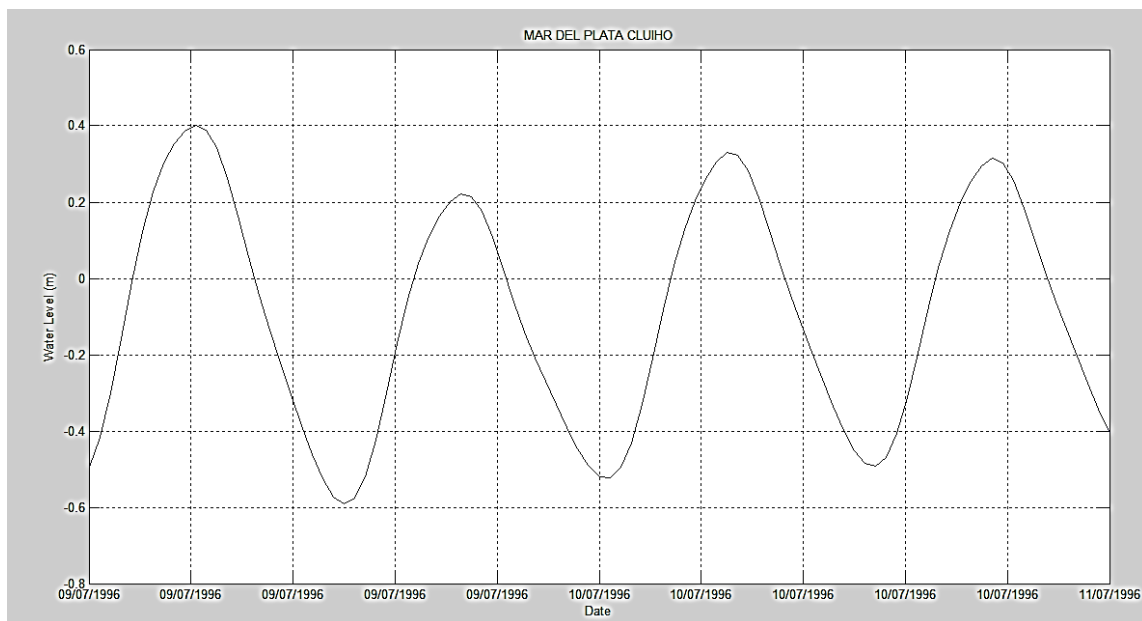
Caso 1



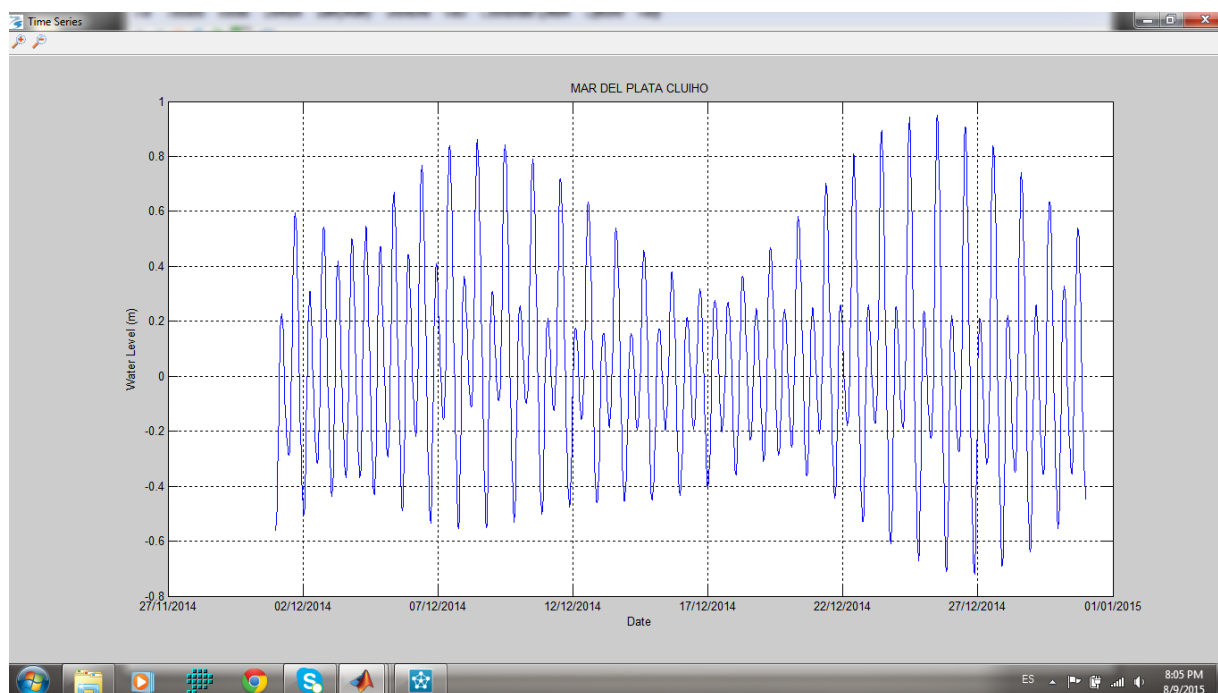
Caso 2- 1996 07 20



Marea 19/7/1996 y 20/7/1996 – Caso 2



Diciembre



8 al 9 de dic de 2014 (marea típica) – caso 3,4 y5

